

VI-2-10-2-6 1号機取水槽流路縮小工の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 位置	2
3. 流路縮小工の耐震評価	4
3.1 構造計画	4
3.2 評価方針	6
3.3 適用規格・基準等	8
3.4 記号の説明	9
3.5 評価対象部位	13
3.6 固有値解析	14
3.6.1 解析モデルの設定	14
3.6.2 固有振動数の算出方法	14
3.6.3 固有振動数の算出条件	14
3.6.4 固有振動数の算出結果	14
3.7 荷重及び荷重の組合せ	15
3.7.1 荷重	15
3.7.2 荷重の組合せ	17
3.8 許容限界	18
3.8.1 使用材料	18
3.8.2 許容限界	18
3.9 評価方法	19
3.9.1 縮小板	19
3.9.2 固定ボルト	22
3.9.3 取水管（フランジ部）	23
3.9.4 取水管（管胴部）	26
3.10 評価条件	29
3.11 評価結果	31
4. 1号機取水槽北側壁の耐震評価	32
4.1 構造及び補強の概要	32
4.1.1 1号機取水槽構造概要	32
4.1.2 1号機取水槽補強概要	36
4.2 評価方針	40
4.3 適用規格・基準等	42
4.4 評価対象断面	43
4.5 使用材料及び材料の物性値	45
4.6 許容限界	46

4.6.1	構造部材の健全性に対する許容限界	46
4.6.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	49
4.7	評価方法	50
4.7.1	構造部材の健全性評価	50
4.7.2	基礎地盤の支持性能評価	55
5.	耐震評価結果	56
5.1	構造部材の健全性に対する評価結果	56
5.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	57

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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、津波防護施設のうち1号機取水槽流路縮小工（以下「流路縮小工」という。）及びその間接支持構造物である1号機取水槽北側壁が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造強度を有することを確認するものである。

流路縮小工及び1号機取水槽北側壁に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価により行う。

2. 位置

流路縮小工は、1号機取水槽と1号機取水管の境界部に設置し、1号機取水槽北側壁に間接支持される構造とする。

流路縮小工及び1号機取水槽北側壁の設置位置図を図2-1に、流路縮小工及び1号機取水槽北側壁の詳細位置図を図2-2に示す。

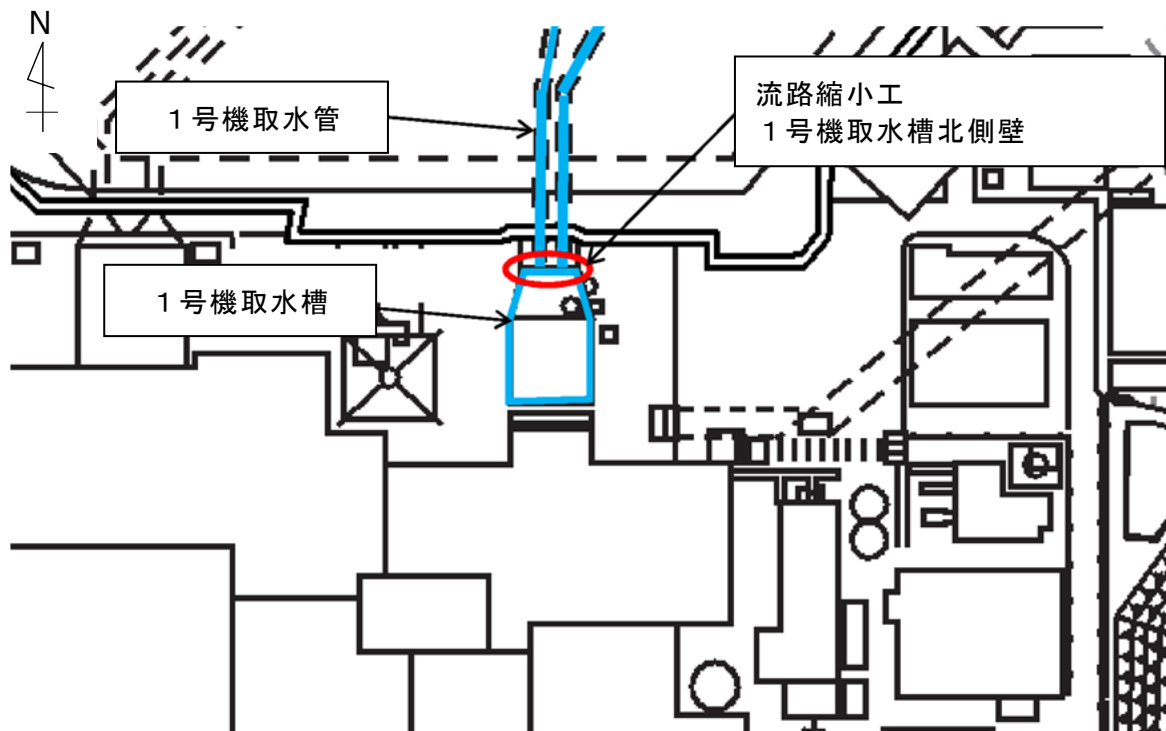


図2-1 流路縮小工及び1号機取水槽北側壁の設置位置図

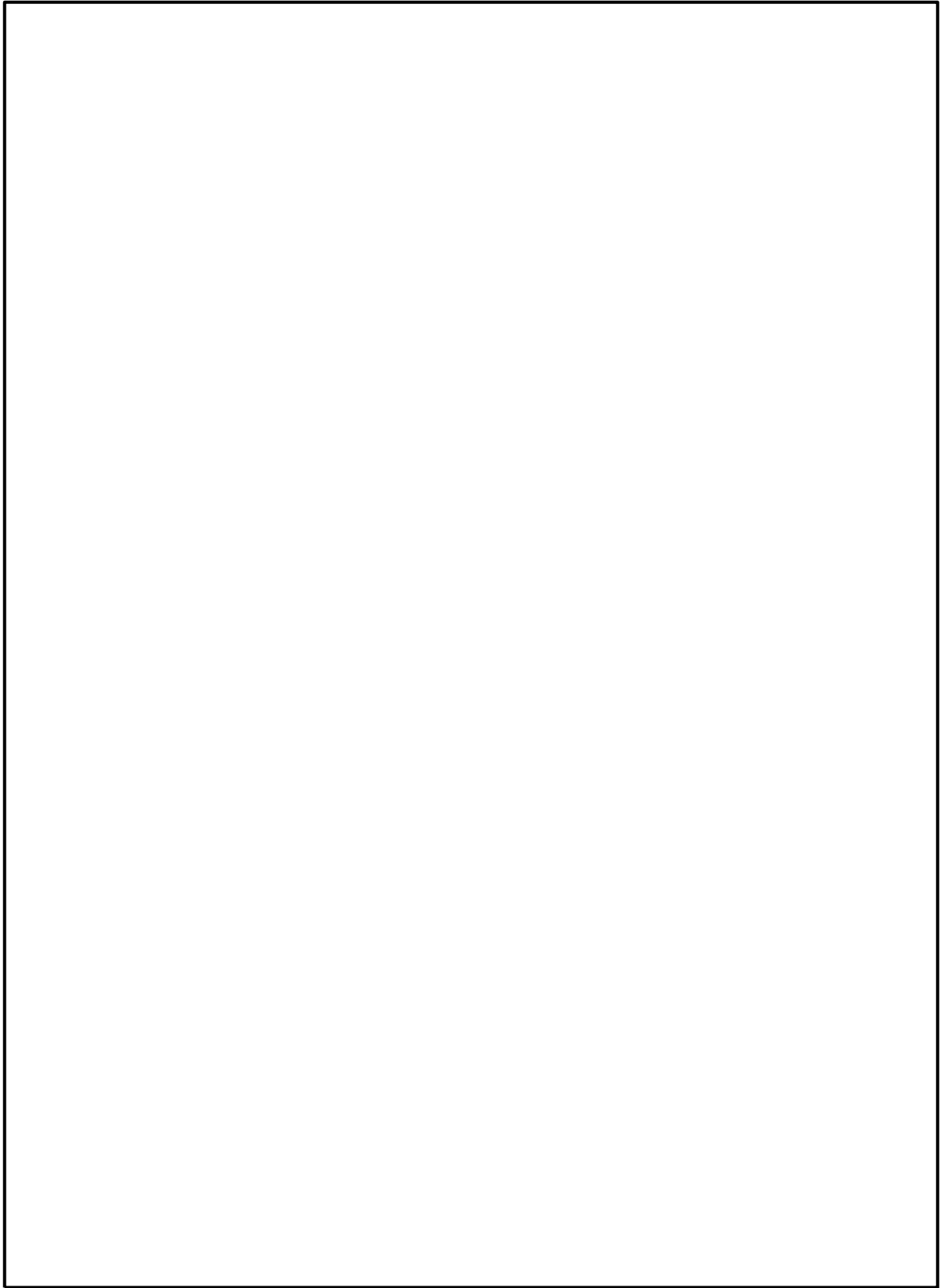


図 2-2 流路縮小工及び 1 号機取水槽北側壁の詳細位置図

3. 流路縮小工の耐震評価

3.1 構造計画

流路縮小工は、1号機取水管の終端部のフランジ（以下「取水管（フランジ部）」という。）に、鋼製の縮小板を取付板及び固定ボルトにより固定する構造とする。よって、流路縮小工は、1号機取水管の管胴部（以下「取水管（管胴部）」という。）、取水管（フランジ部）、縮小板、取付板及び固定ボルトから構成される。なお、1号機の原子炉補機海水ポンプに必要な海水を取水するため、縮小板に直径 m の貫通部を設ける。

流路縮小工の構造計画を表 3-1 に示す。

表 3-1 流路縮小工の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>取水管（フランジ部）に、鋼製の縮小板を取付板及び固定ボルトにより固定する。</p>	<p>縮小板，取付板及び固定ボルトにより構成する。</p>	<p>組立図（A-A断面）</p> <p>（単位：m）</p> <p>【凡例】 ■ 流路縮小工</p> <p>正面図</p>

S2 補 VI-2-10-2-6 R1

3.2 評価方針

流路縮小工の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3.1 構造計画」に示す流路縮小工の構造を踏まえ、「3.5 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「3.6 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力度が許容限界内に収まることを、「3.9 評価方法」及び「3.10 評価条件」に示す方法にて確認する。耐震評価の結果を「3.11 評価結果」にて確認する。

流路縮小工の評価項目を表3-2に、耐震評価フローを図3-1に示す。

また、流路縮小工を構成する部材のうち取付板については、材質及び厚さが縮小板と同等であることから、取付板の評価は縮小板の評価に包含されるものとする。

なお、1号機取水槽は、設計当時からの基準地震動 S_s の増大により、1号機取水槽の耐震性を確保するため、流路縮小工と同等の開口を設けたうえで漸拡ダクト部にコンクリートを充填する。これにより、流路縮小工の大部分は充填コンクリートに拘束されるため、剛構造であると考えられるが、保守的に充填コンクリートによる拘束は期待しない方針とする。1号機取水槽の耐震補強に伴うコンクリート充填範囲図を図3-2に示す。

表3-2 流路縮小工の評価項目

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	構造部材の健全性	縮小板	発生する応力（曲げ応力、せん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		固定ボルト	発生する応力（引張応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		取水管（フランジ部）	発生する応力（曲げ応力、せん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		取水管（管胴部）	発生する応力（曲げ応力、せん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度

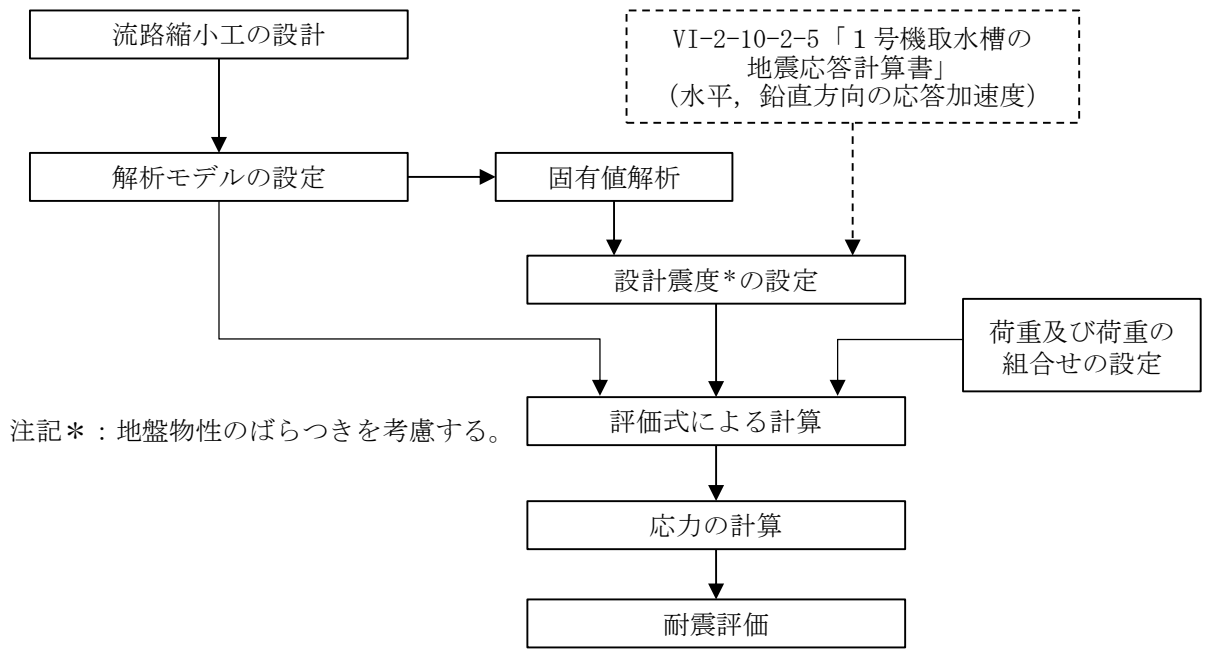


図 3-1 耐震評価フロー

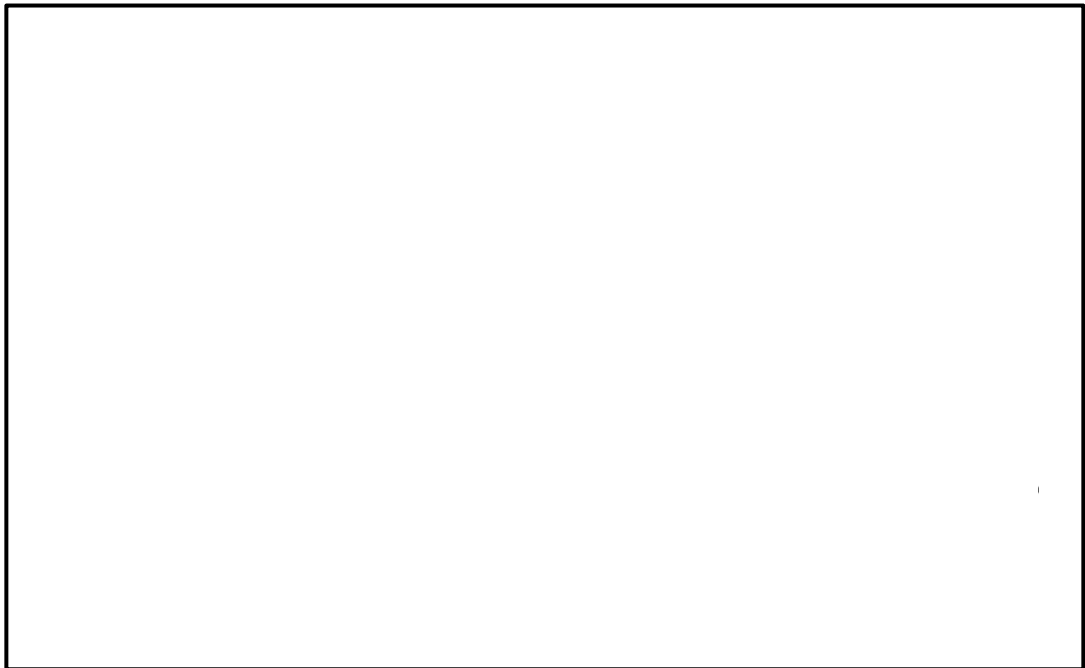


図 3-2 1号機取水槽の耐震補強に伴うコンクリート充填範囲図

3.3 適用規格・基準等

適用する規格・基準類を以下に示す。

- ・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)
- ・原子力発電所屋外重要土木建造物の耐震性能照査指針・マニュアル ((社) 土木学会, 2005 年)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 (国土交通省港湾局, 2007 年版)
- ・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)
- ・鋼構造許容応力度設計規準 ((社) 日本建築学会, 2019 年制定)
- ・日本産業規格 (J I S)
- ・構造力学公式集 ((社) 土木学会, 1986 年)

3.4 記号の説明

流路縮小工の耐震評価に用いる記号を表 3-3～表 3-7 にそれぞれ示す。

表 3-3 流路縮小工の固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
L	mm	はりの長さ
E	N/mm ²	ヤング係数
I	mm ⁴	断面 2 次モーメント
m	kg/mm	質量分布

表 3-4 流路縮小工の縮小板の耐震計算に用いる記号

記号	単位	定義
p_0	kN/mm ²	縮小板に作用する単位面積あたりの等分布荷重
A_{11}	mm ²	縮小板の作用面積
P	kN	縮小板に作用する地震時荷重
a_1	mm	縮小板の外半径
b_1	mm	縮小板の内半径
M_{r1}	kN・mm/mm	縮小板に生じる半径方向の曲げモーメント
$M_{\theta 1}$	kN・mm/mm	縮小板に生じる周方向の曲げモーメント
ν	—	ポアソン比
r_1	mm	縮小板の中心から半径方向の距離
κ_1	—	係数
β_1	—	係数
ρ_1	—	係数
σ_1	kN/mm ²	縮小板に生じる最大曲げ応力度
Z_1	mm ³ /mm	縮小板の断面係数
t_1	mm	縮小板の板厚
τ_1	kN/mm ²	縮小板に生じる最大せん断応力度
A_{12}	mm ²	縮小板の有効せん断面積
S_1	kN	縮小板に作用するせん断力

表 3-5 流路縮小工の固定ボルトの耐震計算に用いる記号

記号	単位	定義
T	kN/本	内側固定ボルトに作用する引張力
T_1	kN/本	縮小板に作用する荷重により内側固定ボルトに作用する引張力
T_2	kN/本	縮小板に生じる曲げモーメントにより内側固定ボルトに作用する引張力
M	kN・mm/mm	縮小板に生じる曲げモーメント合力
σ_b	kN/mm ²	内側固定ボルトに生じる最大応力度
P	kN	内側固定ボルトに作用する地震時荷重
n	本	内側固定ボルトの本数
D_1	mm	フランジ外径
l_1	mm	支点間距離
M_{r1}	kN・mm/mm	縮小板に生じる半径方向の曲げモーメント
$M_{\theta 1}$	kN・mm/mm	縮小板に生じる周方向の曲げモーメント
A	mm ²	内側固定ボルト 1 本の有効断面積

表 3-6 流路縮小工の取水管（フランジ部）の耐震計算に用いる記号

記号	単位	定義
P'	kN/mm	取水管（フランジ部）に作用する単位長さあたりの等分布荷重
L_f	mm	取水管（フランジ部）の外周長
P	kN	取水管（フランジ部）に作用する地震時荷重
b_f	mm	取水管（フランジ部）の外半径
M_{rf}	kN・mm/mm	取水管（フランジ部）に生じる半径方向の曲げモーメント
$M_{\theta f}$	kN・mm/mm	取水管（フランジ部）に生じる周方向の曲げモーメント
a_f	mm	取水管（フランジ部）の内半径
ν	—	ポアソン比
r_f	mm	取水管（フランジ部）の中心から半径方向の距離
κ_f	—	係数
β_f	—	係数
ρ_f	—	係数
σ_f	kN/mm ²	取水管（フランジ部）に生じる最大曲げ応力度
Z_f	mm ³ /mm	取水管（フランジ部）の断面係数
t_f	mm	取水管（フランジ部）の板厚
τ_f	kN/mm ²	取水管（フランジ部）に生じる最大せん断応力度
A_3	mm ²	取水管（フランジ部）付け根の断面積
l_f	mm	取水管（フランジ部）付け根の周長
S_f	kN	取水管（フランジ部）に作用するせん断力
D_i	mm	取水管（フランジ部）の管内径
t_p	mm	取水管（管胴部）の管厚

表 3-7 流路縮小工の取水管（管胴部）の耐震計算に用いる記号

記号	単位	定義
σ_d	kN/mm ²	取水管（管胴部）に生じる最大曲げ応力度
σ_{dv}	kN/mm ²	取水管（管胴部）に作用する鉛直方向の地震時荷重により生じる最大曲げ応力度
σ_{dh}	kN/mm ²	取水管（管胴部）に作用する水平方向の地震時荷重により生じる最大曲げ応力度
M_{dv}	kN・mm	取水管（管胴部）に作用する鉛直方向の地震時荷重により生じる曲げモーメント
M_{dh}	kN・mm	取水管（管胴部）に作用する水平方向の地震時荷重により生じる曲げモーメント
Z_d	mm ³	取水管（管胴部）の断面係数
σ_t	kN/mm ²	縮小板に作用する地震時荷重により取水管（管胴部）に生じる最大引張応力度
A_d	mm ²	取水管（管胴部）の作用面積
σ_f	kN/mm ²	取水管（フランジ部）に生じる曲げモーメントにより取水管（管胴部）に生じる最大曲げ応力度
W_1	kN	取水管（管胴部）の自重（管内部の水を含む）
P_1	kN	取水管（管胴部）に作用する地震時荷重
t'_f	mm	取水管（フランジ部）の板厚（余裕厚を考慮）
L_d	mm	取水管（管胴部）の張り出し長さ
P_2	kN	取水管（フランジ部）に作用する地震時荷重
a_1	mm	1号機取水管の外径
b_1	mm	1号機取水管の内径
P_3	kN	縮小板に作用する地震時荷重
τ_d	kN/mm ²	取水管（管胴部）に生じる最大せん断応力度
τ_{dv}	kN/mm ²	取水管（管胴部）に作用する鉛直方向の地震時荷重により生じる最大せん断応力度
τ_{dh}	kN/mm ²	取水管（管胴部）に作用する水平方向の地震時荷重により生じる最大せん断応力度
S_{dv}	kN	取水管（管胴部）に作用する鉛直方向の地震時荷重により生じるせん断力
S_{dh}	kN	取水管（管胴部）に作用する水平方向の地震時荷重により生じるせん断力
A_5	mm ²	取水管（管胴部）の有効せん断面積
W_1	kN	取水管（管胴部）の自重（管内部の水を含む）
D_d	mm	取水管（管胴部）の管内径
t_p	mm	取水管（管胴部）の管厚

3.5 評価対象部位

流路縮小工の評価対象部位は、「3.1 構造計画」に設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、縮小板、固定ボルト、取水管（フランジ部）及び取水管（管胴部）とする。

固定ボルトは内側固定ボルト及び外側固定ボルトにより構成されるが、内側固定ボルトのみにより引張力を負担するものとして、保守的に耐震評価を実施する。

評価対象部位を図 3-3 に示す。

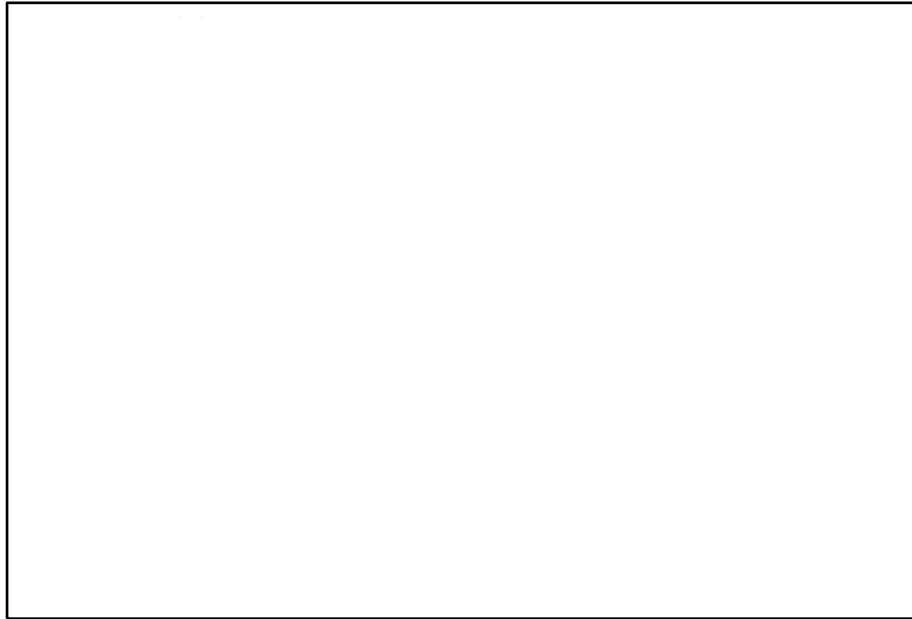


図 3-3 (1) 評価対象部位（縮小板）

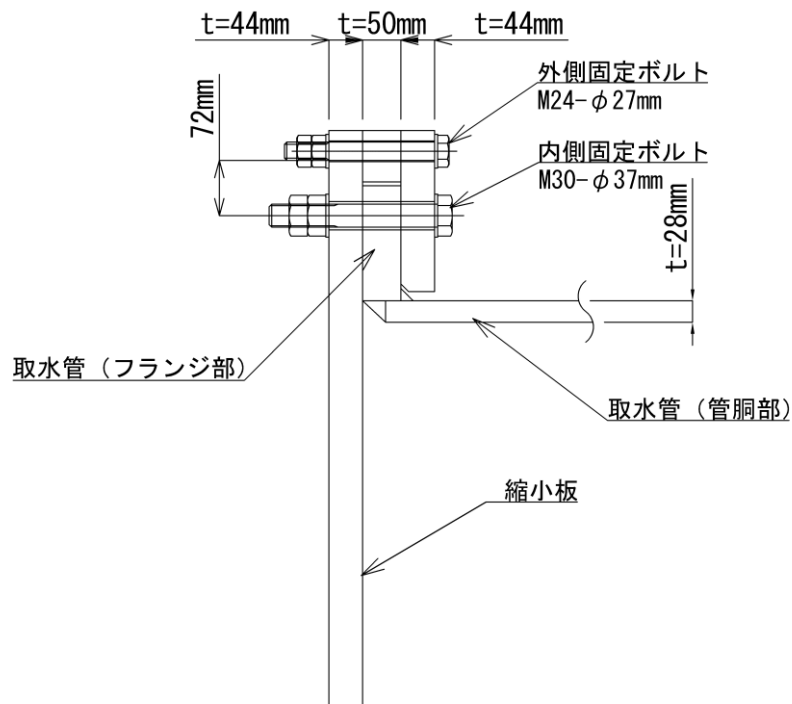


図 3-3 (2) 評価対象部位

(内側固定ボルト、取水管（フランジ部）及び取水管（管胴部）)

3.6 固有値解析

3.6.1 解析モデルの設定

流路縮小工は、取水管（フランジ部）に、鋼製の縮小板を固定ボルトにより固定する構造であることから、片持ちはりに単純化したモデルとする。図 3-4 に固有値解析モデルを示す。

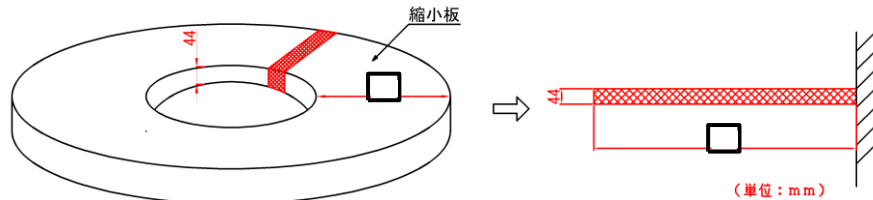


図 3-4 固有値解析モデル

3.6.2 固有振動数の算出方法

固有振動数について、「構造力学公式集（（社）土木学会，1986年）」に基づき以下の式より算出する。

$$f = \frac{1.8751^2}{L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

ここで、 f : 固有振動数 (Hz)

L : はりの長さ (mm)

E : ヤング係数 (N/mm²)

I : 断面 2 次モーメント (mm⁴)

m : 質量分布 (kg/mm)

3.6.3 固有振動数の算出条件

固有振動数の算出条件を表 3-8 に示す。

表 3-8 固有振動数の算出条件

はりの長さ L (mm)	ヤング係数 E (N/mm ²)	断面 2 次モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/mm)
□	2.0×10^5	7099	3.4569×10^{-4}

3.6.4 固有振動数の算出結果

固有振動数の算出結果を表 3-9 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、流路縮小工は剛構造である。

表 3-9 固有振動数の算出結果

固有振動数 (Hz)	400.59
------------	--------

3.7 荷重及び荷重の組合せ

3.7.1 荷重

耐震評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、流路縮小工を構成する部材の自重を考慮する。

また、流路縮小工の上下流の水位差を考慮した静水圧を考慮することとし、以下の式により算定する。

$$F_h = \gamma_w \times \Delta h \times A$$

ここで、

F_h : 静水圧 (kN)

γ_w : 海水の単位体積重量 (=10.1kN/m³)

Δh : 1号機取水口と1号機取水槽の水位差 (m)

A : 縮小板の面積 (m²)

(2) 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すとおり、基準地震動 S_s に伴う慣性力及び動水圧を考慮する。

なお、地震荷重の算定に用いる設計震度は、1号機取水槽付近の地盤物性のばらつきを考慮したものとして、VI-2-10-2-5「1号機取水槽の地震応答計算書」の地震応答解析結果から余裕を考慮した震度を用いる。

a. 慣性力

慣性力は、流路縮小工の重量に基準地震動 S_s による設計水平震度又は設計鉛直震度を乗じた次式により算出する。

なお、鉛直慣性力は取水管（管胴部）のみ考慮する。

$$P_{ih} = W \times K_h$$

$$P_{iv} = W \times K_v$$

ここで、

P_{ih} : 水平慣性力 (kN)

P_{iv} : 鉛直慣性力 (kN)

W : 重量 (kN)

K_h : 基準地震動 S_s による設計水平震度

K_v : 基準地震動 S_s による設計鉛直震度

b. 動水圧

動水圧は、以下の Westergaard の式により算定する。

$$P_{dw} = \pm \frac{7}{8} \times C \times K_h \times \gamma_w \times \sqrt{Z_{dw} \times z_{dw}}$$

ここで、

P_{dw} : 動水圧 (kN/m²) (上流及び下流の両側に作用するため 2 倍する)

C : 補助係数 (=1.0)

K_h : 基準地震動 S_s による設計水平震度

γ_w : 海水の単位体積重量 (=10.1kN/m³)

Z_{dw} : 水深 (m)

z_{dw} : 水面から動水圧を求める点までの深さ (m)

「3.6 固有値解析」に示したとおり、流路縮小工の固有振動数は 20Hz 以上であることを確認している。流路縮小工の耐震評価に用いる設計震度は、流路縮小工を剛構造として考慮した VI-2-10-2-5 「1号機取水槽の地震応答計算書」の地震応答解析結果より、地盤物性のばらつきを含めた結果を踏まえた余裕を考慮した震度を用いる。

耐震評価に用いる設計震度を表 3-10 に示す。

表 3-10 耐震評価に用いる設計震度

設置場所	基準地震動 S_s による設計震度	
	水平方向 k_h	鉛直方向 k_v
1号機取水槽北側壁	1.50	1.50

3.7.2 荷重の組合せ

流路縮小工の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。荷重の組合せを表 3-11 に、地震時の荷重作用図を図 3-5 に示す。

$G + S_s$

ここで、

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

表 3-11 荷重の組合せ

種別	荷重	記号	算定方法
固定荷重	躯体自重	G	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。
	静水圧		管路解析より 1 号機取水口と 1 号機取水槽との水位差による静水圧を考慮する。
地震荷重	水平慣性力	S_s	基準地震動 S_s による躯体の慣性力を考慮する。
	鉛直慣性力		縮小板、固定ボルト、及び取水管 (フランジ部) は、主たる荷重が水平方向荷重のため考慮しない。取水管 (管胴部) は基準地震動 S_s による躯体の慣性力を考慮する。
	動水圧		管路解析より 1 号機取水槽の水位が最大となる水位での動水圧を考慮する。

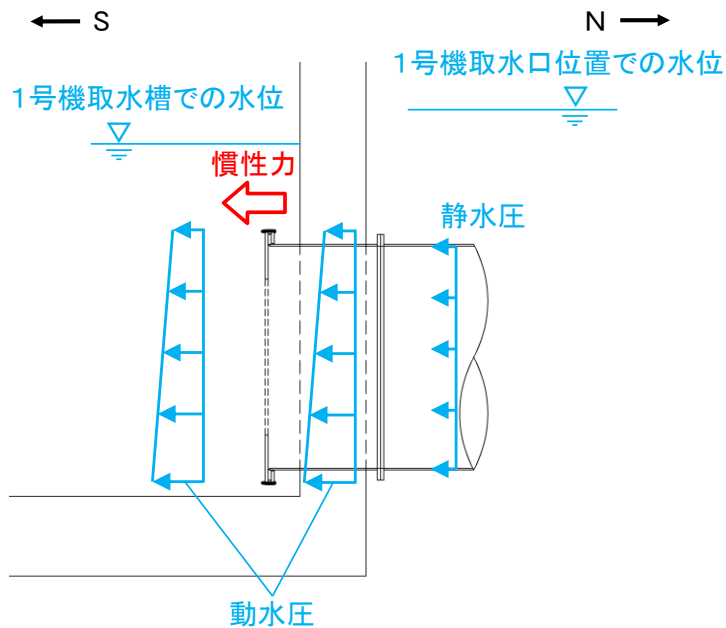


図 3-5 地震時の荷重作用図

3.8 許容限界

流路縮小工の許容限界は、「3.5 評価対象部位」にて設定した部位に対し、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.8.1 使用材料

流路縮小工を構成する各部材の使用材料を表 3-12 に示す。

表 3-12 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
縮小板	SS400	t = 40 (mm) *
固定ボルト	SCM435	内側 : M30, 外側 : M24
取水管 (フランジ部)	SS400	t = 46 (mm) *
取水管 (管胴部)	SS400	t = 24 (mm) *

注記* : エロージョン摩耗に対する設計・施工上の配慮として、縮小板の余裕厚を 4mm とし、板厚を $44 - 4 = 40$ (mm) と設定する。また、取水管 (フランジ部) 及び取水管 (管胴部) についても、余裕厚を 4mm とし、取水管 (フランジ部) の板厚を $50 - 4 = 46$ (mm)、取水管 (管胴部) の板厚を $28 - 4 = 24$ (mm) と設定する。

3.8.2 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

流路縮小工を構成する各部材の許容限界のうち、縮小板、取水管 (フランジ部) 及び取水管 (管胴部) 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)」に基づき、固定ボルトは、「鋼構造許容応力度設計規準 ((社) 日本建築学会, 2019 年制定)」及び「J I S B 1 0 5 1 炭素鋼及び合金鋼製締結用部品の機械的性質—強度区分を規定したボルト、小ねじ及び植込みボルト—並目ねじ及び細目ねじ」に基づき設定した短期許容応力度とする。流路縮小工を構成する各部材の許容限界を表 3-13 に示す。

表 3-13 流路縮小工を構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
		曲げ	せん断	引張
縮小板	SS400	235	135	—
固定ボルト	SCM435	—	—	560
取水管 (フランジ部)	SS400	215	124	—
取水管 (管胴部)	SS400	235	135	—

3.9 評価方法

流路縮小工を構成する各部材に発生する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

3.9.1 縮小板

縮小板の管軸方向（水平方向）に対する耐震評価を実施する。外径を固定とする有孔円板に等分布荷重が作用することで縮小板に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

(1) 縮小板に作用する単位面積あたりの等分布荷重

縮小板に作用する単位面積あたりの等分布荷重は、以下の式より算出する。

$$p_0 = \frac{P}{A_{11}}$$

$$A_{11} = (a_1^2 - b_1^2) \times \pi$$

ここで、

p_0 : 縮小板に作用する単位面積あたりの等分布荷重 (kN/mm²)

A_{11} : 縮小板の作用面積 (mm²)

P : 縮小板に作用する地震時荷重 (kN)

a_1 : 縮小板の外半径 (mm)

b_1 : 縮小板の内半径 (mm)

(2) 縮小板に生じる曲げモーメント

縮小板に生じる曲げモーメントについて、「構造力学公式集（（社）土木学会，1986年）」に基づき以下の式より算出する。

$$M_{r1} = \frac{p_0 a_1^2}{16} \left[(1+\nu)(1-\kappa_1) + 4\beta_1^2 - (3+\nu)\rho_1^2 - \frac{(1-\nu)\kappa_1}{\rho_1^2} + 4\beta_1^2(1+\nu) \ln \rho_1 \right]$$

$$M_{\theta 1} = \frac{p_0 a_1^2}{16} \left[(1+\nu)(1-\kappa_1) + 4\nu\beta_1^2 - (1+3\nu)\rho_1^2 + \frac{(1-\nu)\kappa_1}{\rho_1^2} + 4\beta_1^2(1+\nu) \ln \rho_1 \right]$$

$$\kappa_1 = \beta_1^2 \frac{(1-\nu)\beta_1^2 + (1+\nu)(1+4\beta_1^2 \ln \beta_1)}{1-\nu + (1+\nu)\beta_1^2}$$

$$\beta_1 = \frac{b_1}{a_1}$$

$$\rho_1 = \frac{r_1}{a_1}$$

ここで、

M_{r1} : 縮小板に生じる半径方向の曲げモーメント (kN・mm/mm)

$M_{\theta 1}$: 縮小板に生じる周方向の曲げモーメント (kN・mm/mm)

p_0 : 縮小板に作用する単位面積あたりの等分布荷重 (kN/mm²)

a_1 : 縮小板の外半径 (mm)

ν : ポアソン比

b_1 : 縮小板の内半径 (mm)

r_1 : 縮小板の中心から半径方向の距離 (mm)

$\kappa_1, \beta_1, \rho_1$: 係数

(3) 縮小板に生じる最大曲げ応力度

縮小板に生じる最大曲げ応力度について、「構造力学公式集（（社）土木学会，1986年）」に基づき，以下の式より算出する。

$$\sigma_1 = \frac{\sqrt{M_{r1}^2 + M_{\theta 1}^2}}{Z_1}$$

$$Z_1 = \frac{t_1^2}{6}$$

ここで，

σ_1 : 縮小板に生じる最大曲げ応力度 (kN/mm²)

Z_1 : 縮小板の断面係数 (mm³/mm)

M_{r1} : 縮小板に生じる半径方向の曲げモーメント (kN・mm/mm)

$M_{\theta 1}$: 縮小板に生じる周方向の曲げモーメント (kN・mm/mm)

t_1 : 縮小板の板厚 (mm)

(4) 縮小板に生じる最大せん断応力度

縮小板に生じる最大せん断応力度は，以下の式より算出する。

$$\tau_1 = \frac{S_1}{A_{12}}$$

$$A_{12} = 2 \cdot \pi \cdot a_1 \cdot t_1$$

ここで，

τ_1 : 縮小板に生じる最大せん断応力度 (kN/mm²)

A_{12} : 縮小板の有効せん断面積 (mm²)

S_1 : 縮小板に作用するせん断力 (=P) (kN)

P : 縮小板に作用する地震時荷重 (kN)

a_1 : 縮小板の外半径 (mm)

t_1 : 縮小板の板厚 (mm)

3.9.2 固定ボルト

固定ボルトの管軸方向（水平方向）に対する耐震評価を実施する。固定ボルトには、縮小板に作用する水平力により固定ボルトに作用する引張力に加え、縮小板外縁に生じる曲げモーメントに伴い固定ボルトに作用する引張力を有効断面積で除することで求めた応力度が許容限界以下であることを確認する。

(1) 固定ボルトに生じる最大応力度

固定ボルトに生じる最大応力度は、以下の式より算出する。

$$T = T_1 + T_2$$

$$T_1 = \frac{P}{n}$$

$$T_2 = M \cdot \pi \cdot D_1 \cdot \frac{1}{n \cdot l_1}$$

$$M = \sqrt{M_{r1}^2 + M_{\theta 1}^2}$$

$$\sigma_b = \frac{T}{A}$$

ここで、

T : 内側固定ボルトに作用する引張力 (kN/本)

T_1 : 縮小板に作用する荷重により内側固定ボルトに作用する引張力 (kN/本)

T_2 : 縮小板に生じる曲げモーメントにより内側固定ボルトに作用する
引張力 (kN/本)

M : 縮小板に生じる曲げモーメント合力 (kN・mm/mm)

σ_b : 内側固定ボルトに生じる最大応力度 (kN/mm²)

P : 内側固定ボルトに作用する地震時荷重 (kN)

n : 内側固定ボルトの本数 (本)

D_1 : フランジ外径 (mm)

l_1 : 支点間距離 (mm)

M_{r1} : 縮小板に生じる半径方向の曲げモーメント (kN・mm/mm)

$M_{\theta 1}$: 縮小板に生じる周方向の曲げモーメント (kN・mm/mm)

A : 内側固定ボルト 1 本の有効断面積 (mm²)

3.9.3 取水管（フランジ部）

取水管（フランジ部）の管軸方向（水平方向）に対する耐震評価を実施する。取水管（フランジ部）は内側固定ボルトを介して荷重が作用するものとして、内径を固定とする有孔円板に等分布荷重が作用することで取水管（フランジ部）に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

(1) 取水管（フランジ部）に作用する単位長さあたりの等分布荷重

取水管（フランジ部）に作用する単位長さあたりの等分布荷重は、以下の式より算出する。

$$P' = \frac{P}{L_f}$$

$$L_f = 2 \cdot \pi \cdot b_f$$

ここで、

P' : 取水管（フランジ部）に作用する単位長さあたりの等分布荷重（kN/mm）

L_f : 取水管（フランジ部）の外周長（mm）

P : 取水管（フランジ部）に作用する地震時荷重（kN）

b_f : 取水管（フランジ部）の外半径（mm）

(2) 取水管（フランジ部）に生じる曲げモーメント

取水管（フランジ部）に生じる曲げモーメントについて、「構造力学公式集（（社）土木学会，1986年）」に基づき，以下の式より算出する。

$$M_{rf} = \frac{P'a_f\beta_f}{2} \left[-1 + (1+\nu)\kappa_f + (1-\nu)\frac{\kappa_f}{\rho_f^2} - (1+\nu)\ln\rho_f \right]$$

$$M_{\theta f} = \frac{P'a_f\beta_f}{2} \left[-\nu + (1+\nu)\kappa_f - (1-\nu)\frac{\kappa_f}{\rho_f^2} - (1+\nu)\ln\rho_f \right]$$

$$\kappa_f = \beta_f^2 \frac{1 + (1+\nu)\ln\beta_f}{1 - \nu + (1+\nu)\beta_f^2}$$

$$\beta_f = \frac{b_f}{a_f}$$

$$\rho_f = \frac{r_f}{a_f}$$

ここで，

M_{rf} : 取水管（フランジ部）に生じる半径方向の曲げモーメント（kN・mm/mm）

$M_{\theta f}$: 取水管（フランジ部）に生じる周方向の曲げモーメント（kN・mm/mm）

P' : 取水管（フランジ部）に作用する単位長さあたりの等分布荷重（kN/mm）

a_f : 取水管（フランジ部）の内半径（mm）

ν : ポアソン比

b_f : 取水管（フランジ部）の外半径（mm）

r_f : 取水管（フランジ部）の中心から半径方向の距離（mm）

$\kappa_f, \beta_f, \rho_f$: 係数

(3) 取水管（フランジ部）に生じる最大曲げ応力度

取水管（フランジ部）に生じる最大曲げ応力度について、「構造力学公式集（（社）土木学会，1986年）」に基づき以下の式より算出する。

$$\sigma_f = \frac{\sqrt{M_{rf}^2 + M_{\theta f}^2}}{Z_f}$$

$$Z_f = \frac{t_f^2}{6}$$

ここで、

σ_f : 取水管（フランジ部）に生じる最大曲げ応力度（kN/mm²）

Z_f : 取水管（フランジ部）の断面係数（mm³/mm）

M_{rf} : 取水管（フランジ部）に生じる半径方向の曲げモーメント（kN・mm/mm）

$M_{\theta f}$: 取水管（フランジ部）に生じる周方向の曲げモーメント（kN・mm/mm）

t_f : 取水管（フランジ部）の板厚（mm）

(4) 取水管（フランジ部）に生じる最大せん断応力度

取水管（フランジ部）に生じる最大せん断応力度は、以下の式より算出する。

$$\tau_f = \frac{S_f}{A_3}$$

$$A_3 = t_f \cdot l_f$$

$$l_f = \pi \cdot (D_i + 2t_p)$$

ここで、

τ_f : 取水管（フランジ部）に生じる最大せん断応力度（kN/mm²）

A_3 : 取水管（フランジ部）付け根の断面積（mm²）

l_f : 取水管（フランジ部）付け根の周長（mm）

S_f : 取水管（フランジ部）に作用するせん断力（=P）（kN）

P : 取水管（フランジ部）に作用する地震時荷重（kN）

t_f : 取水管（フランジ部）の板厚（mm）

D_i : 取水管（フランジ部）の管内径（mm）

t_p : 取水管（管胴部）の管厚（mm）

3.9.4 取水管（管胴部）

取水管（管胴部）には，取水管（管胴部）に生じる曲げモーメントに加え，取水管（フランジ部）に生じる曲げモーメントを考慮する。取水管（管胴部）の検討では，1号機取水槽北側壁を固定端とした片持ちはりとして，管軸方向（水平方向）及び管軸直交方向（鉛直方向）に対する耐震評価を実施する。

(1) 取水管（管胴部）に生じる曲げ応力度

取水管（管胴部）に生じる曲げ応力度は，以下の式より算出する。

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_{dh}^2 + \sigma_{dv}^2} + \sigma_t + \sigma_f$$

$$\sigma_{dv} = \frac{M_{dv}}{Z_d}$$

$$\sigma_{dh} = \frac{M_{dh}}{Z_d}$$

$$M_{dv} = \frac{(W_1 + P_1) \cdot L_d}{2} + P_2 \cdot \left(L_d + \frac{t'_f}{2}\right)$$

$$M_{dh} = \frac{P_1 \cdot L_d}{2} + P_2 \cdot \left(L_d + \frac{t'_f}{2}\right)$$

$$Z_d = \frac{\pi}{32 \cdot a_1} \cdot (a_1^4 - b_1^4)$$

$$\sigma_t = \frac{P_3}{A_d}$$

$$A_d = (a_1^2 - b_1^2) \times \frac{\pi}{4}$$

ここで，

σ_d : 取水管（管胴部）に生じる最大曲げ応力度（kN/mm²）

σ_{dv} : 取水管（管胴部）に作用する鉛直方向の地震時荷重により生じる最大曲げ応力度（kN/mm²）

σ_{dh} : 取水管（管胴部）に作用する水平方向の地震時荷重により生じる最大曲げ応力度（kN/mm²）

M_{dv} : 取水管（管胴部）に作用する鉛直方向の地震時荷重により生じる曲げモーメント（kN・mm）

M_{dh} : 取水管（管胴部）に作用する水平方向の地震時荷重により生じる曲げモーメント（kN・mm）

Z_d : 取水管（管胴部）の断面係数（mm³）

- σ_t : 縮小板に作用する地震時荷重により取水管（管胴部）に生じる最大引張応力度（ kN/mm^2 ）
- A_d : 取水管（管胴部）の作用面積（ mm^2 ）
- σ_f : 取水管（フランジ部）に生じる曲げモーメントにより取水管（管胴部）に生じる最大曲げ応力度（ kN/mm^2 ）
- W_1 : 取水管（管胴部）の自重（管内部の水を含む）（ kN ）
- P_1 : 取水管（管胴部）に作用する地震時荷重（ kN ）
- L_d : 取水管（管胴部）の張り出し長さ（ mm ）
- P_2 : 取水管（フランジ部）に作用する地震時荷重（ kN ）
- t_f' : 取水管（フランジ部）の板厚（余裕厚を考慮）（ mm ）
- a_1 : 1号機取水管の外径（ mm ）
- b_1 : 1号機取水管の内径（ mm ）
- P_3 : 縮小板に作用する地震時荷重（ kN ）

(2) 取水管（管胴部）に生じる最大せん断応力度

取水管（管胴部）に生じる最大せん断応力度は、以下の式より算出する。

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{dv}^2 + \tau_{dh}^2}$$

$$\tau_{dv} = \frac{S_{dv} + W_1}{A_5}$$

$$\tau_{dh} = \frac{S_{dh}}{A_5}$$

$$S_{dv} = S_{dh} = P$$

$$A_5 = \frac{\left\{ \left(\frac{D_d}{2} + t_p \right)^2 \cdot \pi - \left(\frac{D_d}{2} \right)^2 \cdot \pi \right\}}{2}$$

ここで、

τ_d : 取水管（管胴部）に生じる最大せん断応力度（ kN/mm^2 ）

τ_{dv} : 取水管（管胴部）に作用する鉛直方向の地震時荷重により生じる最大せん断応力度（ kN/mm^2 ）

τ_{dh} : 取水管（管胴部）に作用する水平方向の地震時荷重により生じる最大せん断応力度（ kN/mm^2 ）

S_{dv} : 取水管（管胴部）に作用する鉛直方向の地震時荷重により生じるせん断力（ kN ）

S_{dh} : 取水管（管胴部）に作用する水平方向の地震時荷重により生じるせん断力（ kN ）

A_5 : 取水管（管胴部）の有効せん断面積（ mm^2 ）

W_1 : 取水管 (管胴部) の自重 (管内部の水を含む) (kN)

D_d : 取水管 (管胴部) の管内径 (mm)

t_p : 取水管 (管胴部) の管厚 (mm)

3.10 評価条件

「3. 流路縮小工の耐震評価」に用いる入力値を表 3-14～表 3-17 に示す。

表 3-14 流路縮小工の縮小板の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
P	kN	縮小板に作用する地震時荷重	1420
a ₁	mm	縮小板の外半径	1925
b ₁	mm	縮小板の内半径	
r ₁	mm	縮小板の中心から半径方向の距離	1925
v	—	ポアソン比	0.3
t ₁	mm	縮小板の板厚	40

表 3-15 流路縮小工の固定ボルトの耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
D ₁	mm	フランジ外径	3850
l ₁	mm	支点間距離	111
P	kN	内側固定ボルトに作用する地震時荷重	1420
n	本	内側固定ボルトの本数	40
A	mm ²	内側固定ボルト 1 本の有効断面積	561

表 3-16 流路縮小工の取水管（フランジ部）の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
P	kN	取水管（フランジ部）に作用する地震時荷重	1452
b _f	mm	取水管（フランジ部）の外半径	1814
v	—	ポアソン比	0.3
a _f	mm	取水管（フランジ部）の内半径	1675
r _f	mm	取水管（フランジ部）の中心から半径方向の距離	1675
t _f	mm	取水管（フランジ部）の板厚	46
S _f	kN	取水管（フランジ部）に作用するせん断力	1452
D _i	mm	取水管（フランジ部）の管内径	3350
t _p	mm	取水管（管胴部）の管厚	24

表 3-17 流路縮小工の取水管（管胴部）の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	入力値
W_1	kN	取水管（管胴部）の自重（管内部の水を含む）	9
P_1	kN	取水管（管胴部）に作用する地震時荷重	352
t'_f	mm	取水管（フランジ部）の板厚（余裕厚を考慮）	50
L_d	mm	取水管（管胴部）の張り出し長さ	450
P_2	kN	取水管（フランジ部）に作用する地震時荷重	69
P_3	kN	縮小板に作用する地震時荷重	1420
a_1	mm	1号機取水管の外径	3398
b_1	mm	1号機取水管の内径	3350
D_d	mm	取水管（管胴部）の管内径	3350
t_p	mm	取水管（管胴部）の管厚	24

3.11 評価結果

流路縮小工の耐震評価結果を表 3-18 に示す。各部材の断面照査を行った結果、すべての部材において発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 3-18 流路縮小工の耐震評価結果

評価対象部位		発生応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
縮小板	曲げ	157	235	0.67
	せん断	3	135	0.03
固定ボルト	引張	266	560	0.48
取水管 (フランジ部)	曲げ	56	215	0.26
	せん断	3	124	0.03
取水管 (管胴部)	曲げ	211	235	0.90
	せん断	5	135	0.04

4. 1号機取水槽北側壁の耐震評価

4.1 構造及び補強の概要

4.1.1 1号機取水槽構造概要

1号機取水槽の平面図を図4-1に、断面図を図4-2及び図4-3に示す。

1号機取水槽は、地下2階構造となっており、上部は除じん機エリア、海水ポンプエリア、ストレーナエリアの3エリアに分かれている。漸拡ダクトエリアを含む下部は水路となっており、除じん機エリアの下部は6連のボックスカルバート構造、海水ポンプエリアの下部は3連のボックスカルバート構造となっている。

1号機取水槽の北側壁は、流路縮小工の間接支持構造物である。北側壁及び流路縮小工の位置図を図4-4に示す。

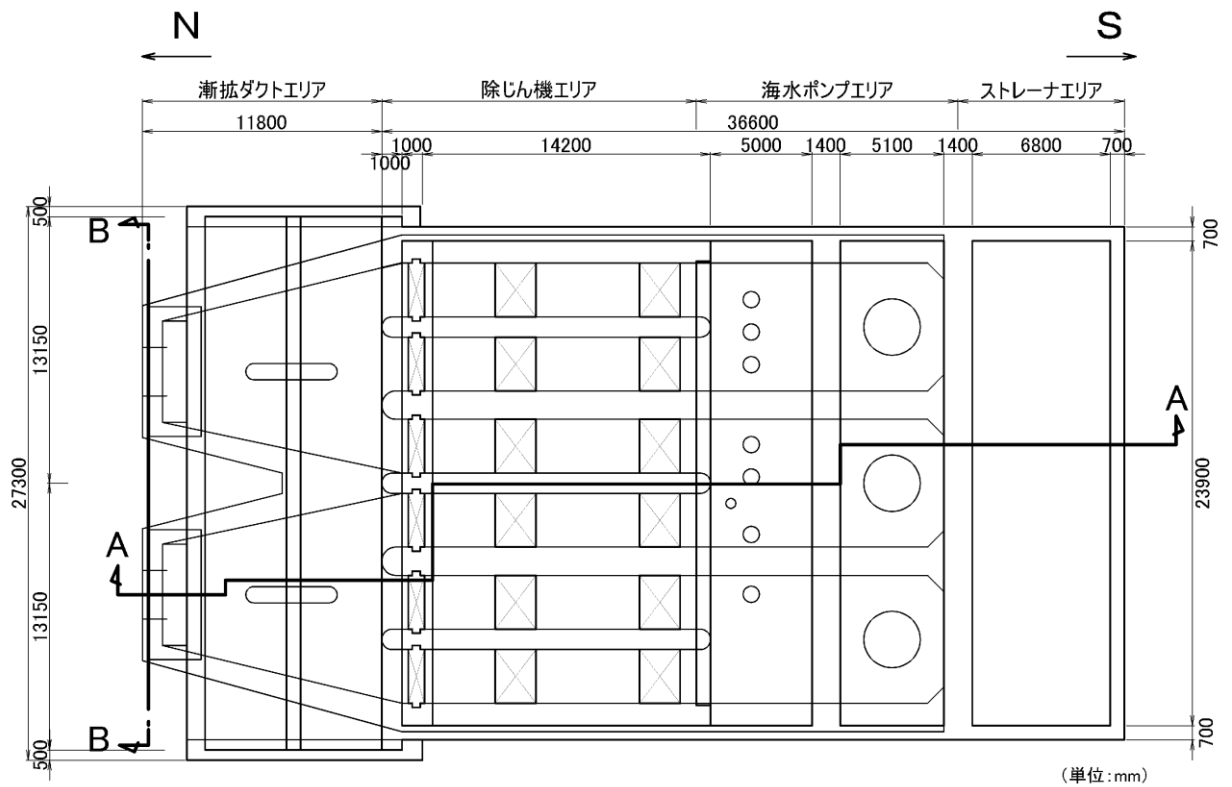


図4-1 1号機取水槽 平面図

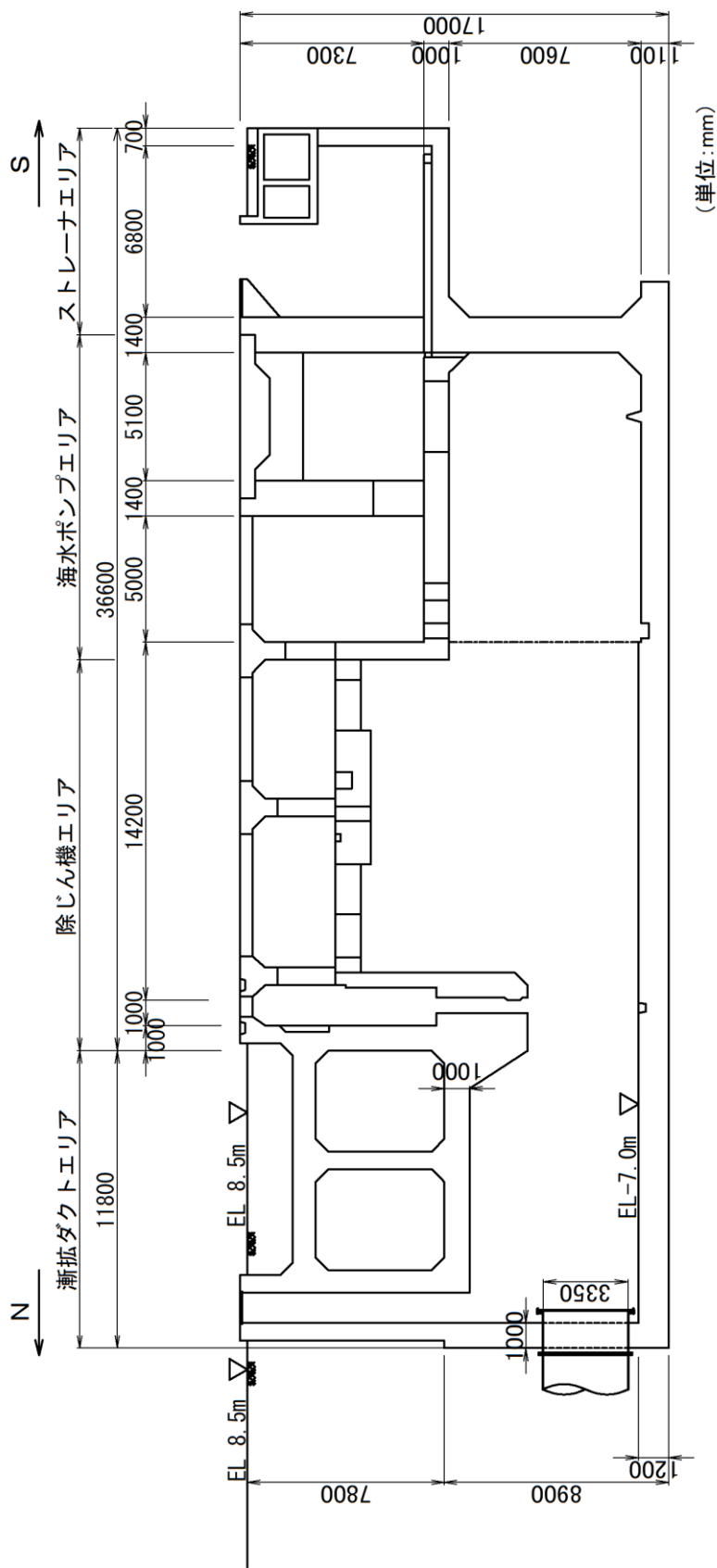


図 4-2 1号機取水槽 断面図(A-A断面)

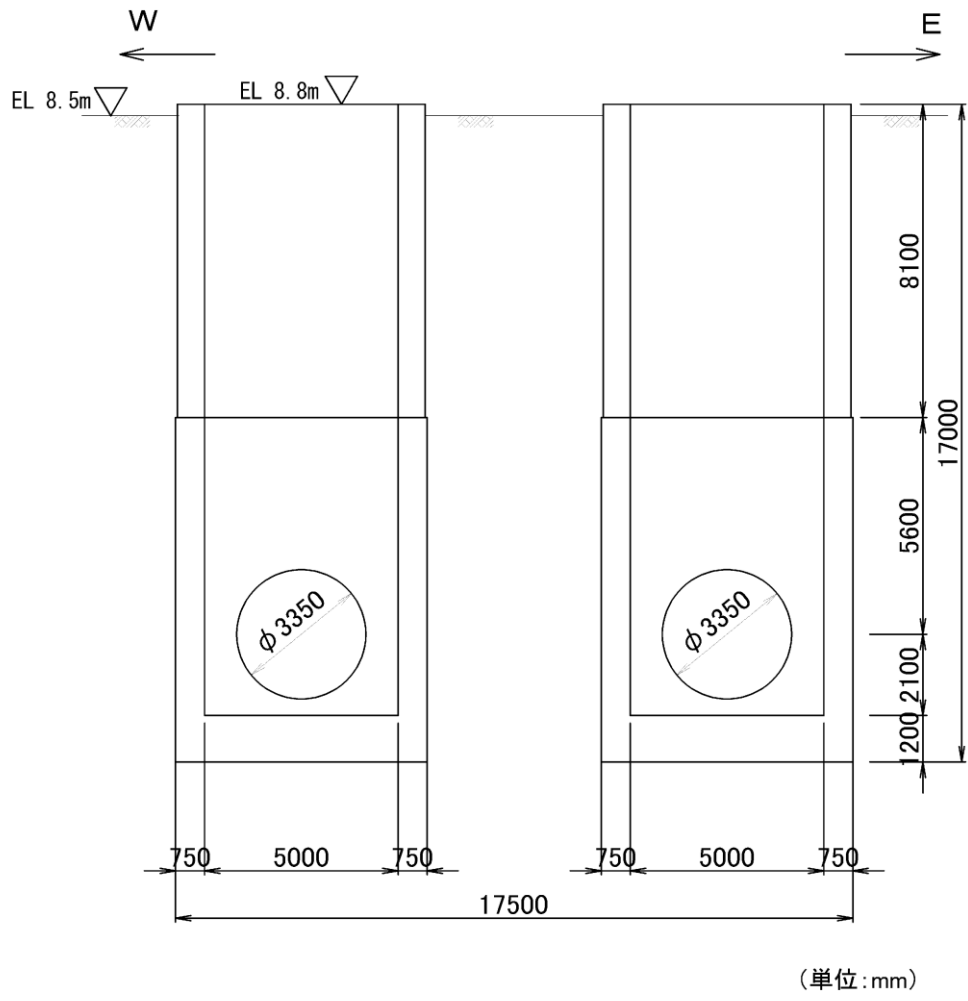


图 4-3 1 号機取水槽 断面图(B-B 断面)

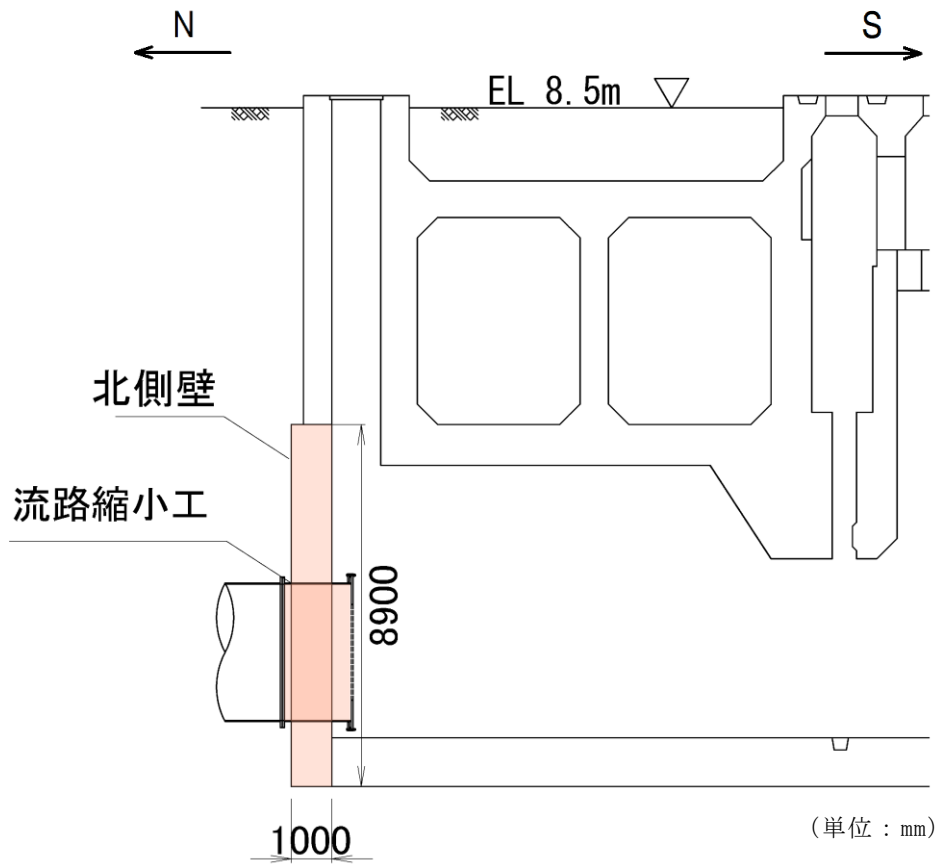


図 4-4 1号機取水槽流路縮小工及び北側壁の範囲

4.1.2 1号機取水槽補強概要

1号機取水槽の北側壁は、設計当時からの基準地震動 S_s の増大により、取水槽の耐震性を確保するため、PHb 工法によるせん断補強を実施する。

1号機取水槽北側壁と接続する部材の補強を目的に漸拡ダクト部にコンクリートを充填する。漸拡ダクト部充填コンクリートには流路縮小工の内径と同じ開口を設け、取水機能を確保する。なお、漸拡ダクト部充填コンクリートに設置した流路縮小工の内径と同じ開口については、評価上考慮しないものの保守的に開口補強筋を設置する。

また、1号機取水槽ピット部については下部に閉塞版を設置したのちに、コンクリートを充填し、閉塞する。

補強工事の一覧表を表 4-1 に示す。また、補強工事の詳細図面を図 4-6～図 4-9 に 1号機取水槽北側壁配筋図を図 4-10 に示す。

表 4-1 補強工事一覧

部材名	部材位置*1	補強工事概要
北側壁	①	PHb*2
漸拡ダクト部	②	充填コンクリート打設*3
ピット部	③	充填コンクリート打設
ピット部（閉塞版）	④	ピット部閉塞版鉄筋コンクリート打設

注記*1：部材位置図については図 4-5 に示す。

*2：1号機取水槽北側壁配筋図については図 4-10 に示す。

*3：充填コンクリート内部には流路縮小工と同じ大きさの開口を設置

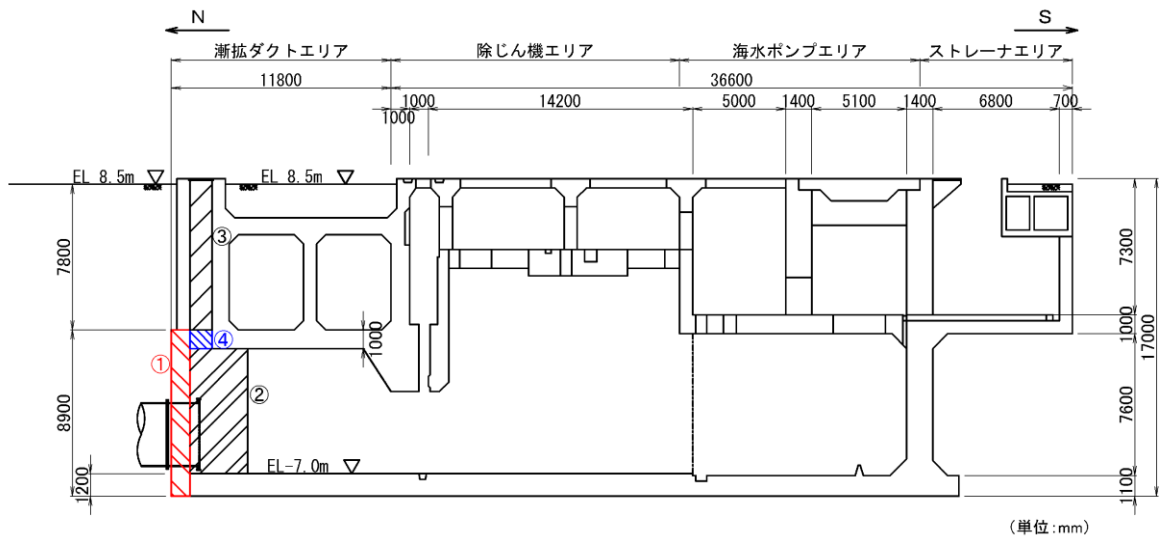


図 4-5 補強工事实施部材位置

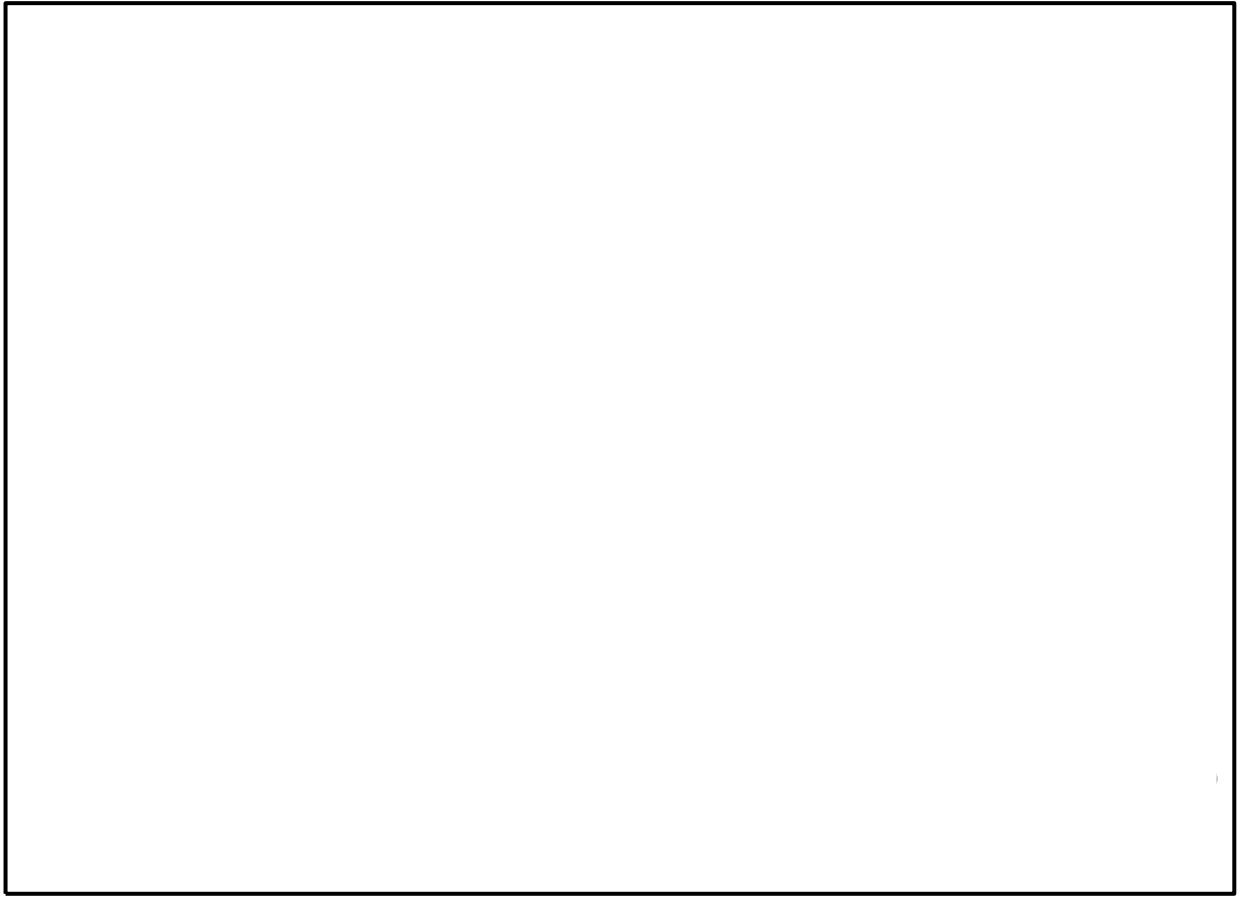


図 4-6 補強工事実施後平面図

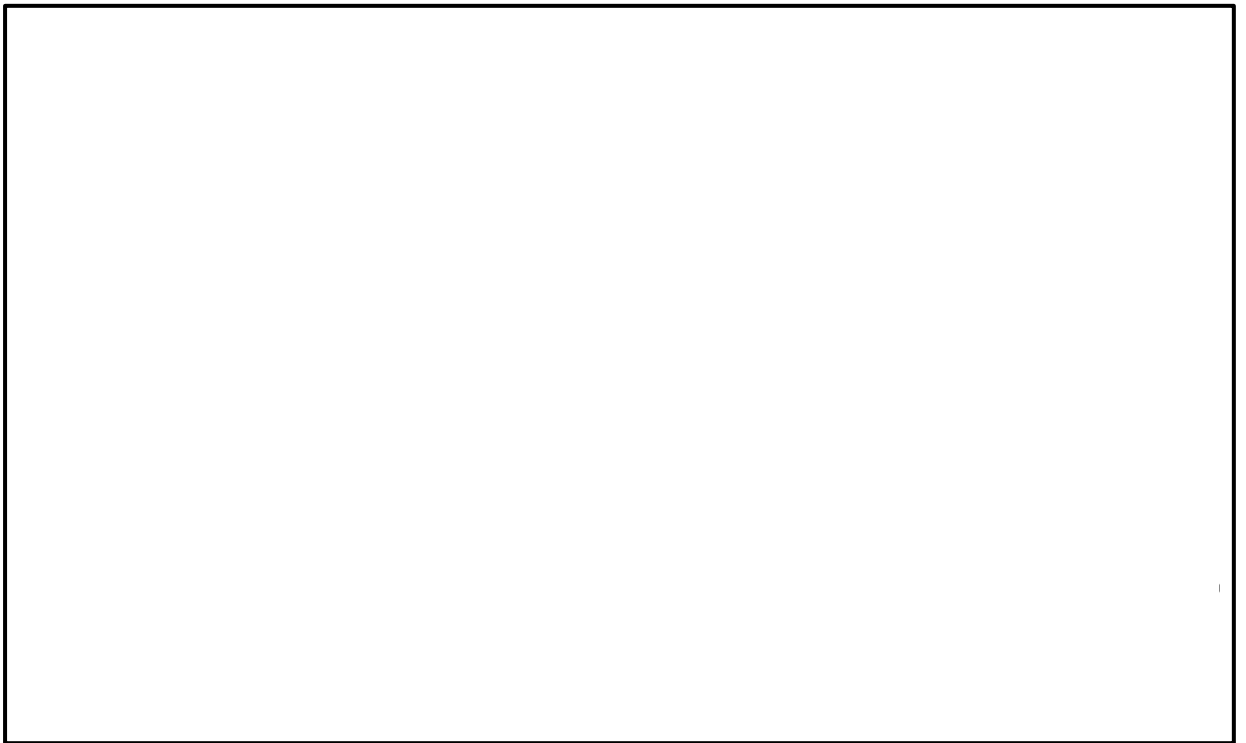


図 4-7 補強工事実施図 (A-A断面)

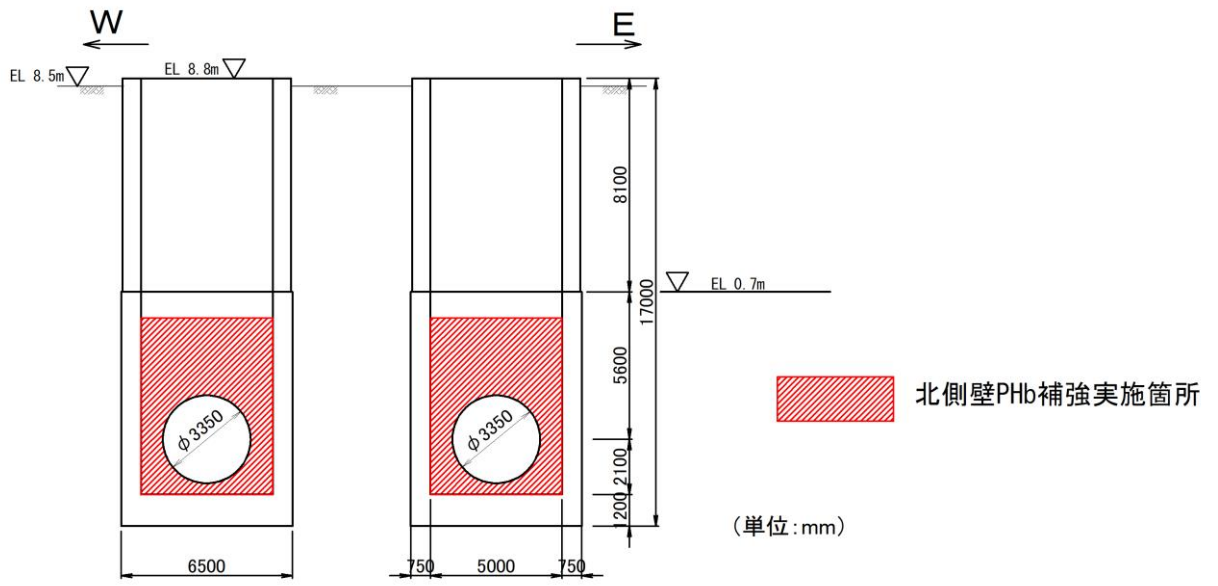


图 4-8 補強工事実施図 (B-B 断面)

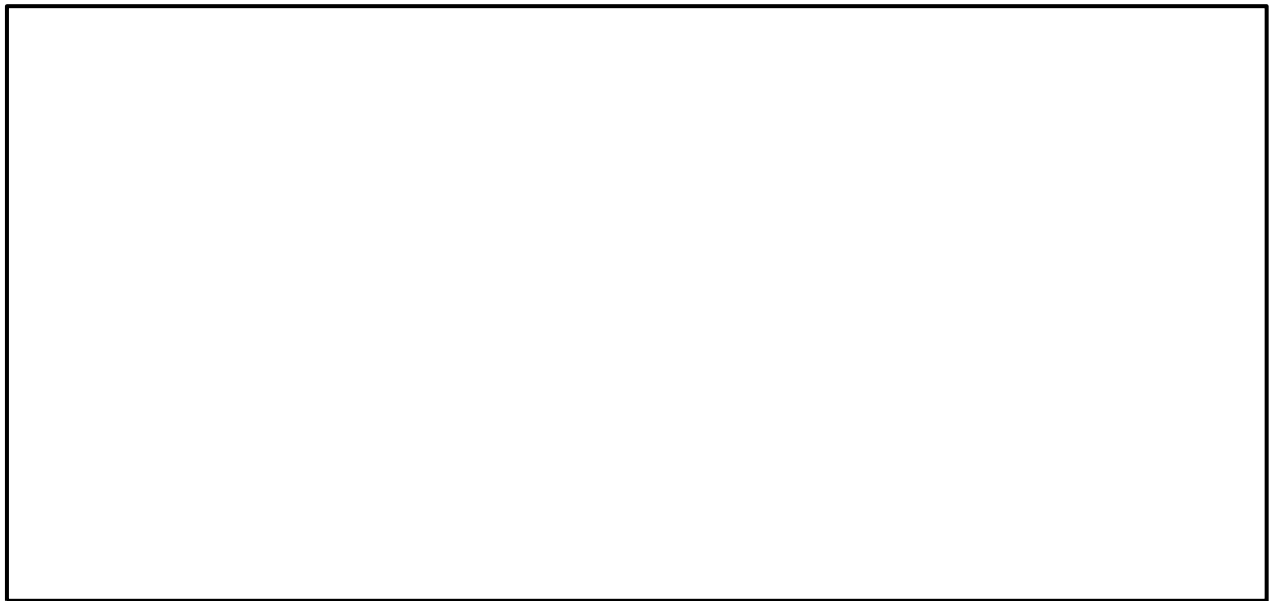
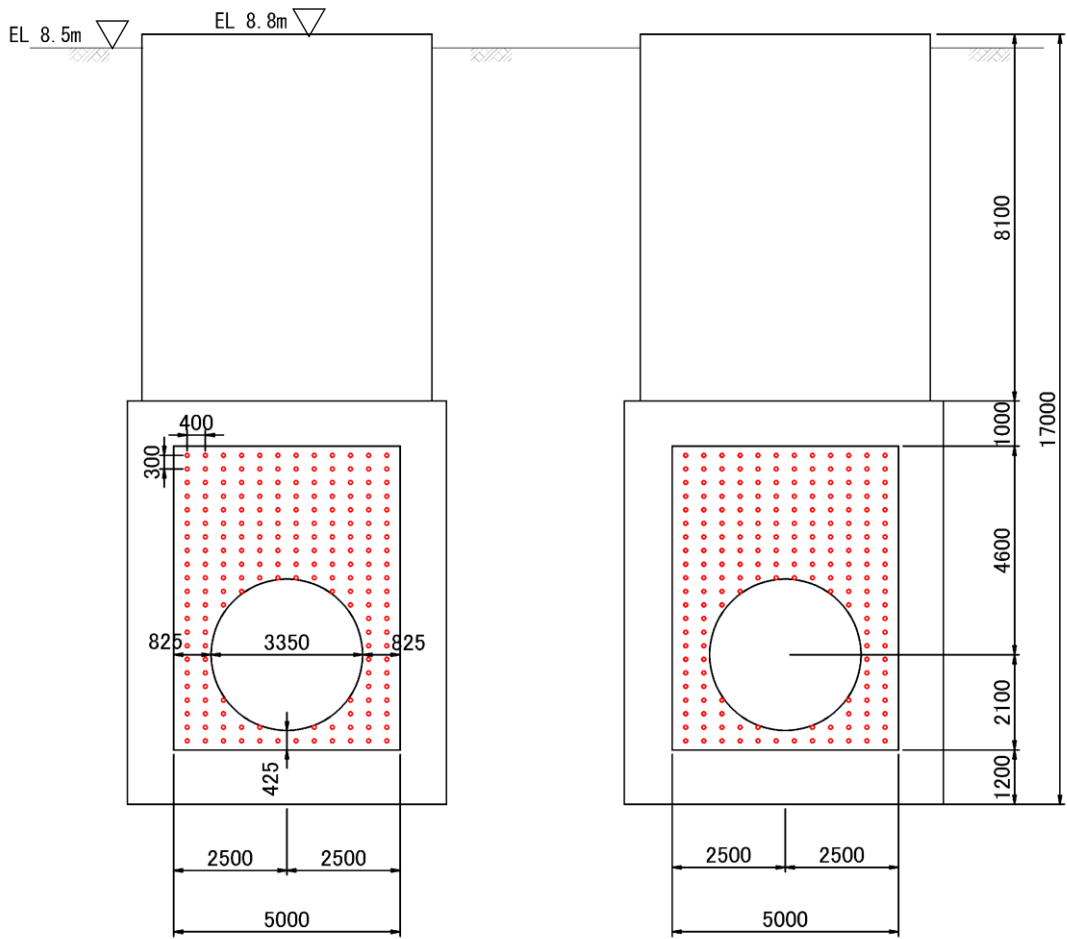
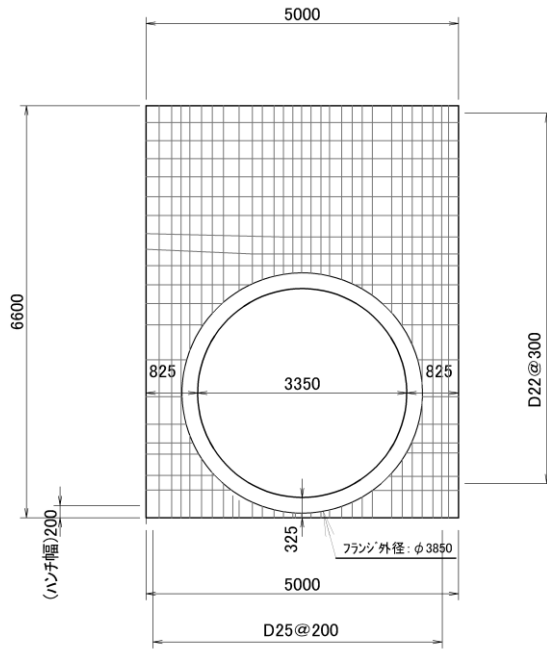


图 4-9 補強工事実施図 (C-C 断面)



○ : PHb 工法 : D19@400×300, SD345 (単位 : mm)

図 4-10 1号機取水槽北側壁配筋図

4.2 評価方針

1号機取水槽北側壁は、流路縮小工の間接支持構造物である。

1号機取水槽の耐震評価フローを図4-11に示す。

1号機取水槽北側壁は、VI-2-10-2-5「1号機取水槽の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、津波防護施設の間接支持構造物として、表4-2に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有すること及び津波防護施設を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、VI-2-10-2-5「1号機取水槽の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき実施する。1号機取水槽北側壁はPHb工法を適用する部材であるため、おおむね弾性範囲となる状況下で使用することから、曲げ・軸力系の破壊に対しては構造部材に発生する曲げモーメントが鉄筋降伏に相当する降伏モーメントを下回ることを確認する。せん断破壊に対しては照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、VI-2-10-2-5「1号機取水槽の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、基礎地盤に発生する接地圧が基礎地盤の極限支持力度を下回ることを確認する。

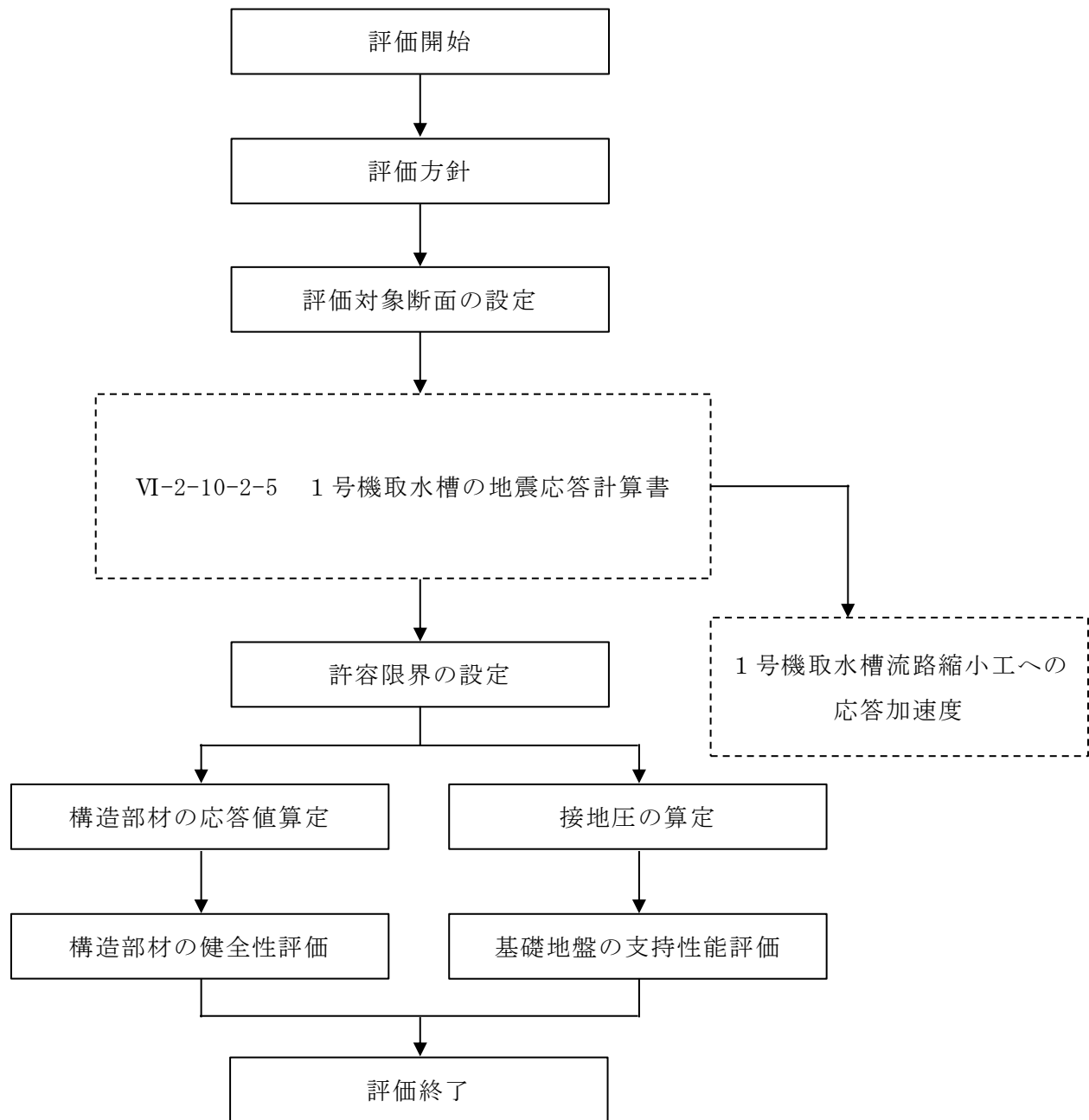


図 4-11 1号機取水槽 耐震評価フロー

表 4-2 取水槽北側壁 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	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	曲げモーメント及びせん断力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	降伏曲げモーメント*
				せん断力	せん断耐力*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	極限支持力度*	

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

4.3 適用規格・基準等

適用する規格・基準類を以下に示す。

- ・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）
- ・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，2005年）
- ・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）
- ・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）
- ・建設技術審査証明報告書 技術名称 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」（一般財団法人土木研究センター）

4.4 評価対象断面

1号機取水槽北側壁の評価対象断面位置図を図4-12に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は図4-12のA-A断面とする。

評価対象地質断面図を図4-13に示す。

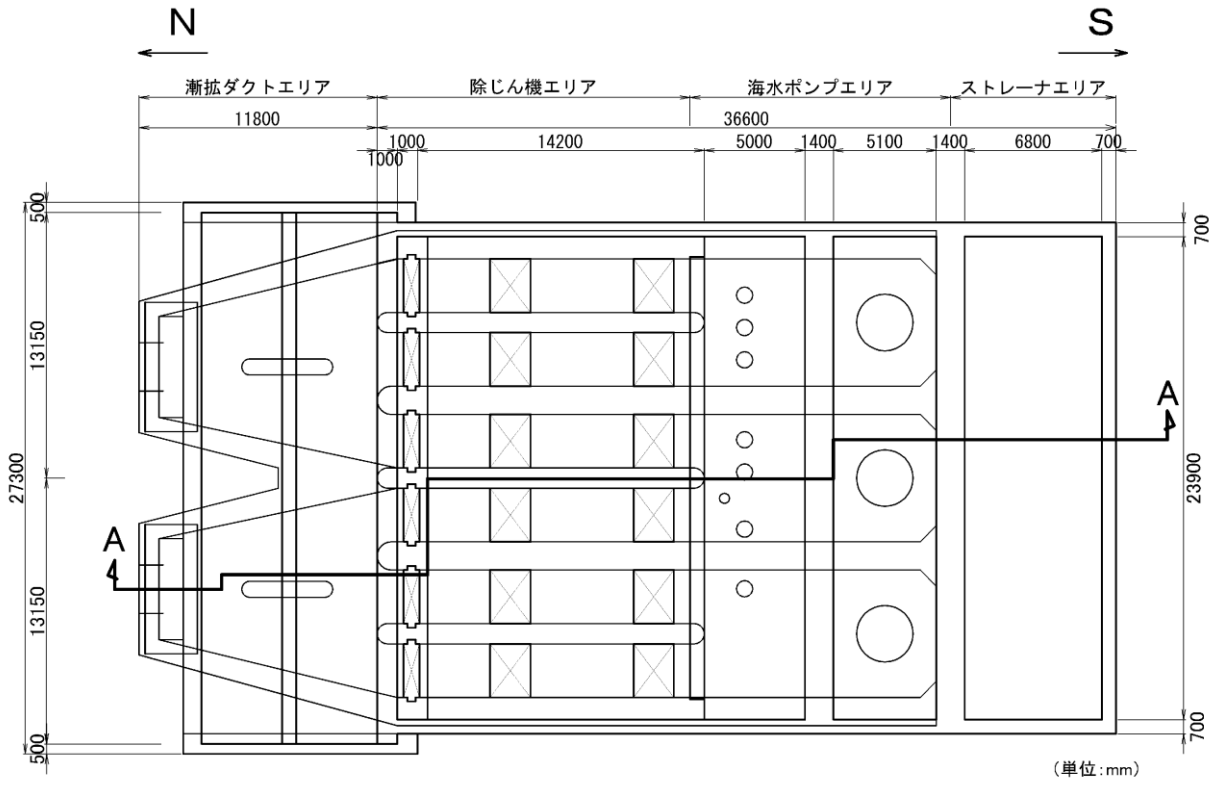


図4-12 1号機取水槽 評価対象断面位置図

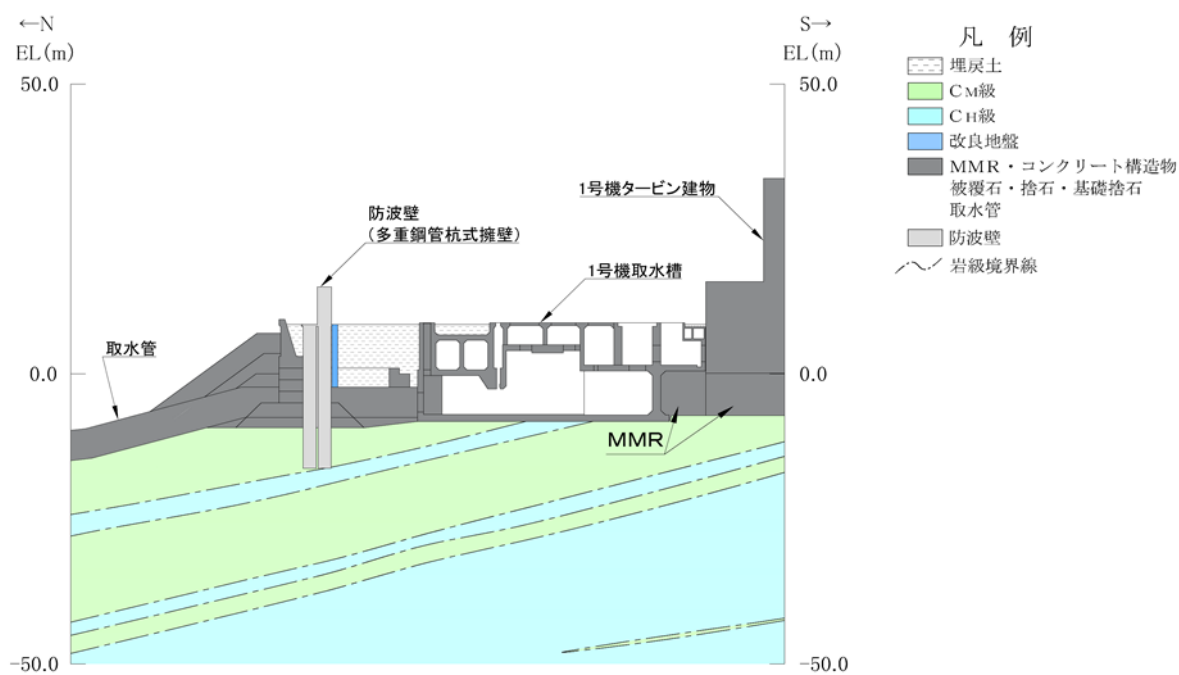


図 4-13 1号機取水槽 評価対象地質断面図 (A-A断面位置)

4.5 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 4-3, 材料の物性値を表 4-4 に示す。

表 4-3 使用材料

材料		仕様
構造物	コンクリート	設計基準強度 20.6N/mm ²
	充填コンクリート	設計基準強度 21.0N/mm ²
	鉄筋	SD345
MMR		設計基準強度 18.0N/mm ²

表 4-4 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
構造物 (鉄筋コンクリート)	2.33×10 ⁴	24.0* ¹	0.2
構造物 (漸拡ダクト部充填 コンクリート) * ³	2.33×10 ⁴	24.0* ¹	
構造物 (ピット部 充填コンクリート) * ³	2.33×10 ⁴	24.0* ¹	
MMR	2.20×10 ⁴	22.6* ²	

注記*1: 鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*2: 無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*3: ヤング係数については設計基準強度 20.6N/mm²の鉄筋コンクリート構造物と同様の値を設定し, 単位体積重量については鉄筋コンクリートの重量を設定する。

4.6 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

4.6.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

1号機取水槽北側壁はSクラス施設である流路縮小工を間接支持する機能が求められることから、構造物が終局限界に至らないことを確認する。

ただし、照査対象となる1号機取水槽北側壁はPHb工法を適用する部材であり、PHb工法はおおむね弾性範囲となる状況下で使用することから、構造部材に発生する曲げモーメントが鉄筋降伏に相当する降伏モーメントを下回ることを確認する必要がある。

以上を踏まえ、より厳しい許容限界である降伏モーメントによる評価を実施することで、構造物が終局限界に至らないことも併せて確認する。

(2) せん断破壊に対する許容限界

照査対象となる北側壁は、PHb工法を適用する部材であるため、構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、せん断耐力とし、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認する。

なお、設計上の保守的な配慮として、ポストヘッドバー（PHb）によるせん断補強を配置する場合は、対象とする構造部材の主鉄筋の降伏以下の場合に適用することとし、せん断破壊に対する照査値は0.80程度とする。

後施工せん断補強（ポストヘッドバー（PHb））を配置した構造部材のせん断耐力については、「建設技術審査証明報告書 技術名称 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」、一般財団法人土木研究センター」に示されている以下の設計式により求める。



PHb が負担するせん断耐力は，先端型定着体の定着長が 3.5D～5.5D であることから，通常のせん断鉄筋に比べ補強効率が低下する。PHb が負担するせん断耐力は同定着長と補強対象部材の主鉄筋間隔から算出される有効率 β_{aw} を通常のせん断補強鉄筋の負担分に乗じることにより考慮されている。図 4-14 に有効率算定における概念図を示す。

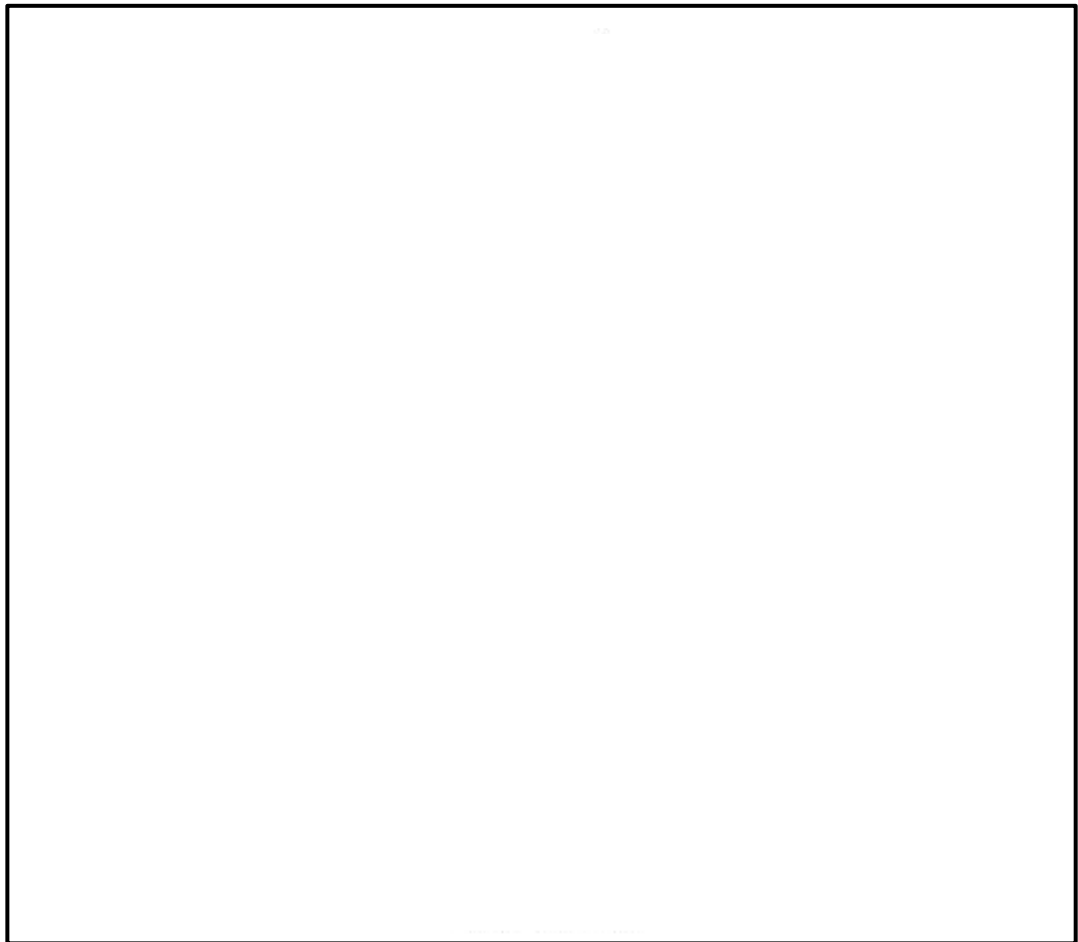


図 4-14 ポストヘッドバー (PHb) の有効率算定の概念図

4.6.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 基礎地盤

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、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表4-5に示す。

表4-5 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級	9.8

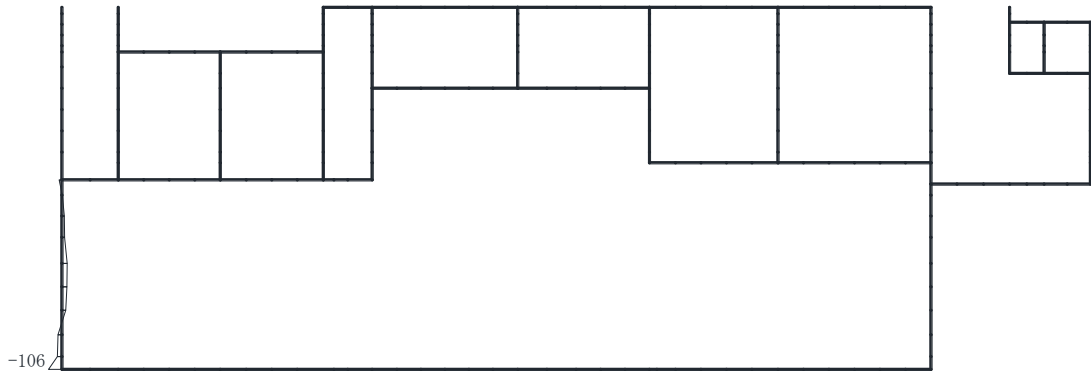
4.7 評価方法

1号機取水槽北側壁の耐震評価は，地震応答解析により算定した照査用応答値が，「4.6 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

4.7.1 構造部材の健全性評価

構造部材の曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査に対して，地震応答解析により算定した照査用曲げモーメント及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認する。

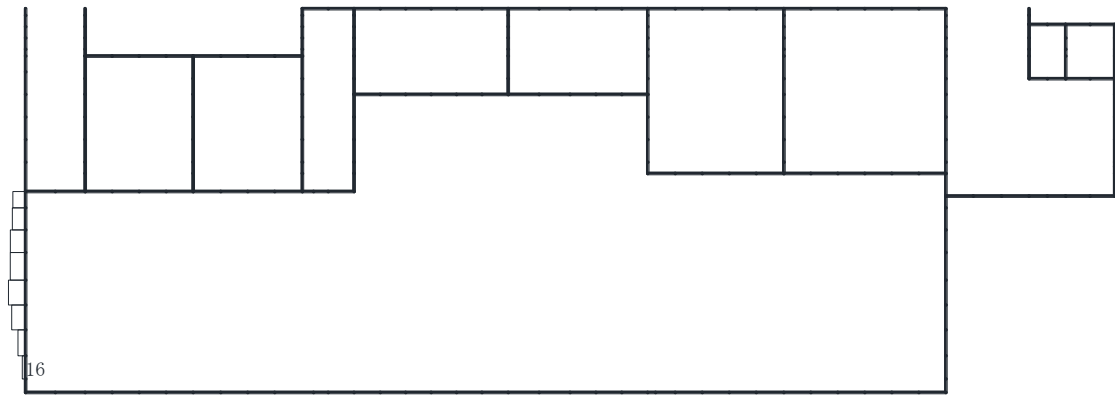
曲げ・軸力系の破壊に対して照査値が最大となる地震動及び解析ケースでの断面力図を図4-15に，せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図を図4-16に示す。



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -500 0 500 (kN・m)

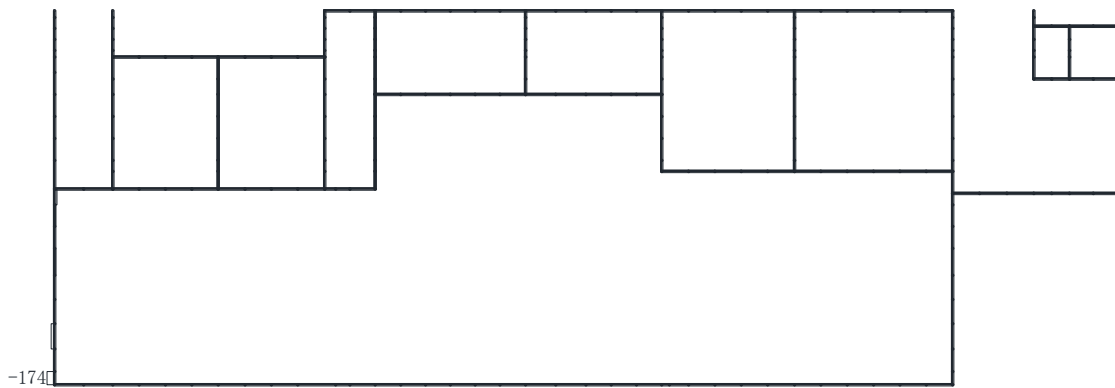
(a) 曲げモーメント (kN・m)



構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -2000 0 2000 (kN)

(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)

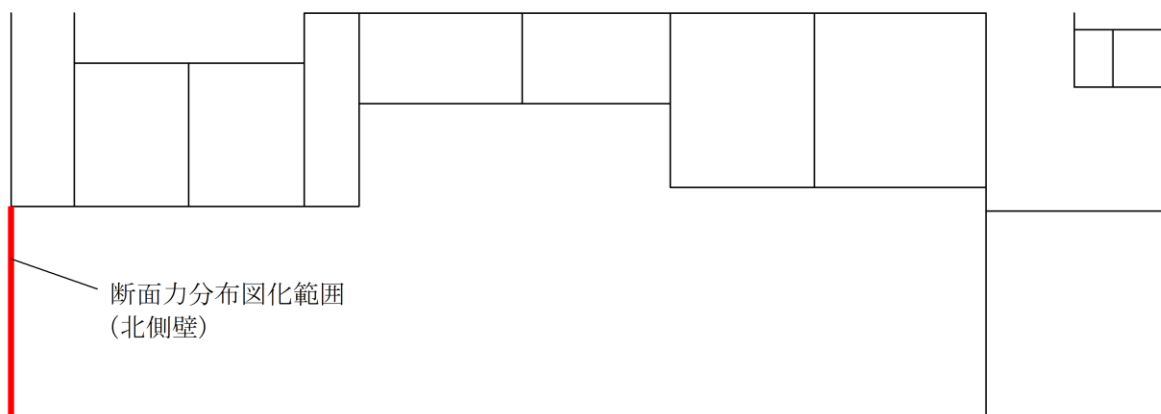


構造スケール 0 2(m)

応答値スケール -1000 0 1000 (kN)

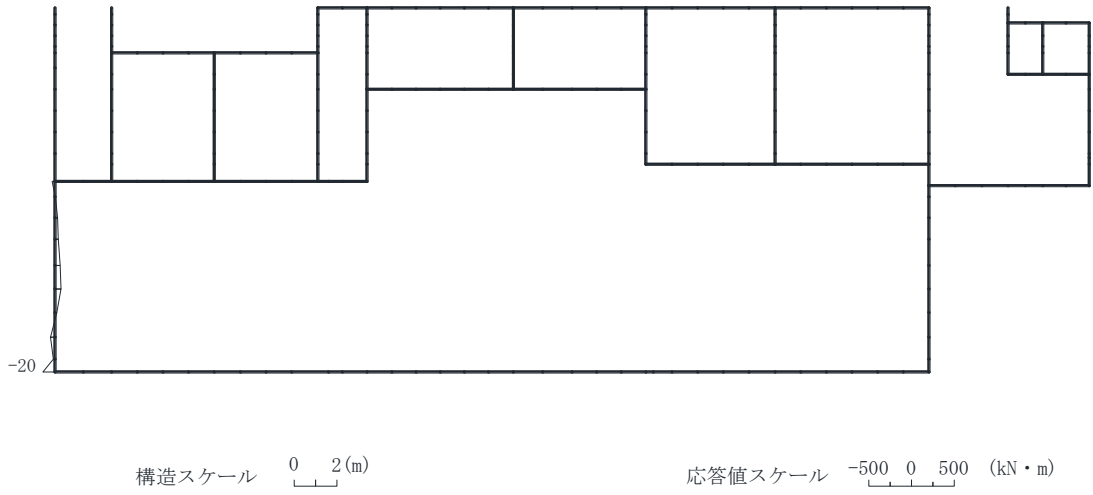
(c) せん断力 (kN)

図 4-15 (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図
(A-A断面, 解析ケース①, S s-D (+-))

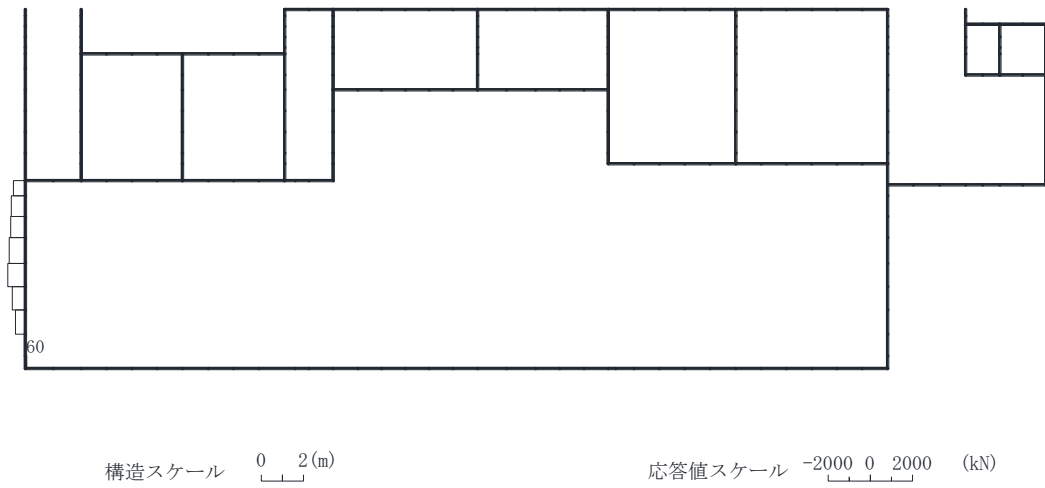


(d) 断面力分布図化範囲

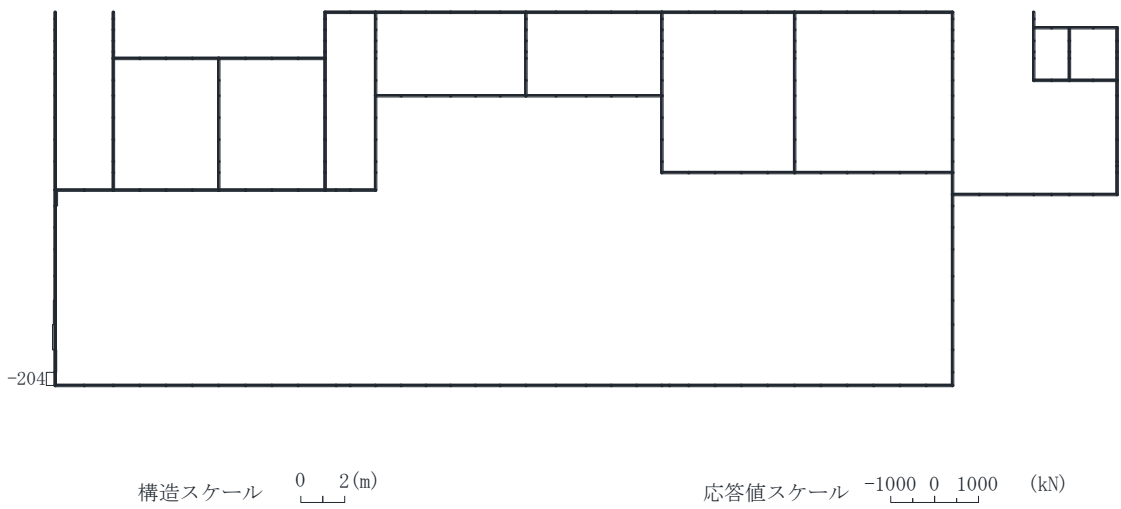
図 4-15 (2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図
(A-A断面, 解析ケース①, $S_s - D (+)$)



(a) 曲げモーメント (kN・m)

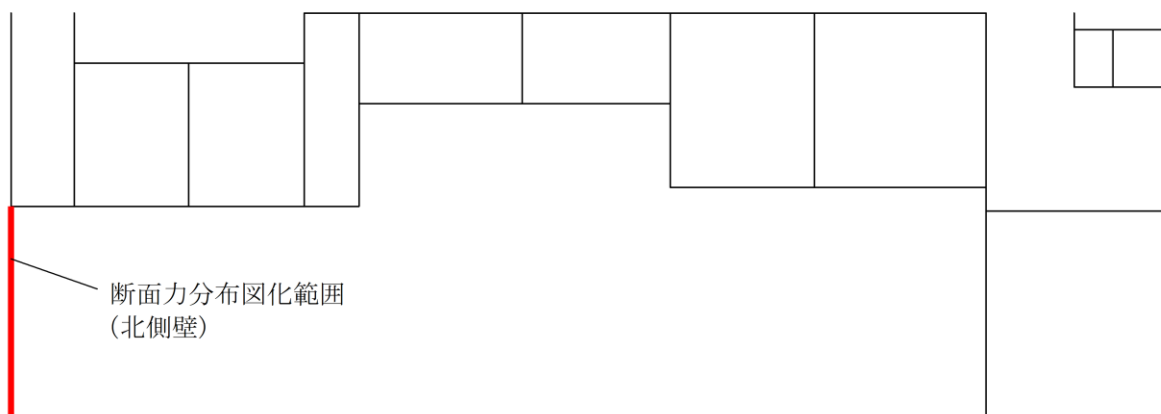


(b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



(c) せん断力 (kN)

図 4-16 (1) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
(A-A断面, 解析ケース②, S s-D (++))



(d) 断面力分布図化範囲

図 4-16 (2) せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
(A-A断面, 解析ケース②, S s - D (++))

4.7.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては基礎地盤に発生する接地圧が許容限界以下であることを確認する。

5. 耐震評価結果

5.1 構造部材の健全性に対する評価結果

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 5-1 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 5-2 に示す。

1号機取水槽北側壁の照査用モーメント及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動	照査用 モーメント M_d^* (kN・m)	軸力 (kN/m)	降伏 モーメント M_y (kN・m)	照査値 M_d/M_y
①	S s - D (+-)	-106	16	-639	0.17

注記* : 照査用モーメント = 発生モーメント $M \times$ 構造解析係数 $\gamma_a (=1.0)$

表 5-2 せん断破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動	照査用 せん断力* V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
②	S s - D (++)	214	731	0.30

注記* : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 $\gamma_a (=1.05)$

5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 5-3 に示す。基礎地盤の接地圧分布図を図 5-1 に示す。

表 5-3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

解析 ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	S s - D (+-)	2.26	9.8	0.24

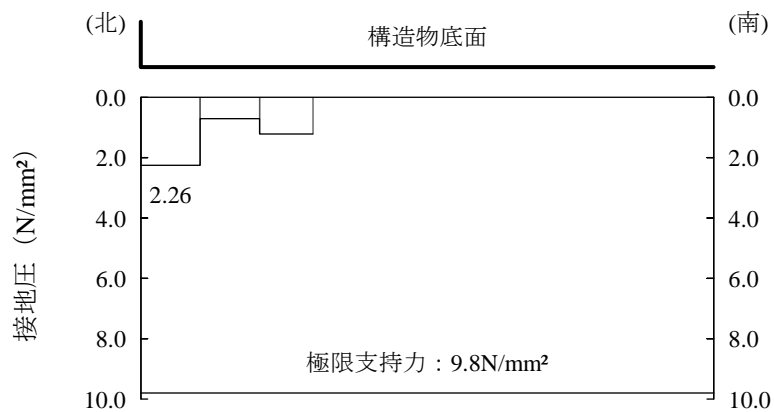


図 5-1 最大接地圧分布図 (A-A 断面)
(解析ケース①, S s - D (+-))

VI-2-10-2-7 屋外排水路逆止弁の耐震性についての計算書

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	30
4. 固有周期	32
4.1 固有周期の計算方法	32
4.1.1 閉門時	32
4.1.2 開門時	33
4.2 固有周期の計算条件	34
4.2.1 閉門時	34
4.2.2 開門時	35
4.3 固有周期の計算結果	36
4.3.1 閉門時	36
4.3.2 開門時	37
5. 構造強度評価	38
5.1 構造強度評価方法	38
5.2 荷重及び荷重の組合せ	38
5.2.1 荷重の設定	38
5.2.2 荷重の組合せ	38
5.3 許容限界	40
5.4 設計用地震力	44
5.4.1 閉門時	44
5.4.2 開門時	58
5.4.3 評価に用いる設計用地震力	62
5.5 計算方法	64
5.5.1 屋外排水路逆止弁 (①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑨, ⑬)	65
5.5.2 屋外排水路逆止弁 (⑦, ⑧-1, ⑧-2, ⑩, ⑪, ⑫)	79
5.6 計算条件	90
6. 評価結果	102
7. 集水桝の耐震評価	115

7.1	集水榭の構造概要	115
7.2	評価方針	128
7.3	適用規格・基準等	133
8.	集水榭の耐震評価方法	134
8.1	設計用地震力及び評価対象部位	134
8.1.1	集水榭（防波壁部）	134
8.1.2	集水榭（改良地盤部）	134
8.2	荷重及び荷重の組合せ	135
8.2.1	荷重の設定	135
8.2.2	荷重の組合せ	135
8.3	許容限界	137
8.3.1	集水榭	137
8.3.2	アンカー筋	138
8.3.3	接合鉄筋	147
8.3.4	基礎地盤の支持性能	148
8.3.5	集水榭蓋	148
8.3.6	アンカーボルト（集水榭蓋）	149
8.4	設計用地震力	150
8.5	評価方法	153
8.5.1	集水榭（防波壁部）	153
8.5.2	集水榭（改良地盤部）	154
8.5.3	集水榭蓋の評価	158
8.5.4	アンカーボルト（集水榭蓋）の評価	159
8.6	使用材料及び材料の物性値	160
9.	集水榭の耐震評価結果	161
9.1	集水榭の曲げ軸力評価結果	161
9.2	集水榭のせん断力評価結果	174
9.3	アンカー筋の支持性能評価結果	177
9.4	接合鉄筋の支持性能評価結果	180
9.5	基礎地盤の支持性能評価結果	181
9.6	集水榭蓋の応力評価結果	182
9.7	アンカーボルト（集水榭蓋）のせん断力評価結果	185

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち屋外排水路逆止弁が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。

屋外排水路逆止弁は、設計基準対象施設においては耐震設計上の重要度分類Sクラスに分類され、十分な支持性能を有する防波壁又は改良地盤に設置された集水柵に設置する。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。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、基準地震動 S_s 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、地震応答解析に基づく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、設置状況一覧を表 2-1、構造概要図を図 2-2～図 2-11 に示す。

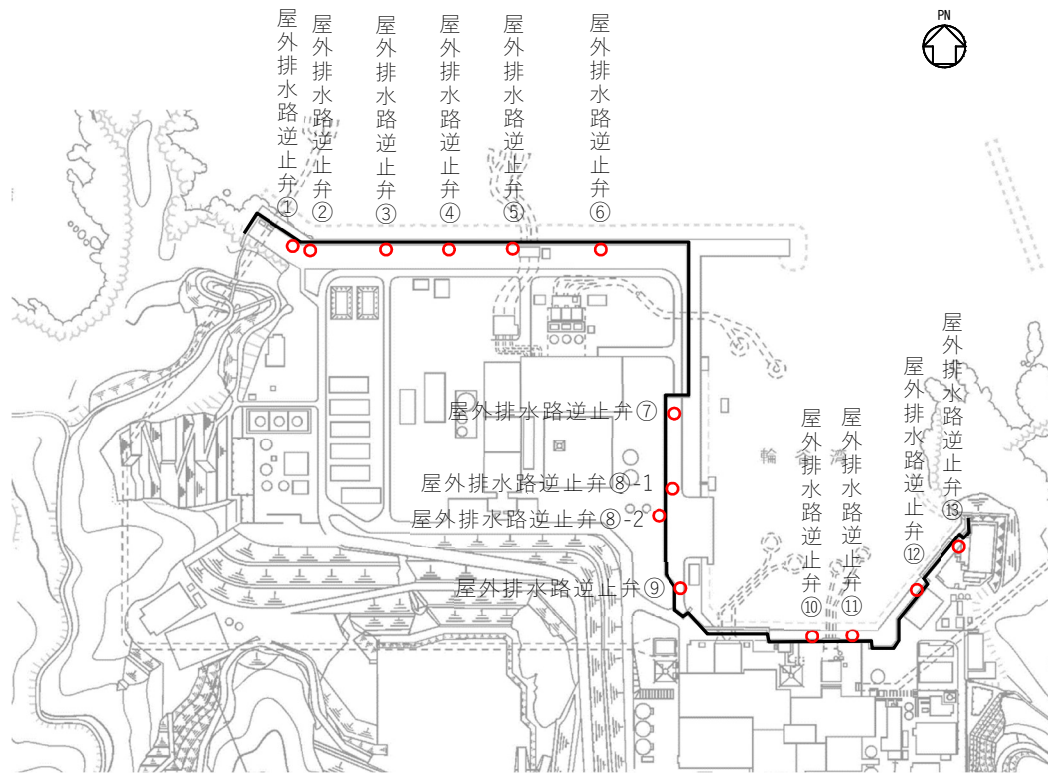


図 2-1 屋外排水路逆止弁の設置位置図

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	集水榦の支持機構	
屋外排水路逆止弁①	鋼製	防波壁の敷地側の集水榦（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榦（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榦（地中）内に設置		
屋外排水路逆止弁⑨		鋼製	防波壁の海側の集水榦（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榦（地中）内に設置			

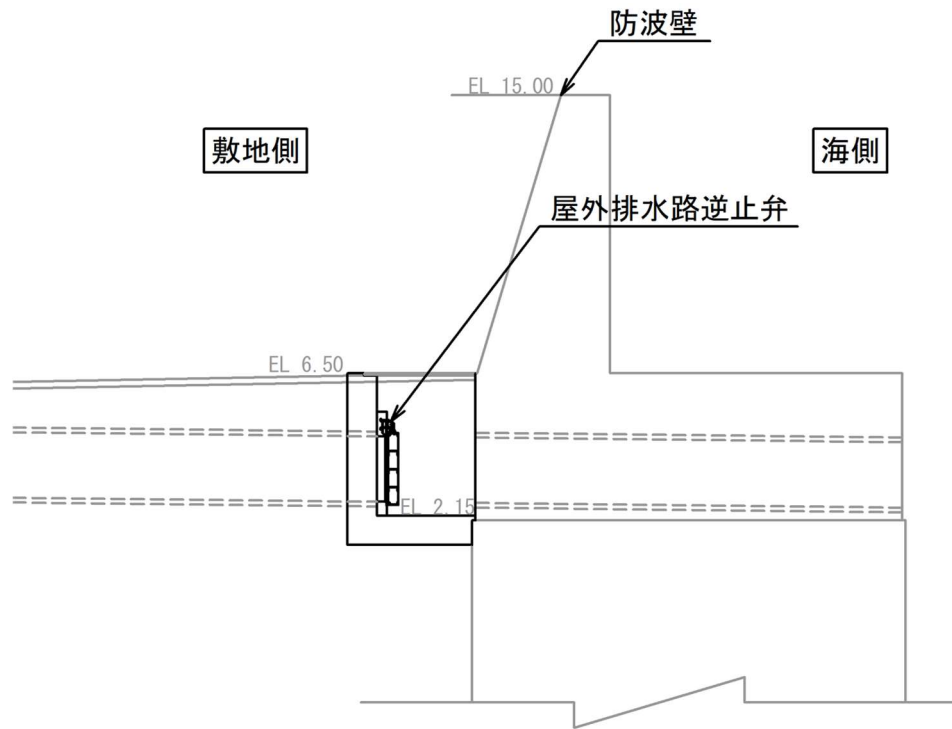


図 2-2(1) 屋外排水路逆止弁①断面図

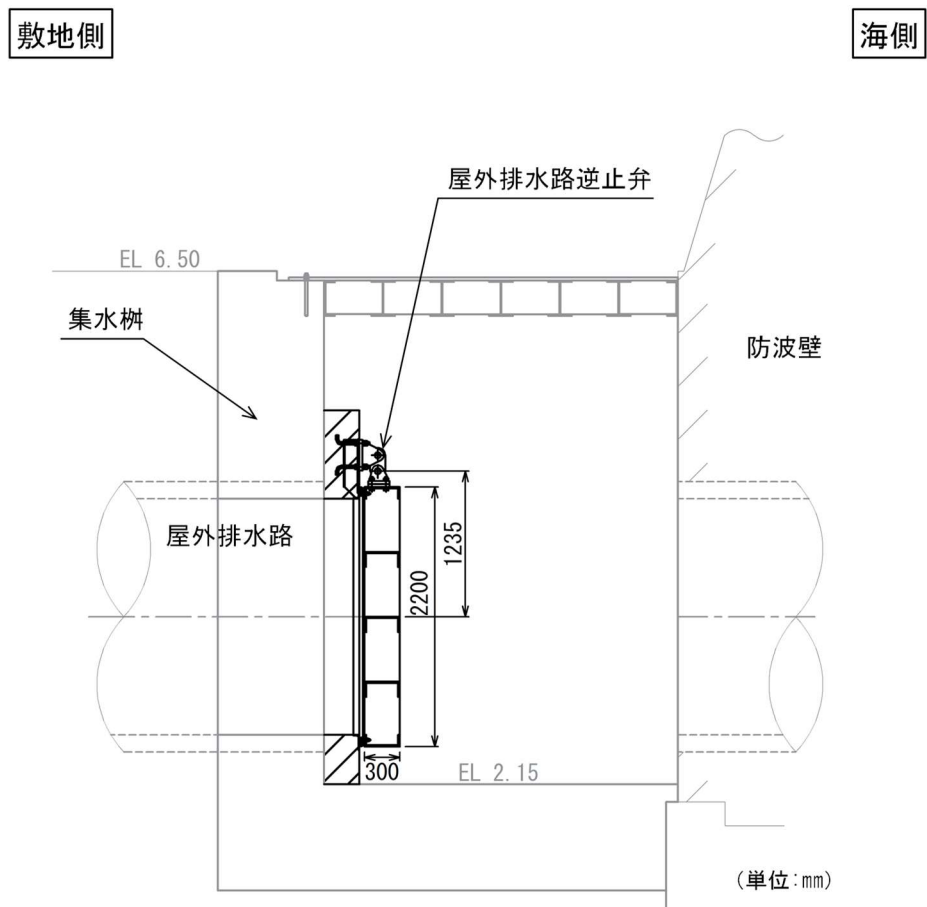


図 2-2(2) 屋外排水路逆止弁①の構造概要図

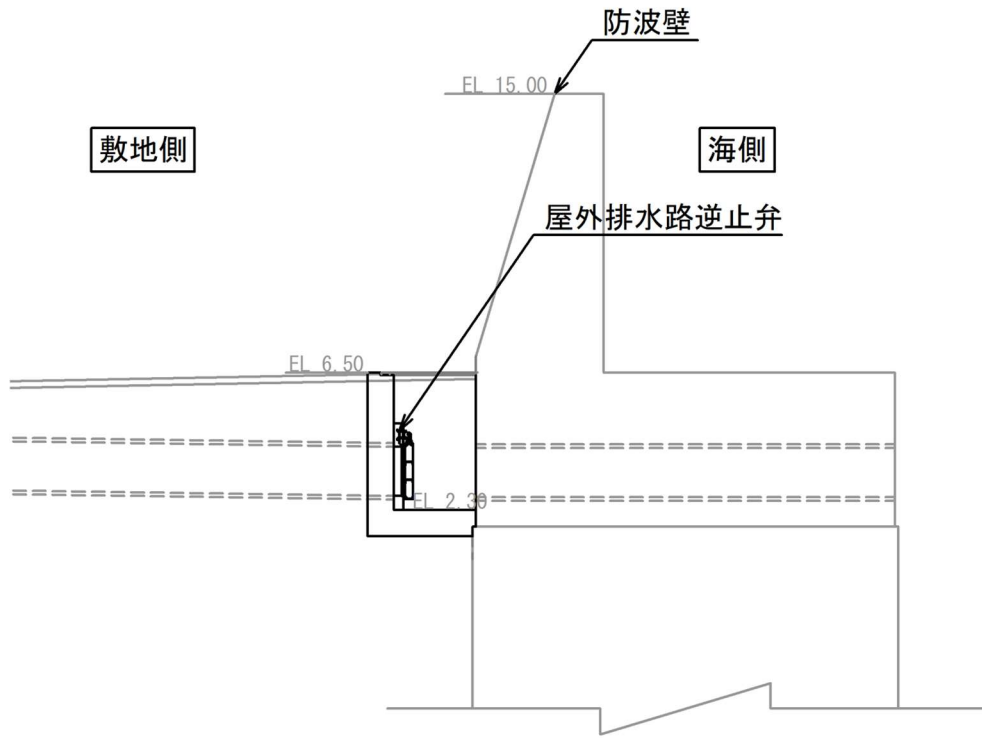


図 2-3(1) 屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥断面図

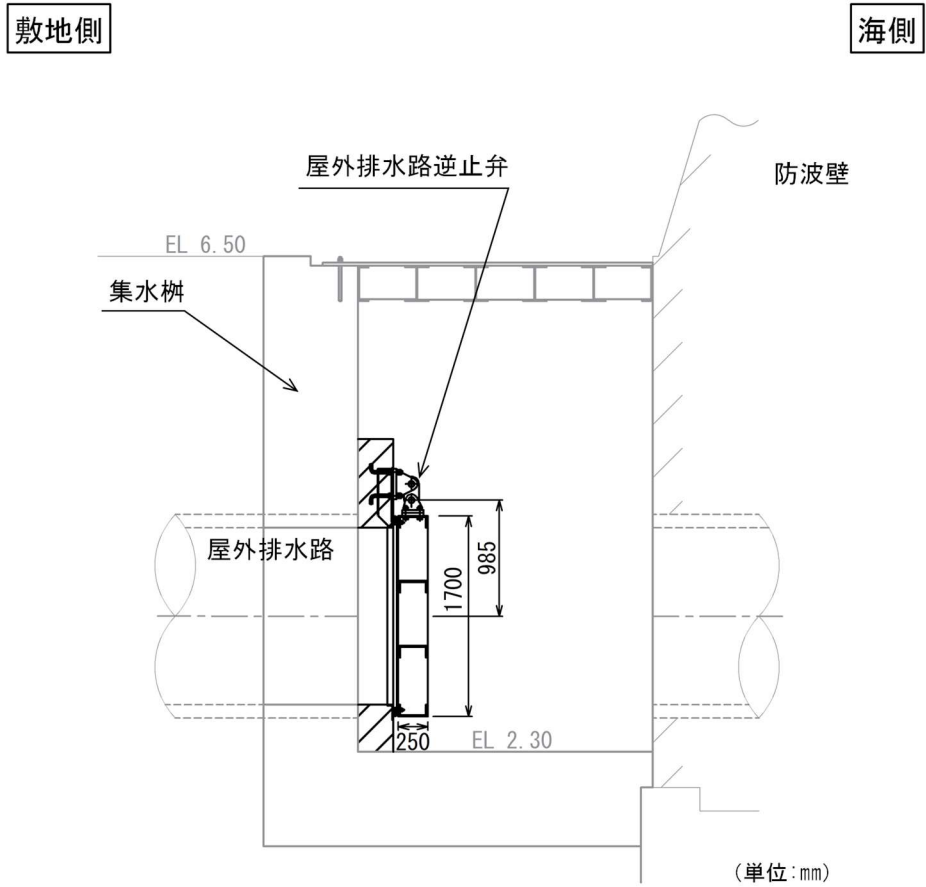


図 2-3(2) 屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥の構造概要図

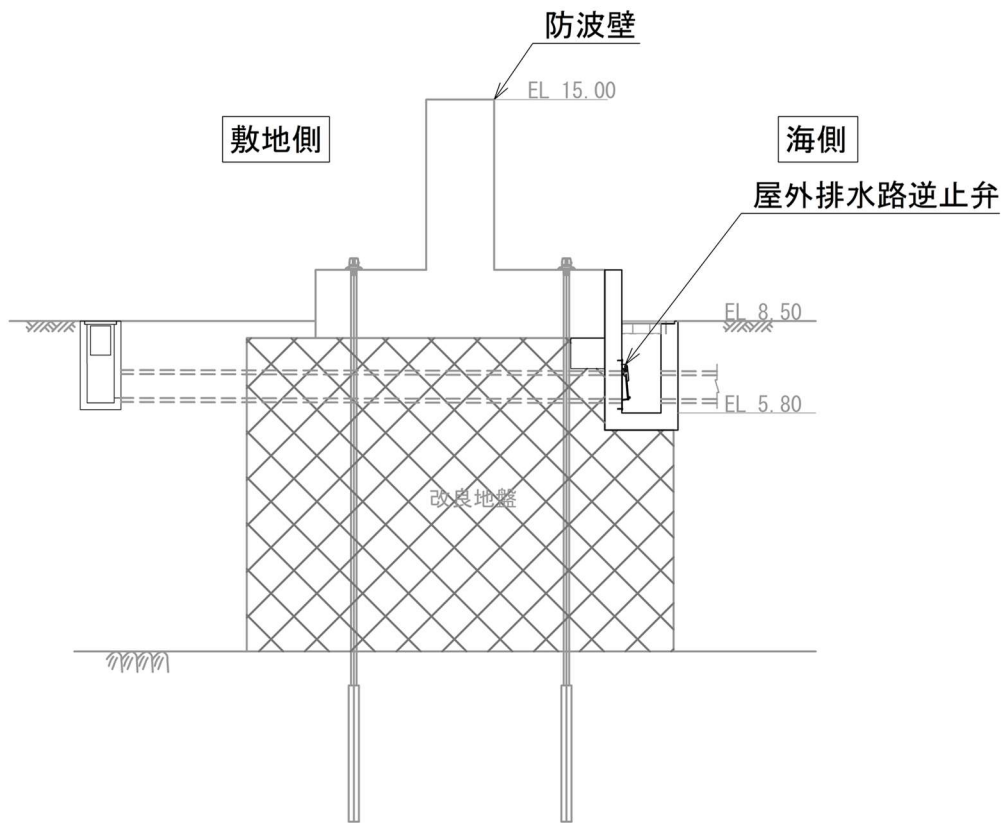
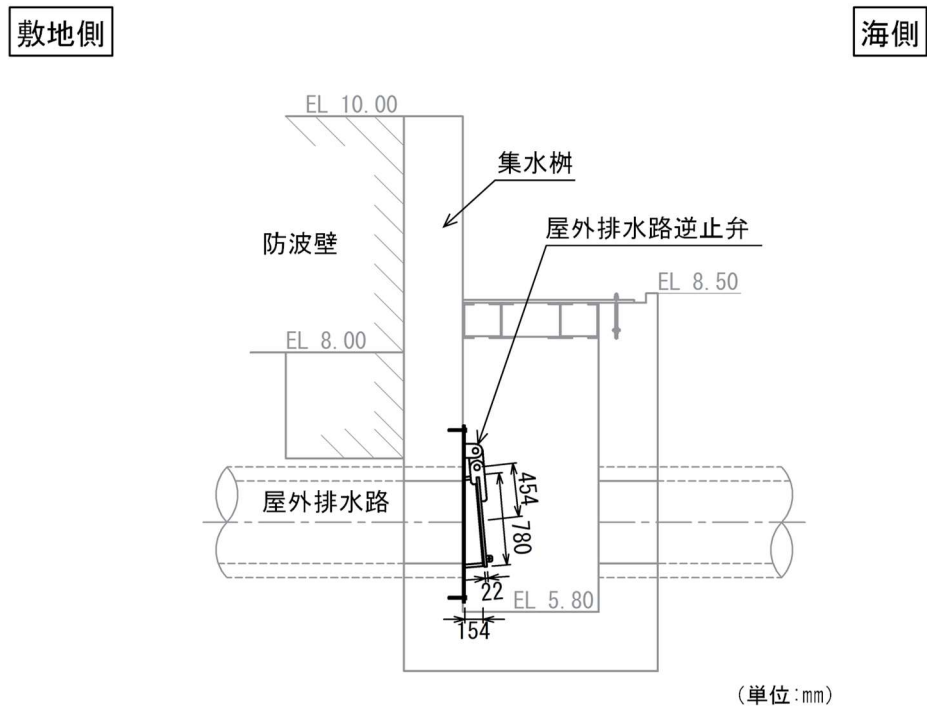


図 2-4(1) 屋外排水路逆止弁⑦断面図



(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

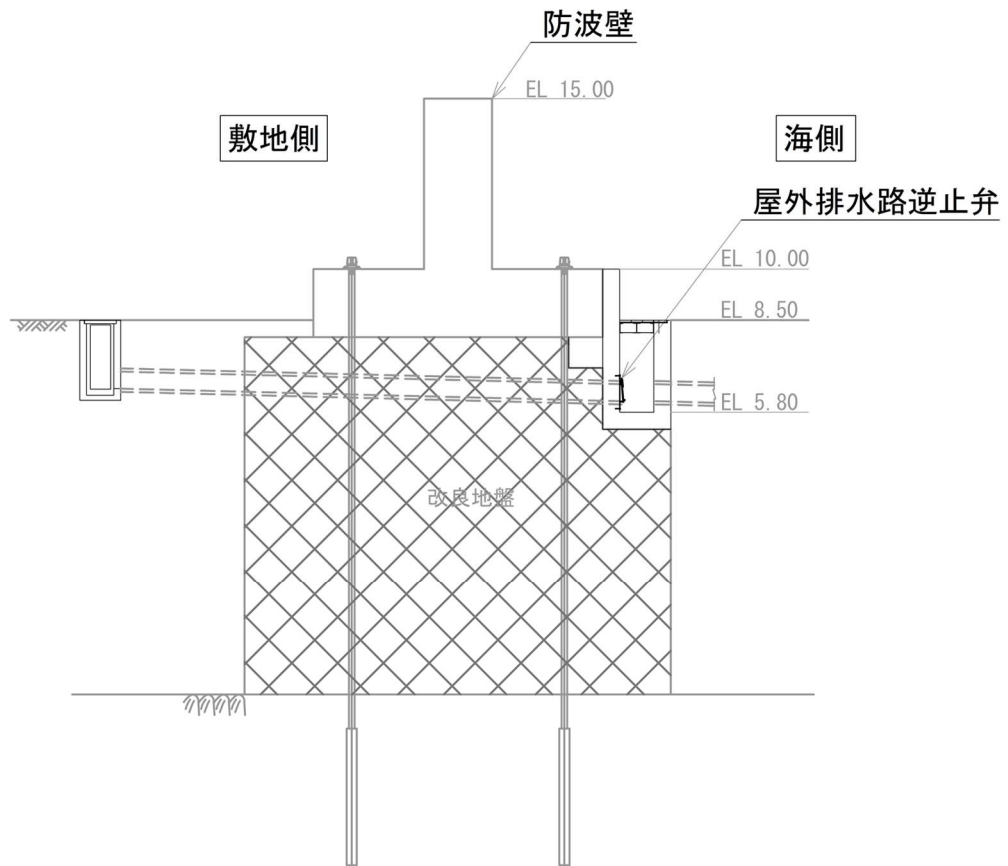
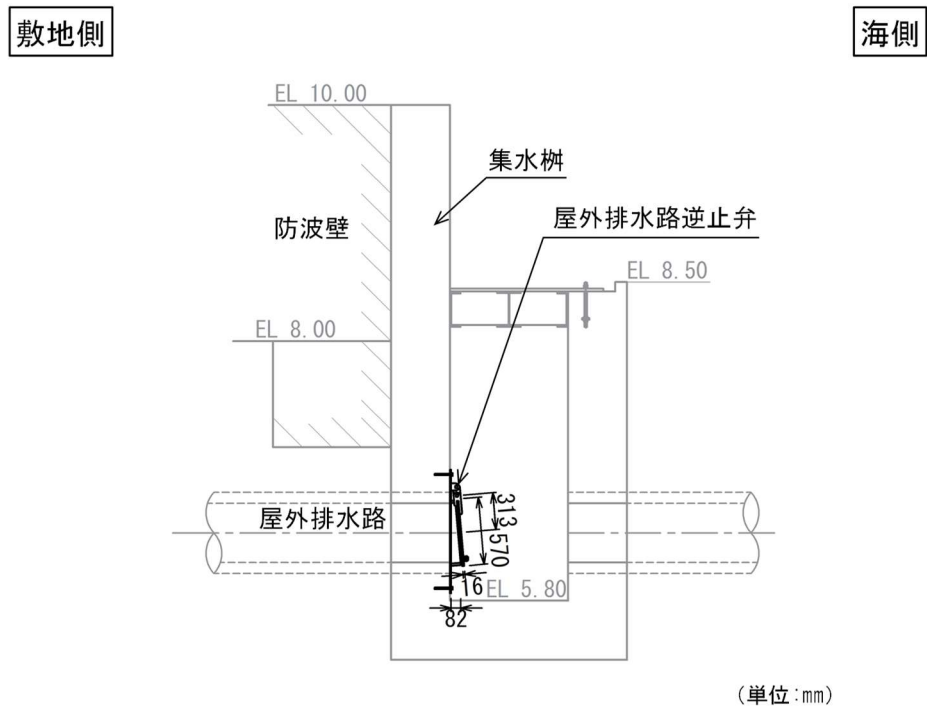


図 2-5 (1) 屋外排水路逆止弁⑧-1 断面図



(単位:mm)

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

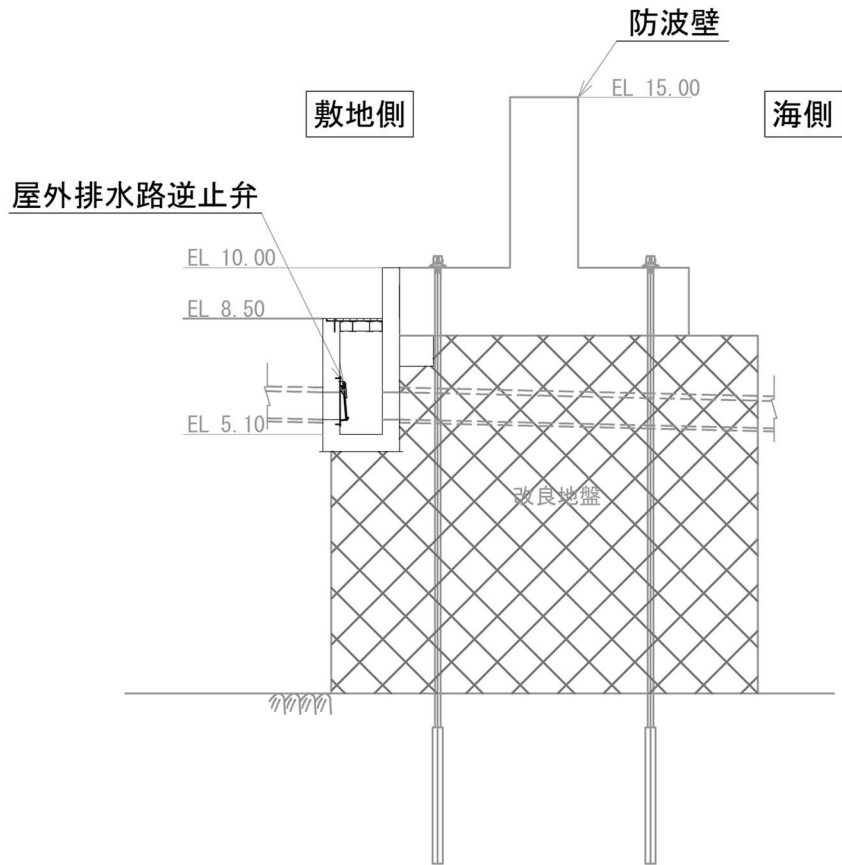
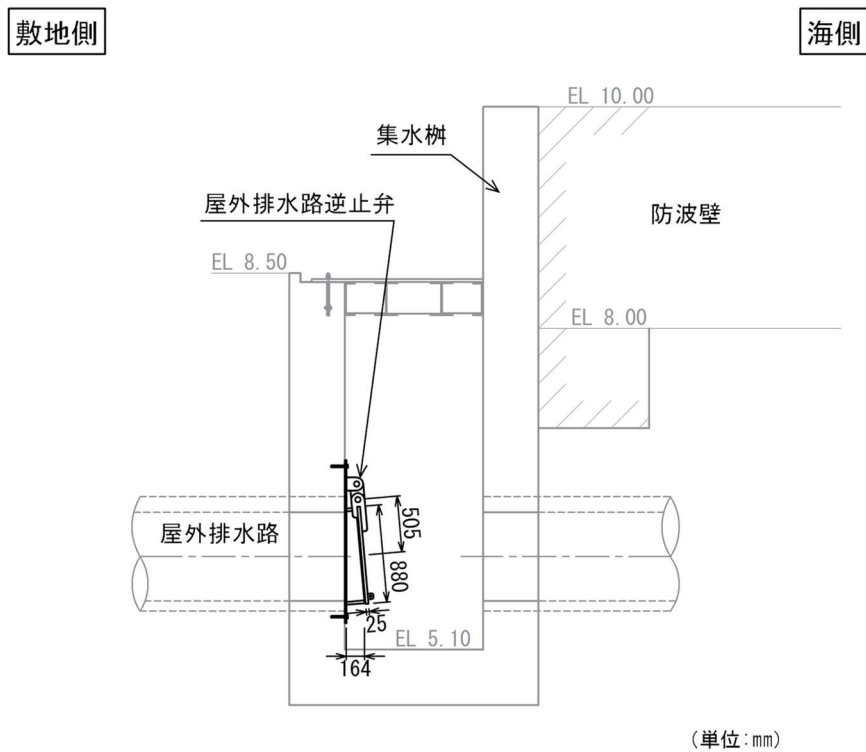


図 2-6 (1) 屋外排水路逆止弁⑧-2 断面図



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

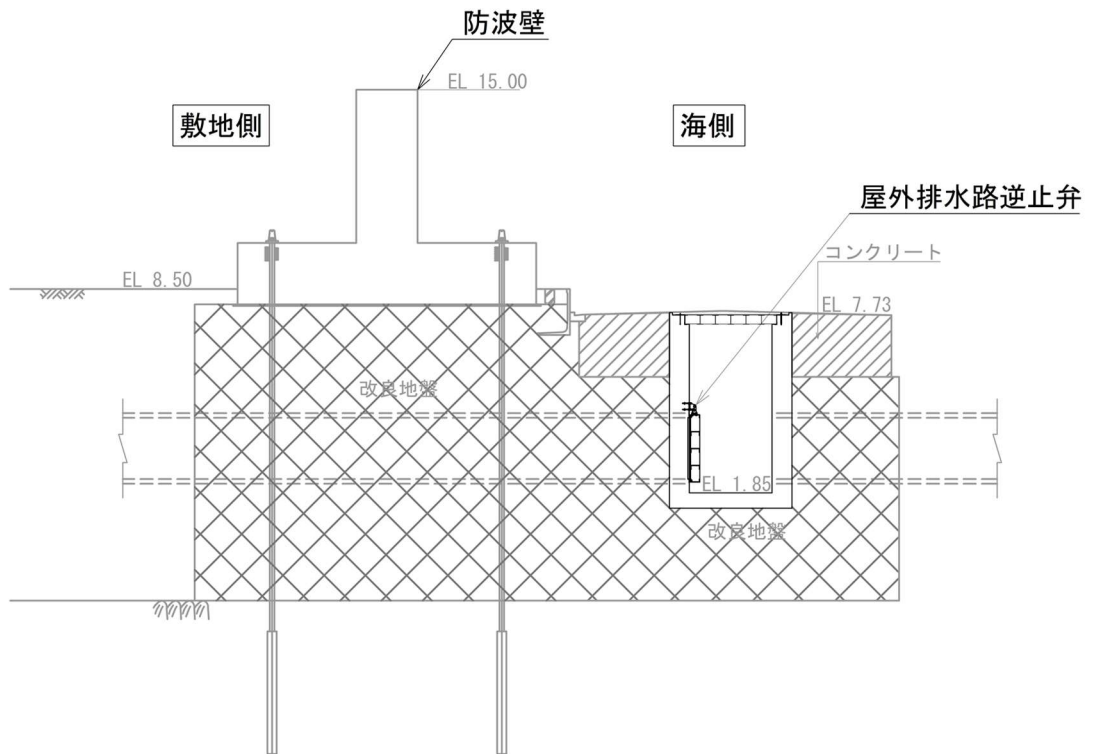


図 2-7 (1) 屋外排水路逆止弁⑨断面図

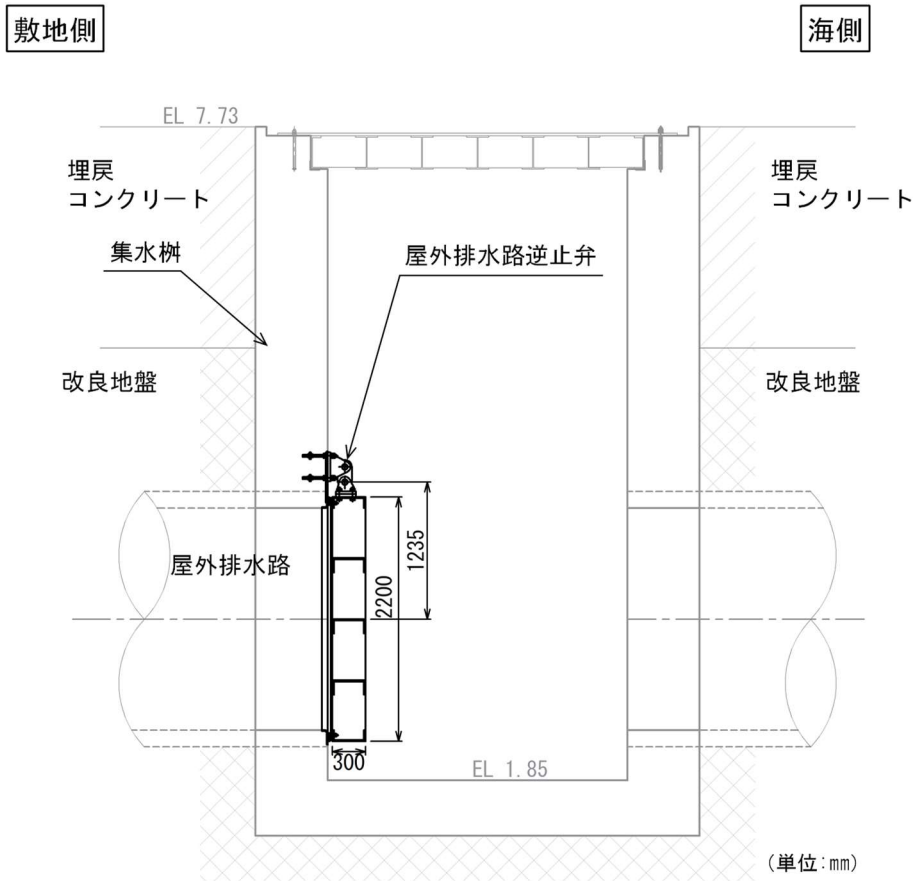


図 2-7 (2) 屋外排水路逆止弁⑨の構造概要図

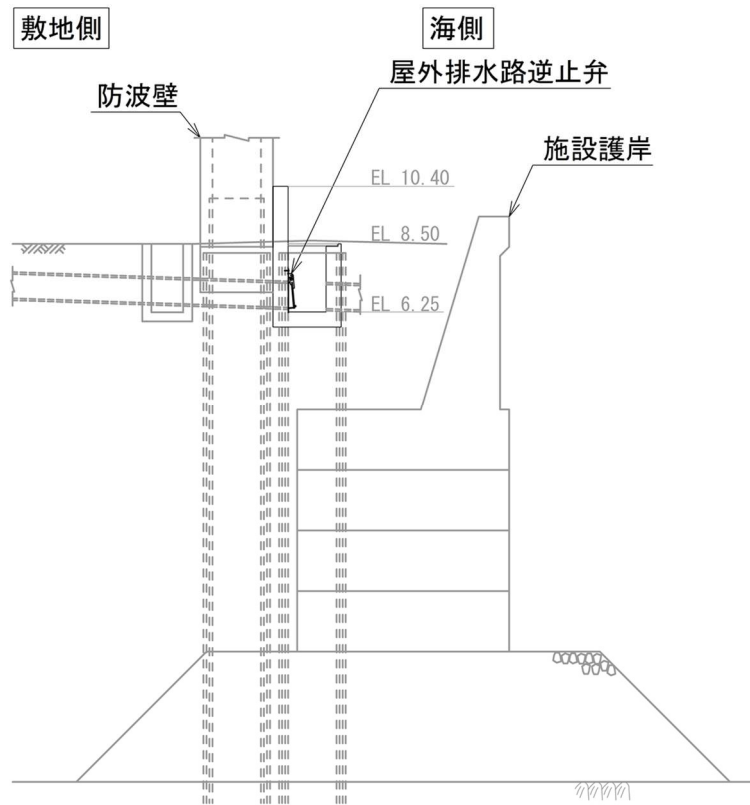
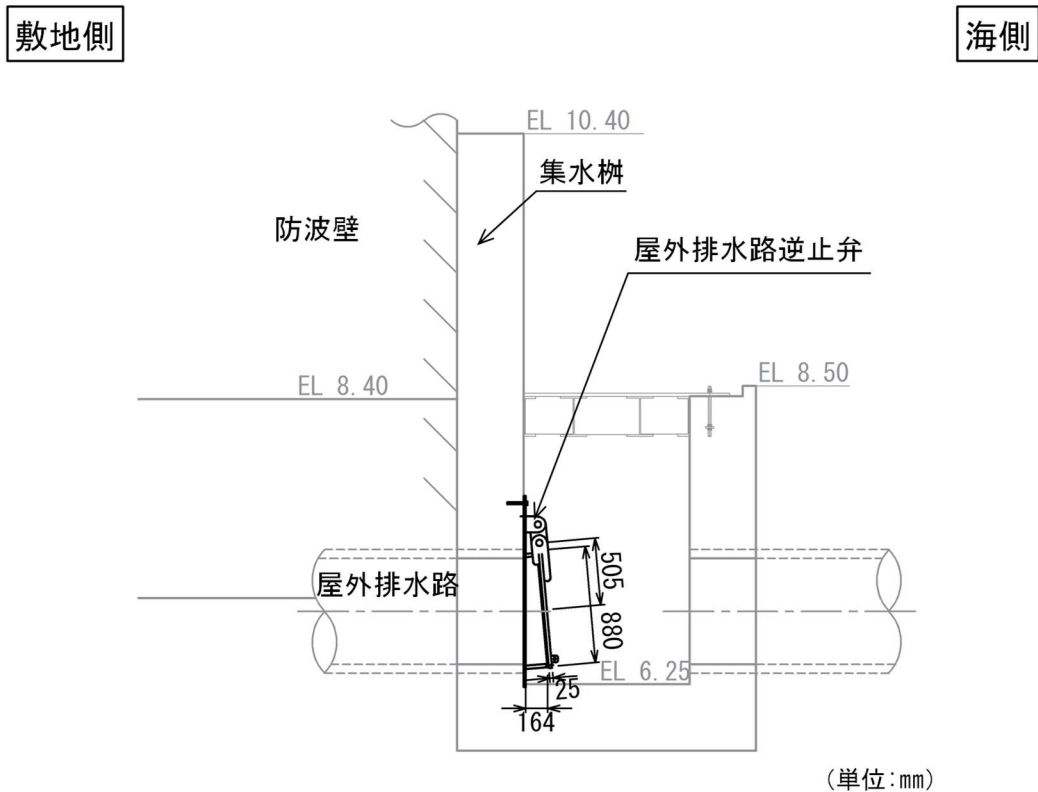


図 2-8 (1) 屋外排水路逆止弁⑩断面図



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

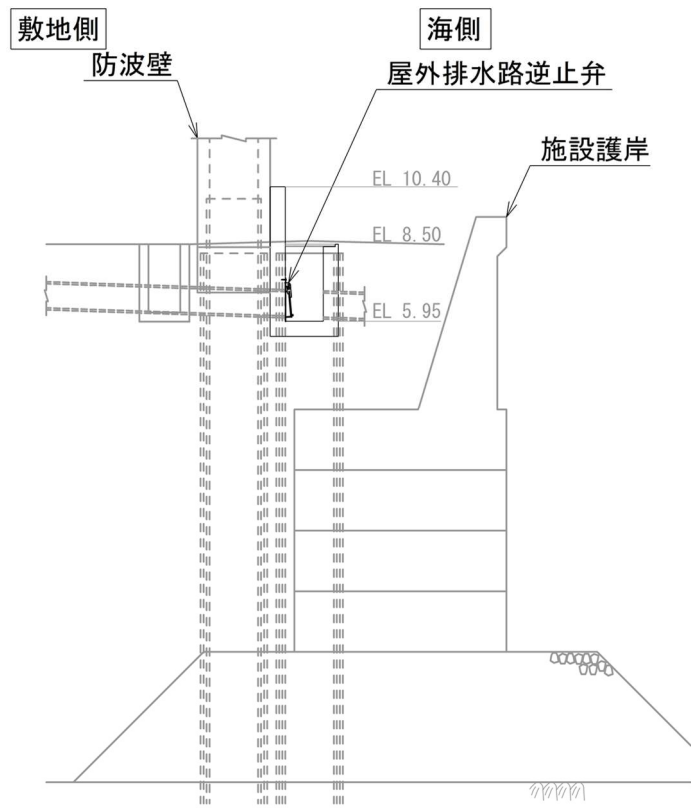
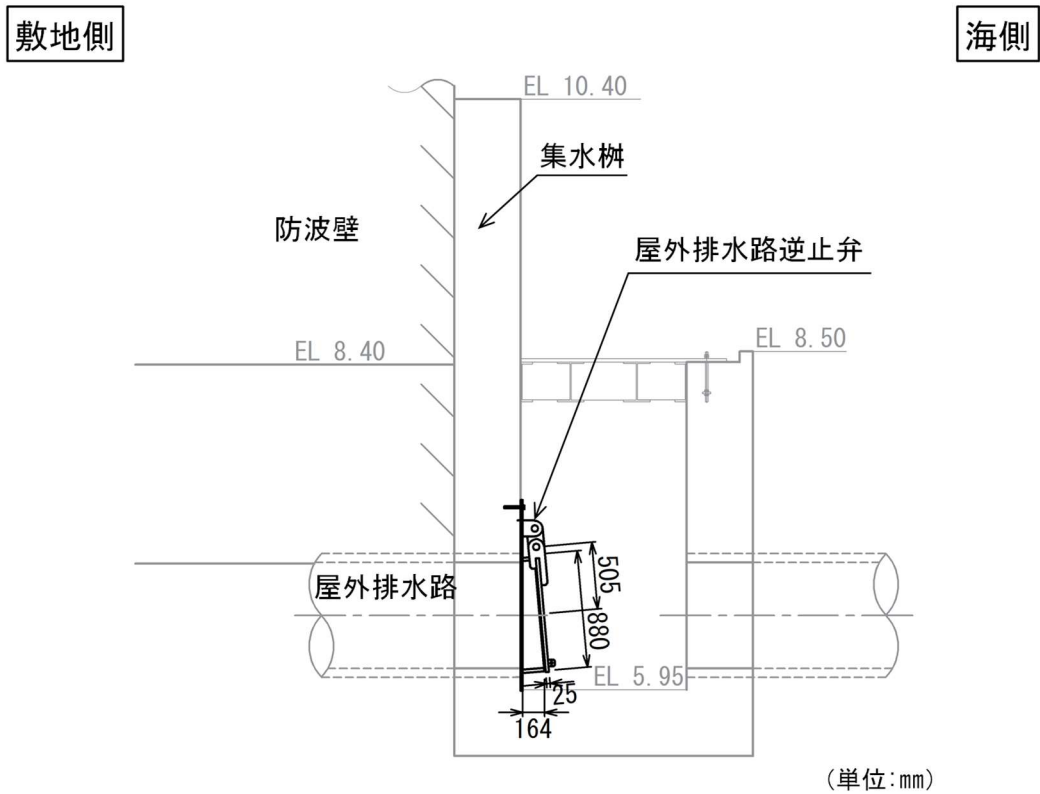


図 2-9 (1) 屋外排水路逆止弁①断面図



注：集水枿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

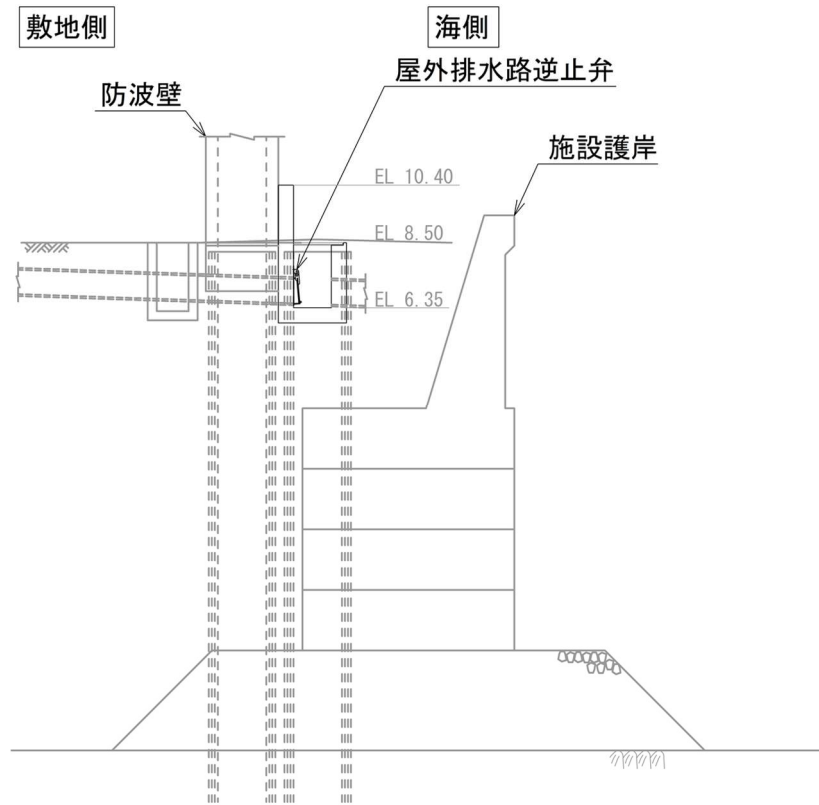
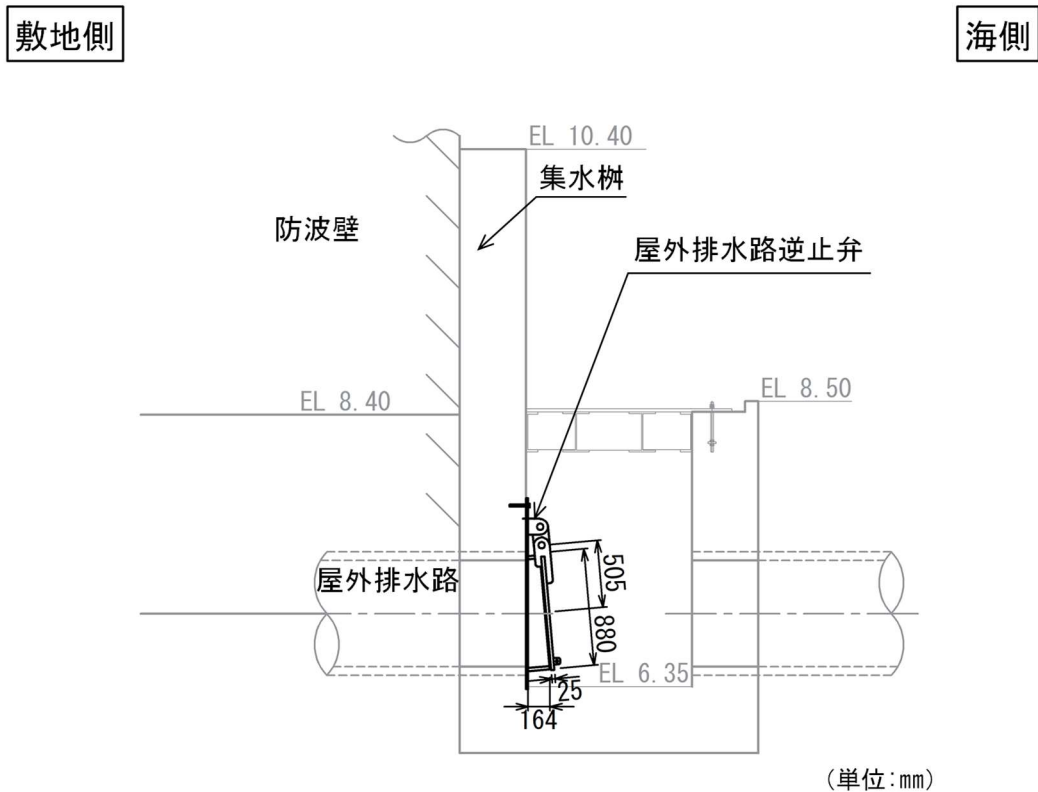


図 2-10 (1) 屋外排水路逆止弁⑫断面図



注：集水榫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

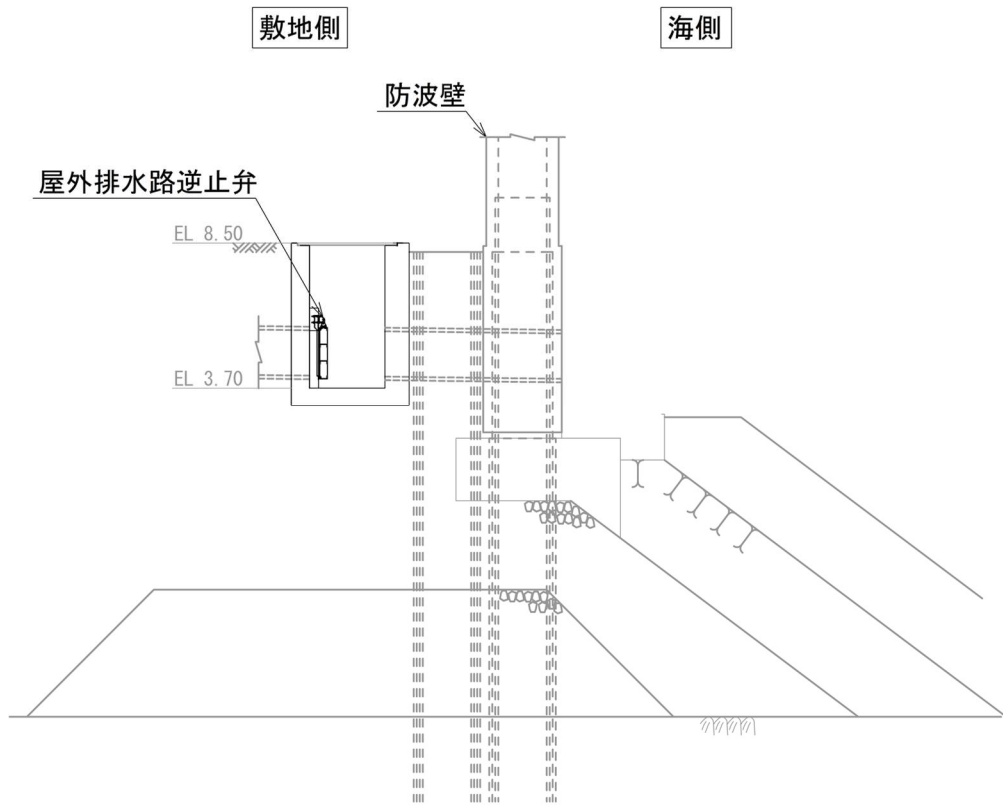
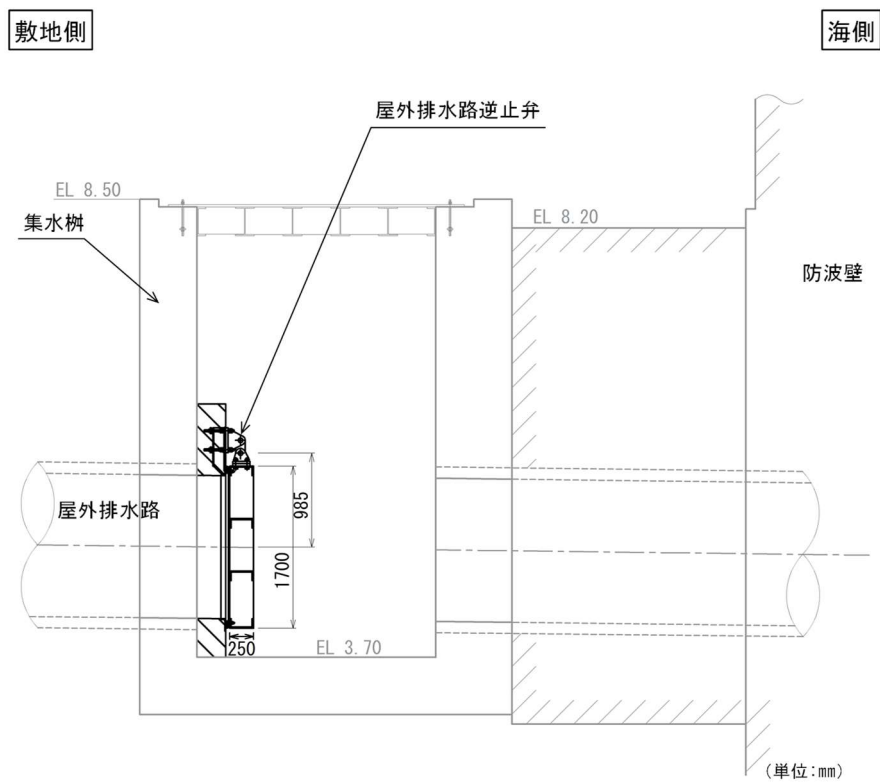


図 2-11 (1) 屋外排水路逆止弁⑬断面図



注：集水桝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、集水桝（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桝に固定し、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。	

S2 補 VI-2-10-2-7 R1

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。	<p>正面図</p> <p>側面図</p> <p>(単位:mm)</p>

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。	スキンプレーートにより構成する。	

S2 補 VI-2-10-2-7 R1

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枡に固定する。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。	

S2 補 VI-2-10-2-7 R1

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枘に固定する。	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</p> <p>(単位:mm)</p>

S2 補 VI-2-10-2-7 R1

2.3 評価方針

屋外排水路逆止弁の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す屋外排水路逆止弁の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法で確認することで実施する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」に示す。

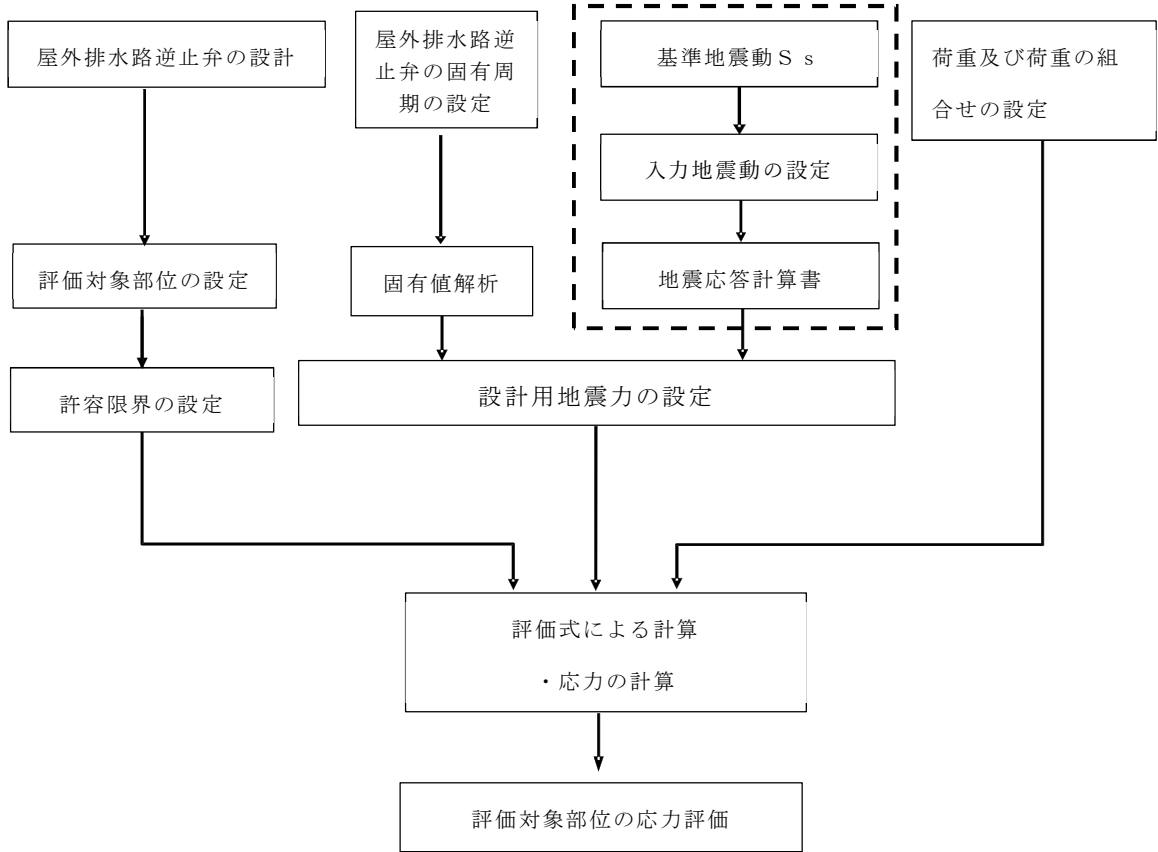
屋外排水路逆止弁①，②，③，④，⑤，⑥の耐震評価はVI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」，屋外排水路逆止弁⑦，⑧-1，⑧-2の耐震評価はVI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」，集水桝⑩，⑪，⑫，⑬の耐震評価はVI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」による地震応答解析結果より作成した設計用床応答スペクトルと屋外排水路逆止弁の固有周期に基づき設計用地震力を設定する。また，屋外排水路逆止弁⑨の耐震評価は，5.4.3に示す地震応答解析結果より作成した設計用床応答スペクトルと屋外排水路逆止弁の固有周期に基づき設計用地震力を設定する。

屋外排水路逆止弁の耐震評価フローを図2-12に示す。

VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」

VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答計算書」

VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」



注：屋外排水路逆止弁⑨は 1 次元地震応答解析により設計用地震力を設定

図 2-12 屋外排水路逆止弁の耐震評価フロー

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) 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)
- (2) 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)
- (3) 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
- (4) 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)
- (5) 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)
- (6) 構造力学公式集 ((社) 土木学会, 1986 年)
- (7) 各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 年 11 月)
- (8) 機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)

2.5 記号の説明

屋外排水路逆止弁の固有周期の計算に用いる記号を表 2-3 に、応力評価に用いる記号を表 2-4 にそれぞれ示す。

表 2-3 屋外排水路逆止弁の固有周期の計算に用いる記号

記号	単位	定義
T	s	固有周期
f	Hz	一次固有振動数
L ₁	mm	主桁の長さ（屋外排水路逆止弁①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑨, ⑬） 扉体の直径（屋外排水路逆止弁⑦, ⑧-1, ⑧-2, ⑩, ⑪, ⑫）
E	N/mm ²	ヤング係数
I	mm ⁴	屋外排水路逆止弁の断面二次モーメント
m	kg/mm	扉体の単位長さあたり質量
g	mm/s ²	重力加速度
L ₂	mm	振り子の長さ（回転支点から扉体重心までの距離）

表 2-4 屋外排水路逆止弁の応力評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
σ_{max}	N/mm ²	スキンプレートの最大応力度
K _h	—	水平方向の設計用地震力
P	N/mm ²	地震時作用単位荷重
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
W _{g1}	N	扉体自重
σ_{Ax}	N/mm ²	吊り金具の水平設計用地震力による曲げ応力度 (断面A水平方向)
W _{kh1}	N	扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力
a ₁	mm	ピン穴中心間の距離
a ₂	mm	固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離
Z _{Ax}	mm ³	断面係数 (断面A水平方向)
τ_{Ax}	N/mm ²	吊り金具の水平設計用地震力によるせん断応力度 (断面A水平方向)
A _A	mm ²	断面Aの断面積
σ_{xmax}	N/mm ²	吊り金具の曲げ応力とせん断応力の合成応力度 (断面A水平方向)
σ_{Ay}	N/mm ²	吊り金具の鉛直設計用地震力による曲げ応力度 (断面A鉛直方向)
W _{kv1}	N	扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力
Z _{Ay}	mm ³	断面係数 (断面A鉛直方向)
K _v	—	鉛直方向の設計用地震力
τ_{Ay}	N/mm ²	吊り金具の鉛直設計用地震力によるせん断応力度 (断面A鉛直方向)
σ_{ymax}	N/mm ²	吊り金具の曲げ応力とせん断応力の合成応力度 (断面A鉛直方向)
τ_B	N/mm ²	吊り金具の同時加振によるせん断応力度 (断面B)
W _{k1}	N	扉体自重の同時加振による地震時慣性力
A _B	mm ²	断面Bの断面積
σ_{C1}	N/mm ²	吊り手の水平設計用地震力による曲げ応力度 (断面C水平方向)
Z _C	mm ³	断面係数 (断面C)
σ_{C2}	N/mm ²	吊り手の鉛直設計用地震力による引張応力度 (断面C鉛直方向)
A _C	mm ²	断面Cの断面積
σ_{Cmax}	N/mm ²	吊り手の曲げ応力と引張応力の合成応力度 (断面C)
τ_D	N/mm ²	吊り手の同時加振によるせん断応力度 (断面D)
A _D	mm ²	断面Dの断面積

表 2-4 屋外排水路逆止弁の応力評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
σ_E	N/mm ²	吊りピンの同時加振による曲げ応力度 (断面 E 水平方向)
a_3	mm	吊りピンの支点間距離
Z_E	mm ³	断面係数 (断面 E)
τ_F	N/mm ²	吊りピンの同時加振によるせん断応力度 (断面 F)
A_F	mm ²	断面 F の断面積
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端面までの距離
F_1	N	アンカーボルト 1 本あたりに作用する引抜き力
W_{k1}'	N	扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力
W_{k2}'	N	戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力
n_1	本	引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数
W_{kh2}	N	戸当り自重の水平設計用地震力による地震時慣性力
W_{kv2}	N	戸当り自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力
W_{g2}	N	戸当り自重
S_1	N	アンカーボルト 1 本あたりに作用するせん断力
n_2	本	せん断力を受け持つアンカーボルトの本数
σ_s	N/mm ²	スキンプレーートの応力度
a	mm	スキンプレーートの区画の短辺
b	mm	スキンプレーートの区画の長辺
k	—	b/a による形状係数
p	N/mm ²	慣性力による作用荷重
t_s	mm	スキンプレーートの板厚
α	N/mm ²	応力の補正係数

表 2-4 屋外排水路逆止弁の応力評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
M_G	$N \cdot mm$	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	N/mm	主桁の分担荷重
L	mm	主桁の支点間距離
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	主桁ウェブの断面積
σ_g	N/mm^2	主桁の合成応力度
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	補助縦桁ウェブの断面積
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	底面フランジ幅
τ_L	N/mm^2	底面フランジのせん断応力度
$L_{\ell 1}$	mm	コンクリート面より底面フランジ端面までの深さ
$L_{\ell 2}$	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, 吊り金具及び吊りピン), 固定部 (吊り金具, 吊りピン, 戸当り, 集水桝 (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。なお, 戸当りについては, 戸当り部コンクリートに埋設され, 一体化している。上記を踏まえ, 屋外排水路逆止弁①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑨, ⑬の耐震評価においては, スキンプレート, 主桁, 補助縦桁, 吊り金具, 吊り手, 吊りピン, 集水桝 (戸当り部コンクリート) 及びアンカーボルトを選定する。

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, 集水桝 (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ており, これら全ての部位を選定する。

屋外排水路逆止弁の評価対象部位を図 3-1 に示す。

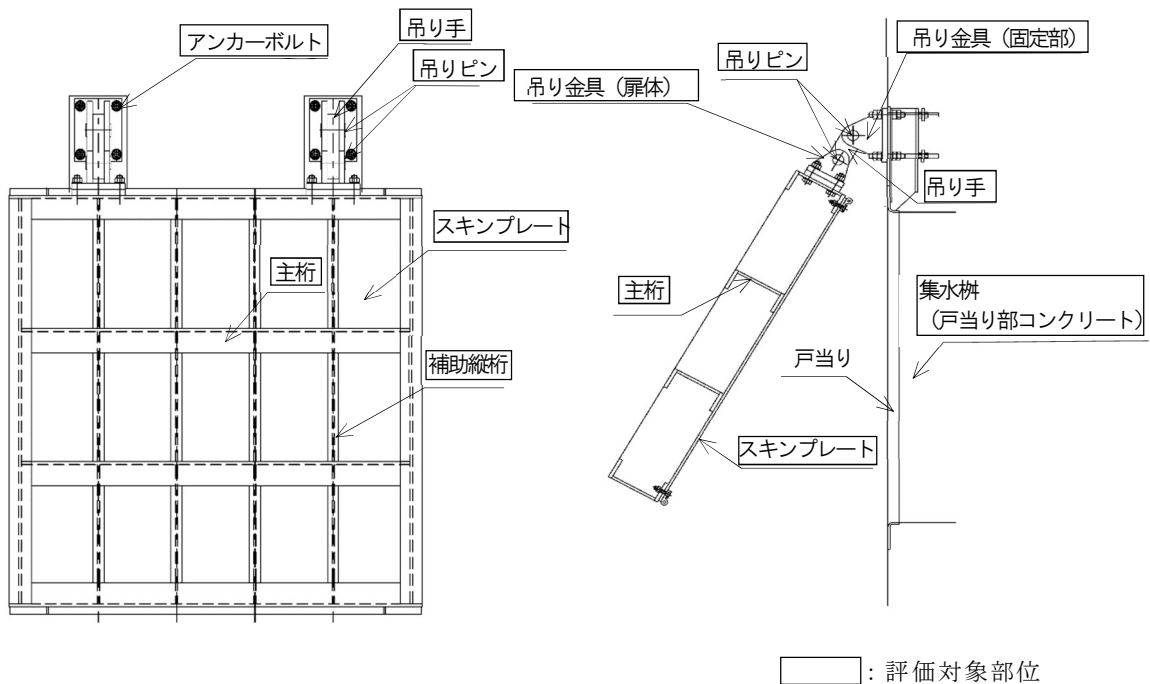


図 3-1(1) 屋外排水路逆止弁の評価対象部位 (①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑨, ⑬)

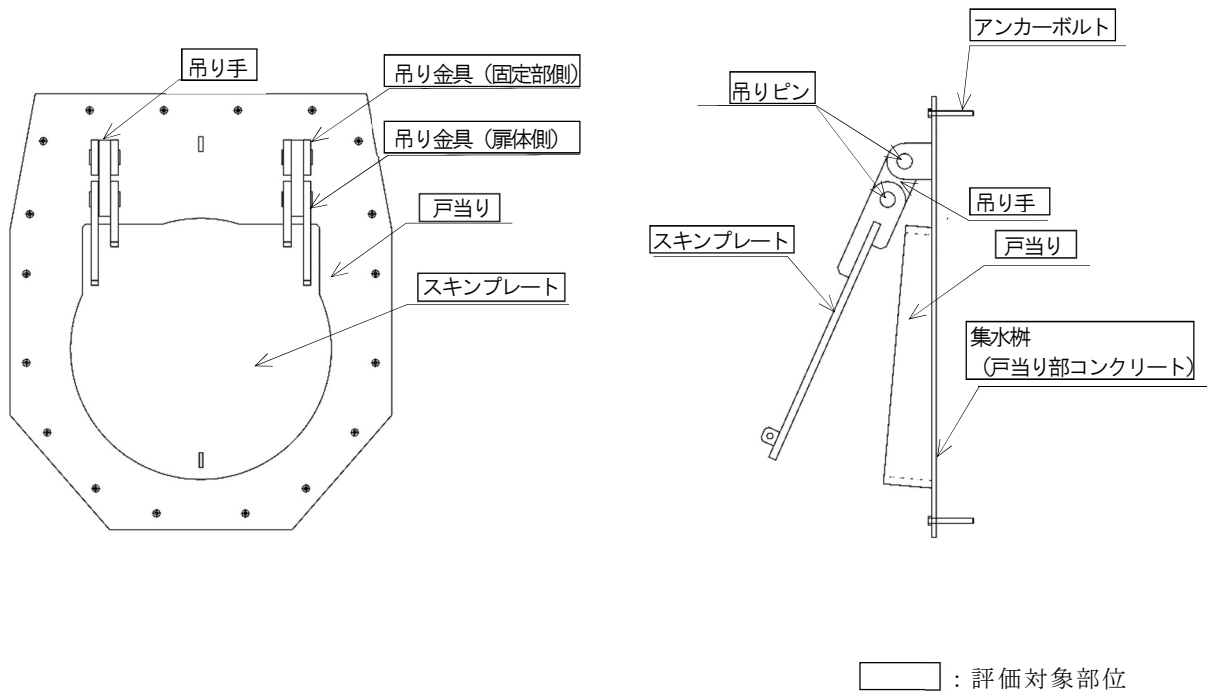


図 3-1(2) 屋外排水路逆止弁の評価対象部位 (⑦, ⑧-1, ⑧-2, ⑩, ⑪, ⑫)

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

屋外排水路逆止弁は扉体及び固定部で構成されるため、固有周期の計算に用いる解析モデルは扉体及び固定部をモデル化する。固定部のモデル化については、地震力が屋外排水路逆止弁の閉方向に作用する場合（以下「閉門時」という。）には扉体は戸当りと密着した状態となることから戸当りを支点とする両端支持梁でモデル化し、地震力が屋外排水路逆止弁の開方向に作用する場合（以下「開門時」という。）には屋外排水路逆止弁が吊りピンを中心に縦断方向（水平方向）に振動することから、振り子振動としてモデル化する。なお、横断方向（水平方向）及び鉛直方向については振動が生じる構造ではないことから、剛体として評価する。

閉門時及び開門時における固有周期の計算を以下で実施する。

4.1.1 閉門時

(1) 解析モデル（閉門時）

屋外排水路逆止弁の扉体を両端支持梁としてモデル化する。

(2) 固有周期の計算（閉門時）

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

「構造力学公式集（（社）土木学会，1986年）」より，両端支持梁の一次固有振動数 f 及び固有周期 T は次のとおり与えられる。

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

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L_1^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

T : 固有周期 (s)

f : 一次固有振動数 (Hz)

L_1 : 主桁の長さ（扉体の直径） (mm)

E : ヤング係数 (N/mm²)

I : 屋外排水路逆止弁の断面二次モーメント (mm⁴)

m : 扉体の単位長さあたり質量 (kg/mm)

4.1.2 開門時

(1) 解析モデル (開門時)

扉体が吊りピンを回転中心とした振り子と考えてモデル化する。解析モデル図を図4-1に示す。

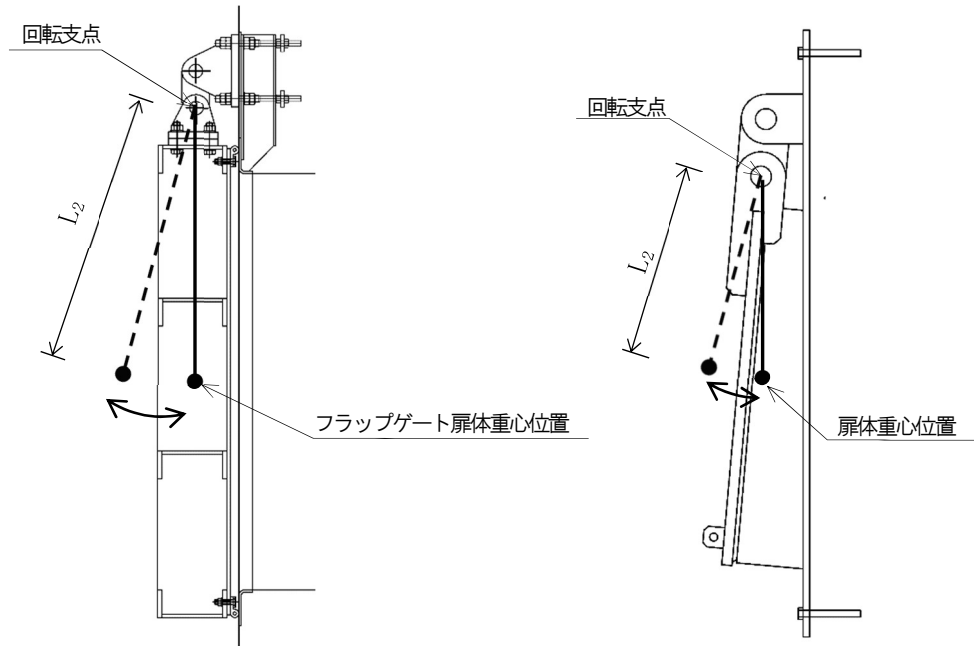


図4-1 解析モデル図 (開門時)

(2) 固有周期の計算 (開門時)

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。開門時の固有周期は次式により計算する。

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

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L_2}}$$

T : 固有周期 (s)

f : 一次固有振動数 (Hz)

g : 重力加速度 (mm/s²)

L₂ : 振り子の長さ (回転支点から扉体重心までの距離) (mm)

4.2 固有周期の計算条件

4.2.1 閉門時

屋外排水路逆止弁の閉門時における固有周期の計算に必要な諸元を表4-1に示す。

表4-1 固有周期の計算に必要な諸元（閉門時）

設備名称	ヤング係数 E (N/mm ²)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	扉体の単位長さあたり質量 m (kg/mm)	主桁の長さ (扉体の直径) L ₁ (mm)
屋外排水路逆止弁 (①)	1.93×10 ⁵	8.56×10 ⁸	0.83	2150
屋外排水路逆止弁 (②, ③, ④, ⑤, ⑥)		4.11×10 ⁸	0.72	1650
屋外排水路逆止弁 (⑦)		6.92×10 ⁵	0.17	780
屋外排水路逆止弁 (⑧-1)		1.95×10 ⁵	0.07	570
屋外排水路逆止弁 (⑧-2)		1.15×10 ⁶	0.21	880
屋外排水路逆止弁 (⑨)		8.56×10 ⁸	0.83	2150
屋外排水路逆止弁 (⑩, ⑪, ⑫)		1.15×10 ⁶	0.21	880
屋外排水路逆止弁 (⑬)		4.11×10 ⁸	0.72	1650

4.2.2 開門時

屋外排水路逆止弁の開門時における固有周期の計算に必要な諸元を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有周期の計算に必要な諸元 (開門時)

設備名称	振り子の長さ L_2 (mm)	重力加速度 g (mm/s ²)
屋外排水路逆止弁 (①)	1235	9806.65
屋外排水路逆止弁 (②, ③, ④, ⑤, ⑥)	985	
屋外排水路逆止弁 (⑦)	454	
屋外排水路逆止弁 (⑧-1)	313	
屋外排水路逆止弁 (⑧-2)	505	
屋外排水路逆止弁 (⑨)	1235	
屋外排水路逆止弁 (⑩, ⑪, ⑫)	505	
屋外排水路逆止弁 (⑬)	985	

4.3 固有周期の計算結果

4.3.1 閉門時

屋外排水路逆止弁の閉門時における固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。固有周期は、0.05s 以下であることから、剛構造である。

表 4-3 固有周期の計算結果（閉門時）

設備名称	固有振動数 f (Hz)	固有周期 T (s)
屋外排水路逆止弁 (①)	151.61	0.01
屋外排水路逆止弁 (②, ③, ④, ⑤, ⑥)	191.51	0.01
屋外排水路逆止弁 (⑦)	72.37	0.01
屋外排水路逆止弁 (⑧-1)	112.10	0.01
屋外排水路逆止弁 (⑧-2)	65.94	0.02
屋外排水路逆止弁 (⑨)	151.61	0.01
屋外排水路逆止弁 (⑩, ⑪, ⑫)	65.94	0.02
屋外排水路逆止弁 (⑬)	191.51	0.01

4.3.2 開門時

屋外排水路逆止弁の開門時における固有周期の計算結果を表 4-4 に示す。固有周期が、0.05s を超えたことから、開門時における屋外排水路逆止弁の耐震評価に用いる設計用地震力のうち水平方向については固有周期の計算結果を踏まえて設定する。

表 4-4 固有周期の計算結果（開門時）

設備名称	固有振動数 f (Hz)	固有周期 T (s)
屋外排水路逆止弁 (①)	0.448	2.23
屋外排水路逆止弁 (②, ③, ④, ⑤, ⑥)	0.502	1.99
屋外排水路逆止弁 (⑦)	0.740	1.35
屋外排水路逆止弁 (⑧-1)	0.891	1.12
屋外排水路逆止弁 (⑧-2)	0.701	1.43
屋外排水路逆止弁 (⑨)	0.448	2.23
屋外排水路逆止弁 (⑩, ⑪, ⑫)	0.701	1.43
屋外排水路逆止弁 (⑬)	0.502	1.99

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

屋外排水路逆止弁の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の設定

屋外排水路逆止弁の耐震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評価しない。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、扉体自重を考慮する。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s による地震力を考慮する。

5.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1(1) 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時	$G + S_s$

G : 固定荷重

S_s : 地震荷重

表 5-1(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	—	逆止弁に作用する機器・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		—	内水圧は考慮しない。
	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	水平地震動		○	基準地震動 S_s による水平及び鉛直同時加振を考慮する。
	鉛直地震動		○	
	動水圧		—	動水圧は考慮しない。

5.3 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。アンカーボルトの耐力は「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年11月）」に基づき設定した耐力を用いる。

屋外排水路逆止弁の許容限界を表5-2に示す。

なお、地震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 5-2(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}
扉体	スキンプレート	SUS316L	135	-	-	-
	主桁	SUS316L	135	-	75	-
	補助縦桁*2 [屋外排水路逆止 弁 (①, ⑨)]	SUS316L	135	135	75	117.5
	補助縦桁*2 [屋外排水路逆止 弁 (②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑬)]					116.1
	吊り金具	SUS316L	135	-	75	-
	吊り手	SUS316L	135	135	75	-
	吊りピン	SUS316L	135	-	75	-
固定部	集水柵 (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: 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 5-2(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^*	圧縮 σ_{as}^*
扉体	スキンプレート	SUS316L	135	-	-	-
	吊り金具	SUS316L	135	-	75	-
	吊り手	SUS316L	135	135	75	-
	吊りピン	SUS316L	135	-	75	-
固定部	戸当り	SUS316L	-	-	-	202.5
	集水樹 (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。

表 5-2(3) 屋外排水路逆止弁の許容限界

評価対象部位		材質	許容引張力 (N/本)	許容せん断力 (N/本)
固定部	アンカーボルト (屋外排水路逆止弁①) * ¹	ABR400 (M24)	59000	27100
	アンカーボルト (屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥) * ¹	ABR400 (M24)	59000	27100
	アンカーボルト (屋外排水路逆止弁⑦) * ²	SUS316L (M16)	24800	15300
	アンカーボルト (屋外排水路逆止弁⑧-1) * ²	SUS316L (M12)	14000	9700
	アンカーボルト (屋外排水路逆止弁⑧-2) * ²	SUS316L (M16)	26300	18300
	アンカーボルト (屋外排水路逆止弁⑨) * ²	ABR400 (M24)	63400	35300
	アンカーボルト (屋外排水路逆止弁⑩, ⑪, ⑫) * ²	SUS316L (M16)	26300	18300
	アンカーボルト (屋外排水路逆止弁⑬) * ²	ABR400 (M24)	63400	35300

注記*1: L型アンカーの試験結果に基づき、許容引張力及び許容せん断力を設定する。
L型アンカーの許容引張力及び許容せん断力は、「あと施工アンカー標準試験方法・同解説(日本建築あと施工アンカー協会)」に基づいたL型アンカーの引張試験及びせん断試験を踏まえ、許容引張力はL型アンカーの降伏強度(59000N/本)、許容せん断力はコンクリートのひび割れ発生時の荷重(27100N/本)とした。

*2: 「各種合成構造設計指針・同解説((社)日本建築学会, 2010年11月)」に基づき設定する。

5.4 設計用地震力

屋外排水路逆止弁の評価に用いる設計用地震力については、防波壁の地震応答解析結果等を踏まえ、「閉門時」及び「開門時」について、それぞれ比較検討し、大きい設計用地震力を設定する。

5.4.1 閉門時

「4. 固有周期」に示したとおり、閉門時において屋外排水路逆止弁は剛構造として考慮し、屋外排水路逆止弁⑨を除く屋外排水路逆止弁の設計用地震力は、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」、VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答計算書」及びVI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示す地震応答解析結果より、屋外排水路逆止弁⑨の設計用地震力は、1次元地震応答解析結果より抽出し設定する。

(1) 3号機北側エリア（屋外排水路逆止弁①，②，③，④，⑤，⑥）

屋外排水路逆止弁①，②，③，④，⑤，⑥を設置している集水桝は，防波壁（波返重力擁壁）に固定しており，設計用地震力の設定については，防波壁（波返重力擁壁）の地震応答解析の評価対象断面のうち，屋外排水路逆止弁①，②，③，④，⑤，⑥が設置されている位置に近接した①－①断面，②－②断面及び③－③断面が抽出される。

また，防波壁（波返重力擁壁）の耐震評価において，①－①断面については，岩盤上面深さが浅いことから②－②断面に代表させている。したがって，屋外排水路逆止弁の評価対象断面としても同様とする。③－③断面についてはケーソン下に放水路貫通による開口部を有した形状であり，屋外排水路逆止弁が設置されていない。

以上を踏まえ，屋外排水路逆止弁の評価対象断面として②－②断面を選定し，②－②断面の設計用地震力を統一して設定する。

設計用地震力を表 5-3 に，評価対象断面位置図を図 5-1 に，地震応答解析モデルを図 5-2 に示す。

表 5-3 設計用地震力（屋外排水路逆止弁①，②，③，④，⑤，⑥）

評価対象断面	抽出位置	設計用地震力 （水平）	設計用地震力 （鉛直）
②－②断面	防波壁（敷地側）	1.01	2.01



図 5-1 評価対象断面位置図 (防波壁 (波返重力擁壁))

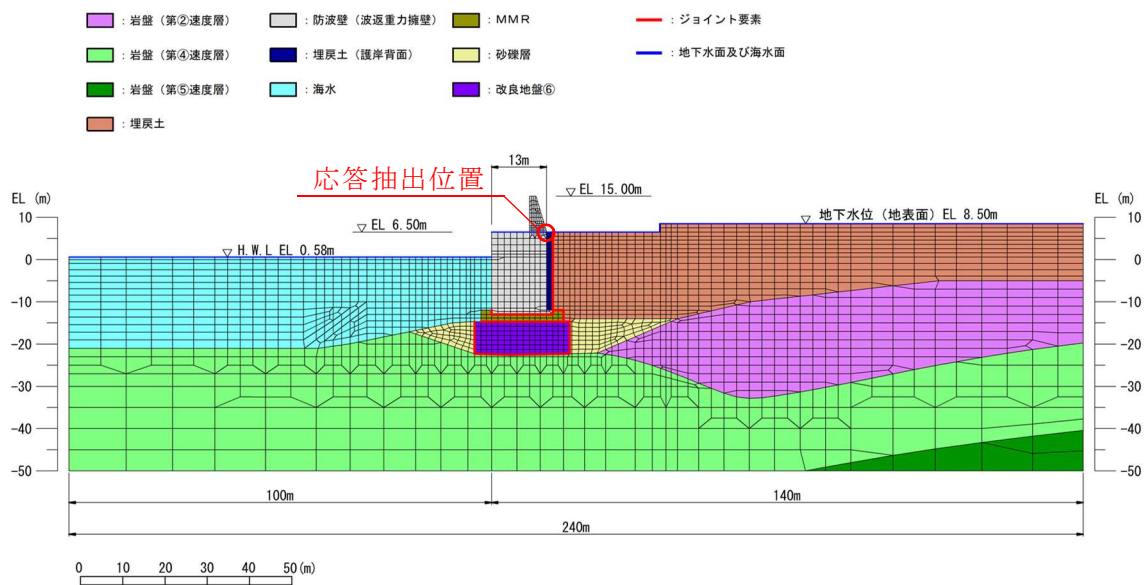


図 5-2 地震応答解析モデル (防波壁 (波返重力擁壁) ②-②断面)

(2) 3号機東側エリア（屋外排水路逆止弁⑦，⑧-1，⑧-2）

屋外排水路逆止弁⑦，⑧-1，⑧-2を設置している集水桝は，防波壁（逆T擁壁）に固定しており，設計用地震力の設定については，防波壁（逆T擁壁）の地震応答解析の評価対象断面のうち，屋外排水路逆止弁⑦，⑧-1，⑧-2が設置されている位置に近接した①-①断面，④-④断面及び⑥-⑥断面が抽出される。

また，防波壁（逆T擁壁）の耐震評価において，⑥-⑥断面については，①-①断面と比較し，改良地盤の幅（12.6m）及び許容アンカー力に占める初期緊張力の割合（0.86）が同等であり，地表面最大加速度は⑥-⑥断面の方が小さいことから，①-①断面に代表させている。したがって，屋外排水路逆止弁の評価対象断面としても同様とする。

以上を踏まえ，屋外排水路逆止弁の評価対象断面として，①-①断面及び④-④断面を選定し，防波壁（海側及び敷地側）の地表面位置の節点の応答加速度を比較し，最も大きい応答加速度を示す④-④断面の設計用地震力を統一して設定する。

設計用地震力を表5-4に，評価対象断面位置図を図5-3に，地震応答解析モデルを図5-4に示す。

表5-4 設計用地震力（屋外排水路逆止弁⑦，⑧-1，⑧-2）

評価対象断面	抽出位置	設計用地震力 （水平）	設計用地震力 （鉛直）
①-①断面	防波壁（海側）	0.91	0.82
	防波壁（敷地側）	0.91	0.85
④-④断面	防波壁（海側）	1.00	0.96
	防波壁（敷地側）	1.00	1.01

下線：設計用地震力を設定した断面と抽出位置

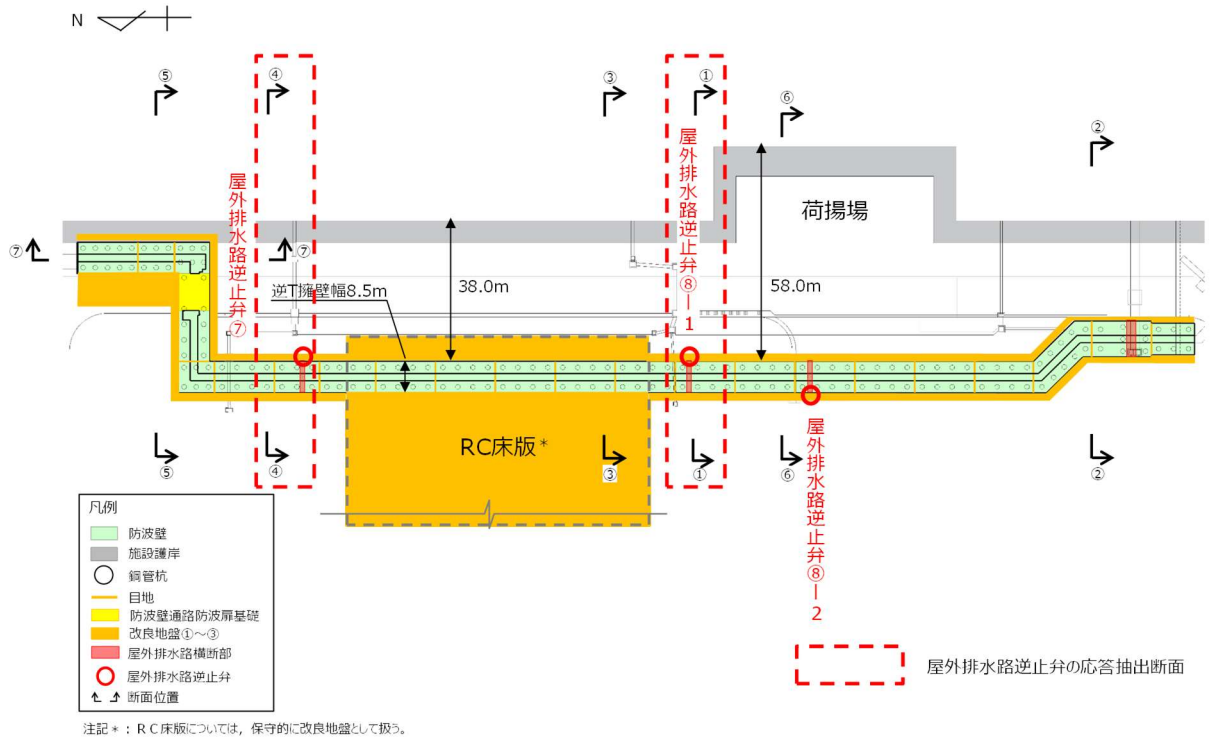


図 5-3 評価対象断面位置図 (防波壁 (逆 T 擁壁))

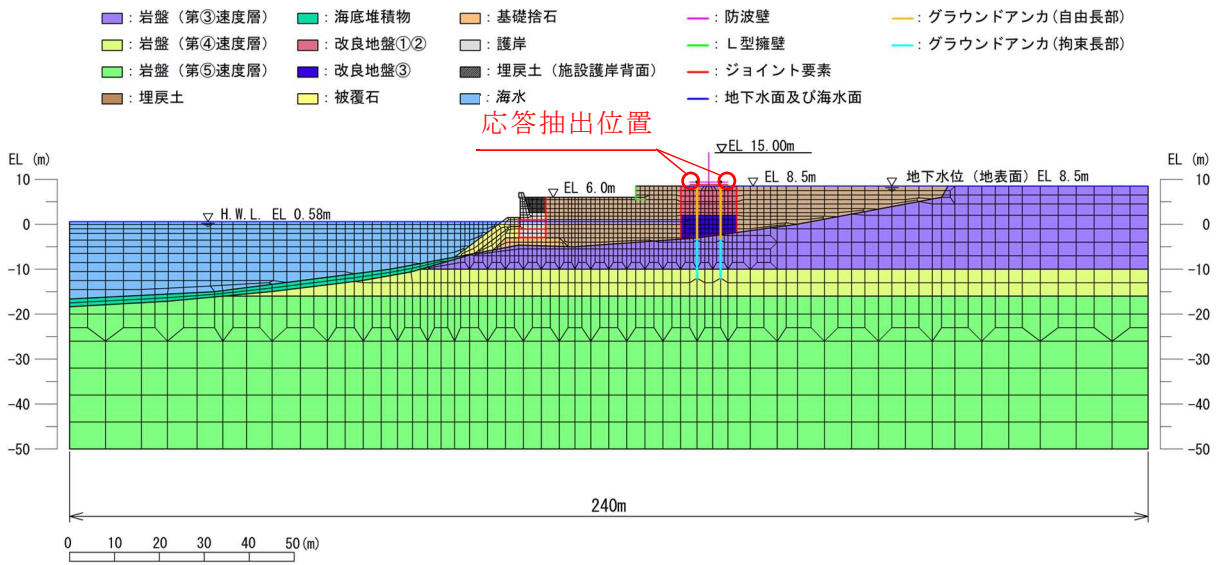


図 5-4(1) 地震応答解析モデル (防波壁 (逆 T 擁壁) ①-①断面)

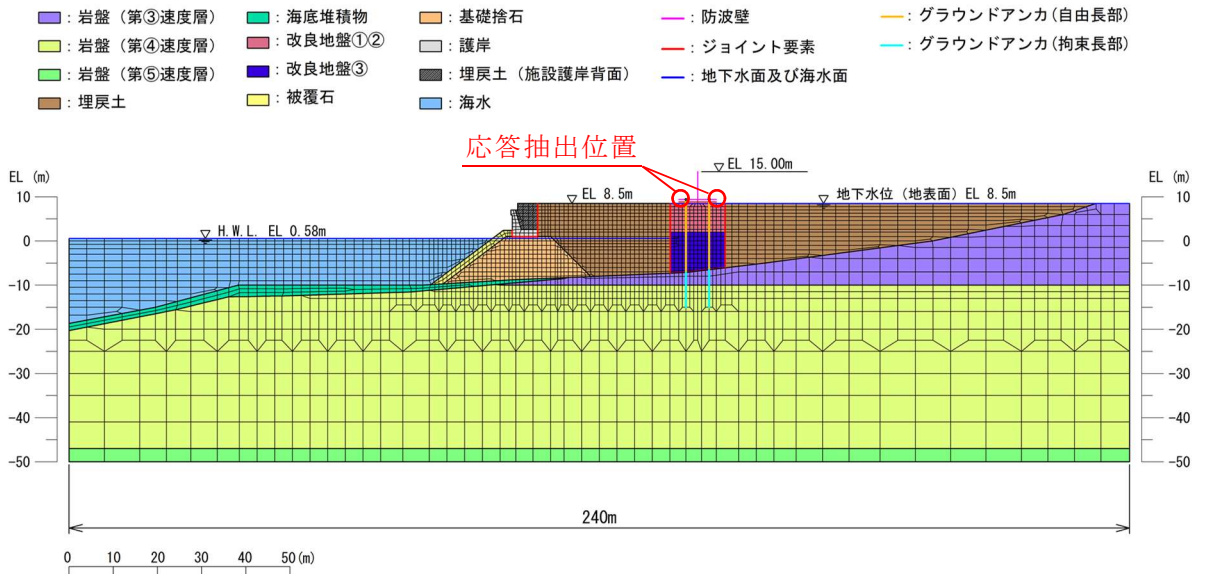


図 5-4(2) 地震応答解析モデル (防波壁 (逆 T 擁壁) ④-④断面)

(3) 3号機東側エリア（屋外排水路逆止弁⑨）

屋外排水路逆止弁⑨を設置している集水桝は、十分な支持性能を有する改良地盤の上に設置されており、設計用地震力は、1次元地震応答解析により算定する。地震応答解析モデルは、周辺の地質構造を踏まえて設定し、地盤の物性値は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。解析には解析コード「SHAKE」を使用する。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。

設計用地震力を表5-5に、1次元地震応答解析実施位置を図5-5に、1次元地震応答解析用地盤モデルを図5-6に示す。

表5-5 設計用地震力（屋外排水路逆止弁⑨）

評価対象断面	抽出位置	設計用地震力 (水平)	設計用地震力 (鉛直)
A-A断面	集水桝⑨中心	1.70	1.01

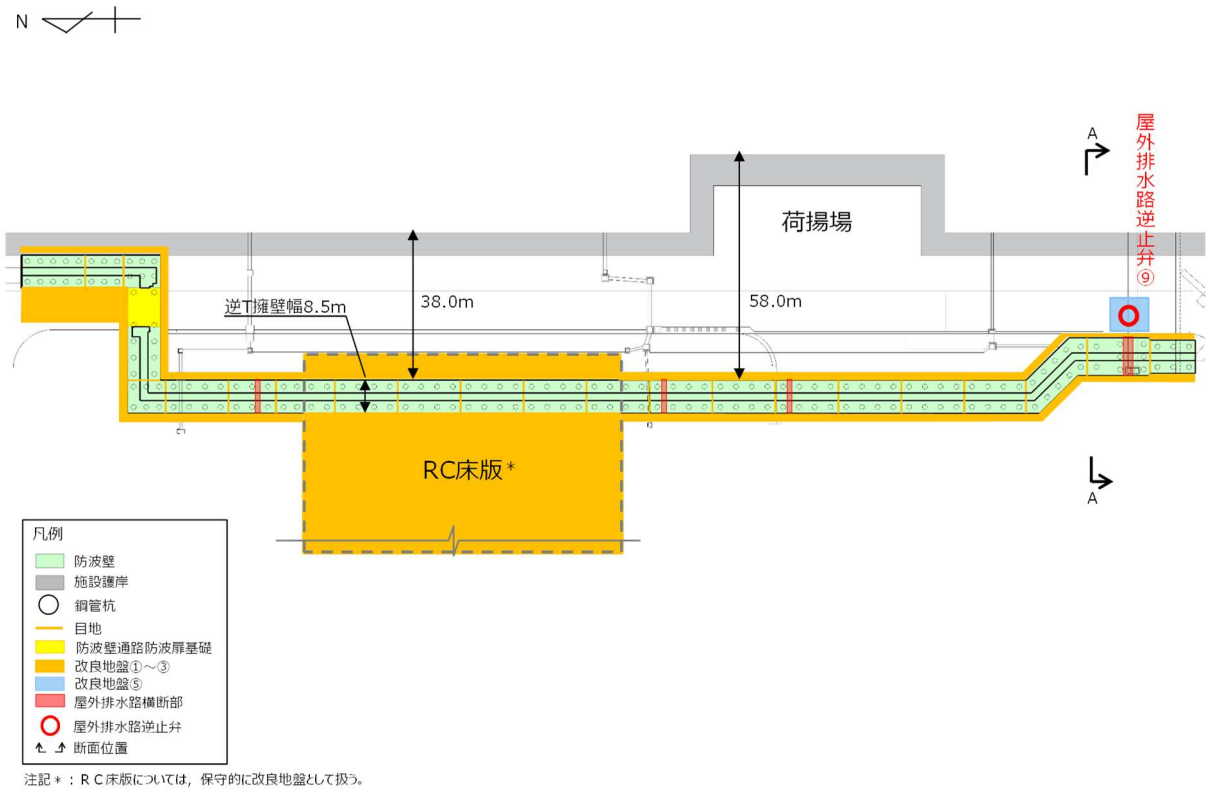


图 5-5 1次元地震応答解析実施位置

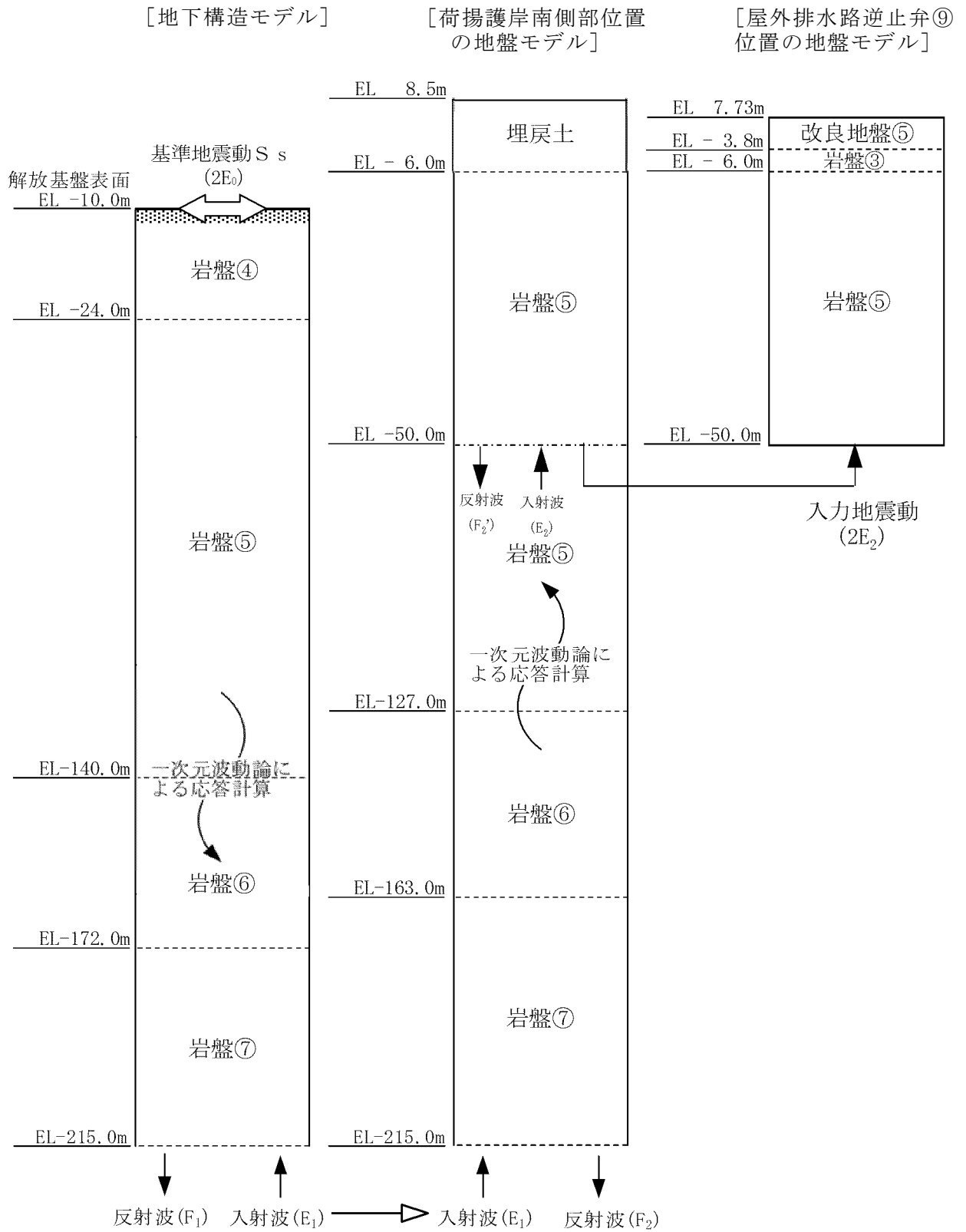


図 5-6 1次元地震応答解析用地盤モデル

(4) 1, 2号機北側エリア（屋外排水路逆止弁⑩, ⑪, ⑫, ⑬）

屋外排水路逆止弁⑩, ⑪, ⑫, ⑬を設置している集水桝は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に固定しており、設計用地震力の設定については、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答解析断面のうち、屋外排水路逆止弁⑩, ⑪, ⑫, ⑬が設置されている位置に近接した①－①断面、②－②断面及び⑤－⑤断面が抽出される。

また、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価において、①－①断面及び⑤－⑤断面については、岩盤上面深さが浅いことから、それぞれ②－②断面及び③－③断面に代表させている。したがって、屋外排水路逆止弁の評価対象断面としても同様とする。②－②断面は施設護岸の背面に防波壁を設置している断面、③－③断面は施設護岸の前面に防波壁を設置している断面である。

以上を踏まえ、屋外排水路逆止弁の評価対象断面として、②－②断面及び③－③断面を選定し、防波壁の地表面位置の節点の応答加速度を比較し、最も大きい応答加速度を示す評価対象断面の設計用地震力を統一して設定する。両断面の設計用地震力を比較すると鉛直は両断面とも同程度であるものの、水平では③－③断面が明らかに大きな値を示すことから③－③断面の設計用地震力を用いる。

設計用地震力を表5-6に、評価対象断面位置図を図5-7に、地震応答解析モデルを図5-8に示す。

表5-6 設計用地震力（屋外排水路逆止弁⑩, ⑪, ⑫, ⑬）

評価対象断面	抽出位置	設計用地震力 (水平)	設計用地震力 (鉛直)
②－②断面	防波壁	0.86	0.67
<u>③－③断面</u>	<u>防波壁</u>	1.03	0.66

下線：設計用地震力を設定した断面と抽出位置

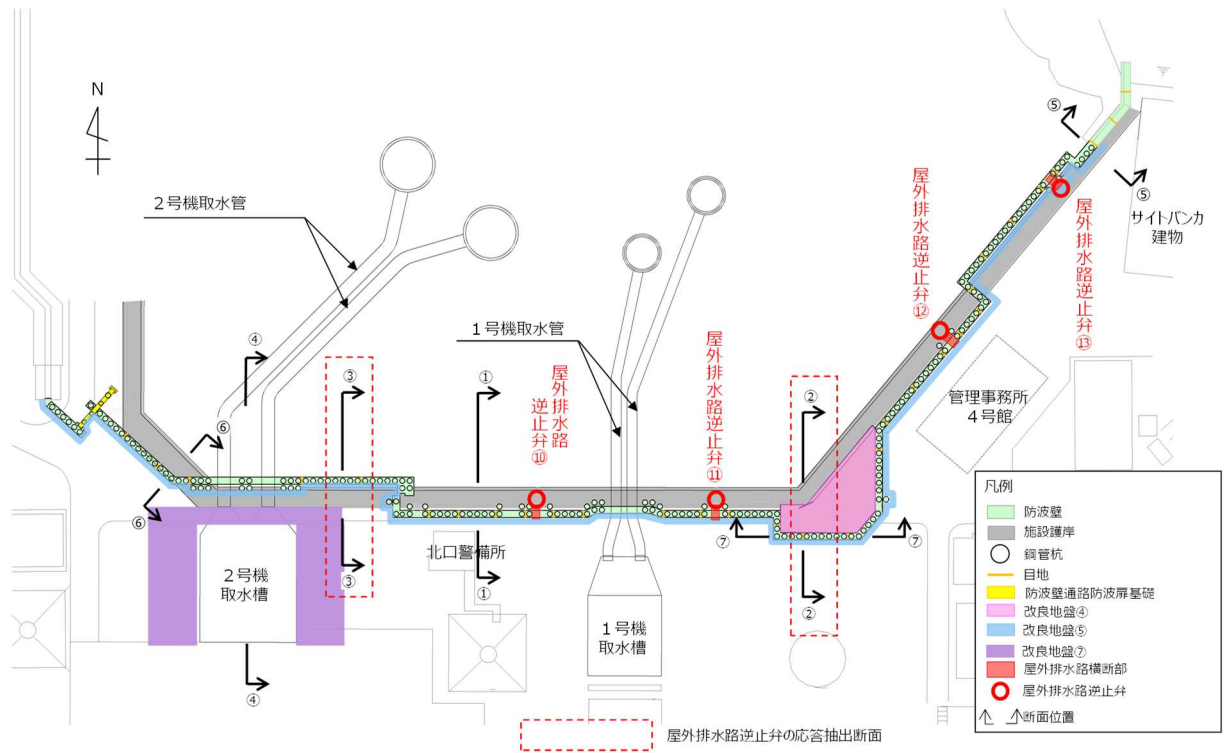


図5-7 評価対象断面位置図（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））

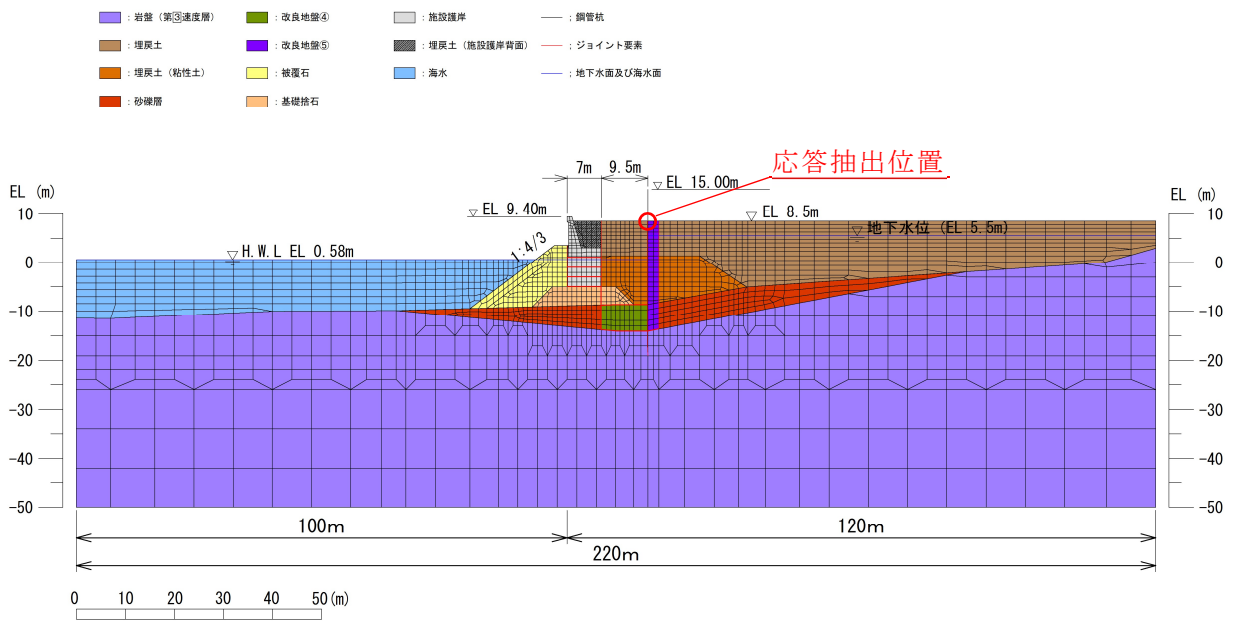


図5-8(1) 地震応答解析モデル（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）②-②断面）

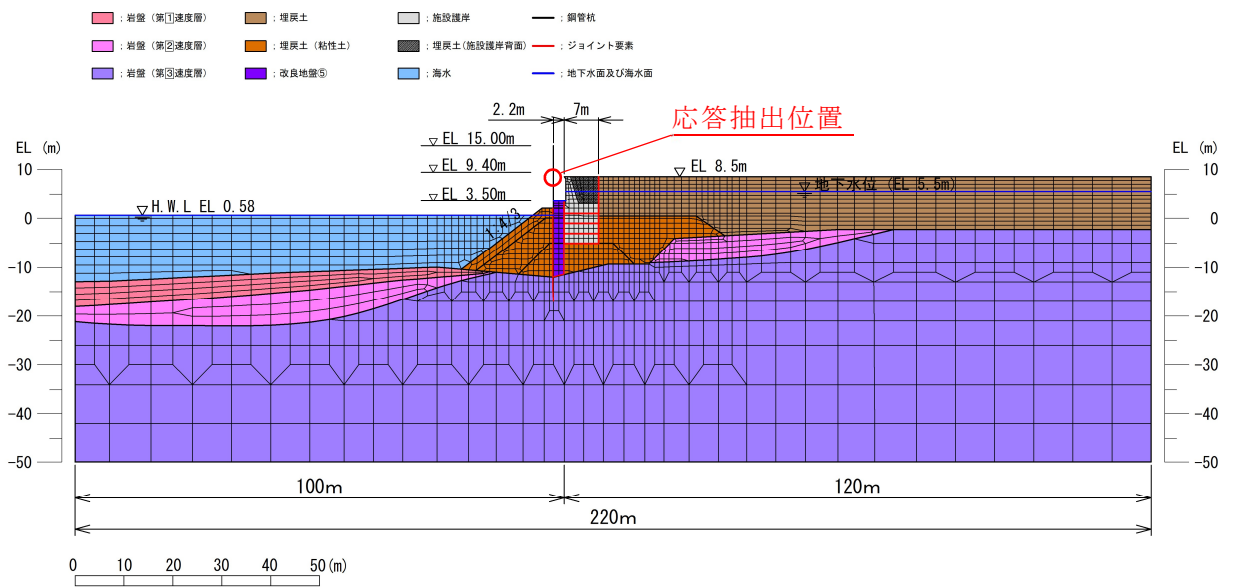


図5-8(2) 地震応答解析モデル（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）③-③断面）

(5) 閉門時の設計用地震力

屋外排水路逆止弁の閉門時の評価に用いる設計用地震力を表 5-7 に示す。

表 5-7 設計用地震力（閉門時）

設備名称	地震動	設置場所及び 床面高さ(m)	地震による 設計用地震力	
			水平方向 K h	鉛直方向 K v
屋外排水路逆止弁 ①	基準地震動 S s	集水榭 EL 2.57 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.01
			鉛直方向 K v	2.01
屋外排水路逆止弁 ②, ③, ④, ⑤, ⑥		集水榭 EL 2.70 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.01
			鉛直方向 K v	2.01
屋外排水路逆止弁 ⑦		集水榭 EL 6.21 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.00
			鉛直方向 K v	1.01
屋外排水路逆止弁 ⑧-1		集水榭 EL 6.125 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.00
			鉛直方向 K v	1.01
屋外排水路逆止弁 ⑧-2		集水榭 EL 5.54 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.00
			鉛直方向 K v	1.01
屋外排水路逆止弁 ⑨	集水榭 EL 2.30 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.70	
		鉛直方向 K v	1.01	
屋外排水路逆止弁 ⑩, ⑪, ⑫	集水榭 EL 6.11~6.50 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.03	
		鉛直方向 K v	0.66	
屋外排水路逆止弁 ⑬	集水榭 EL 4.10 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.03	
		鉛直方向 K v	0.66	

5.4.2 開門時

開門時においては表 4-4 に示すとおり，屋外排水路逆止弁の固有周期が 0.05s を超えたことから，屋外排水路逆止弁の開門時の設計用地震力は，VI-2-10-2-2 「防波壁の地震応答計算書」の結果を踏まえ作成した防波壁（波返重力擁壁），防波壁（逆 T 擁壁）及び防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答解析モデル，並びに 3 号機東側エリア（屋外排水路逆止弁⑨）の地震応答解析モデルより抽出した応答加速度を用いて，VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき作成した設計用床応答スペクトル及び屋外排水路逆止弁の固有周期を踏まえ設計用地震力を設定する。

開門時の設計用床応答スペクトルを図 5-9 に，評価に用いる設計用地震力を表 5-8 に示す。

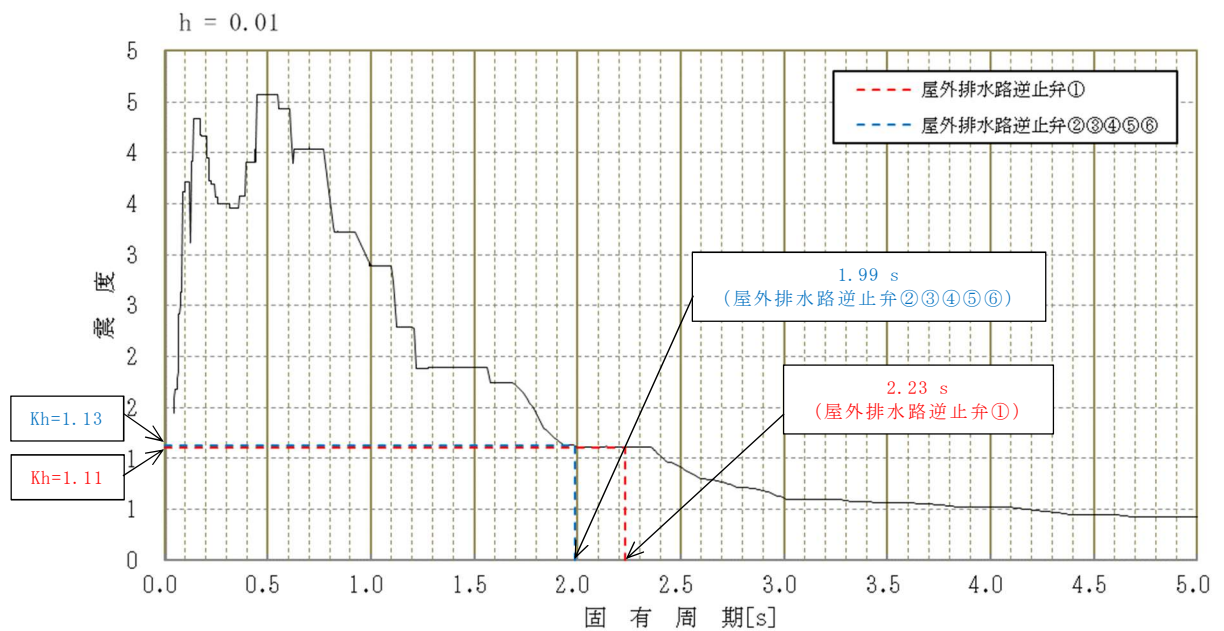


図 5-9(1) 設計用床応答スペクトル (①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥)

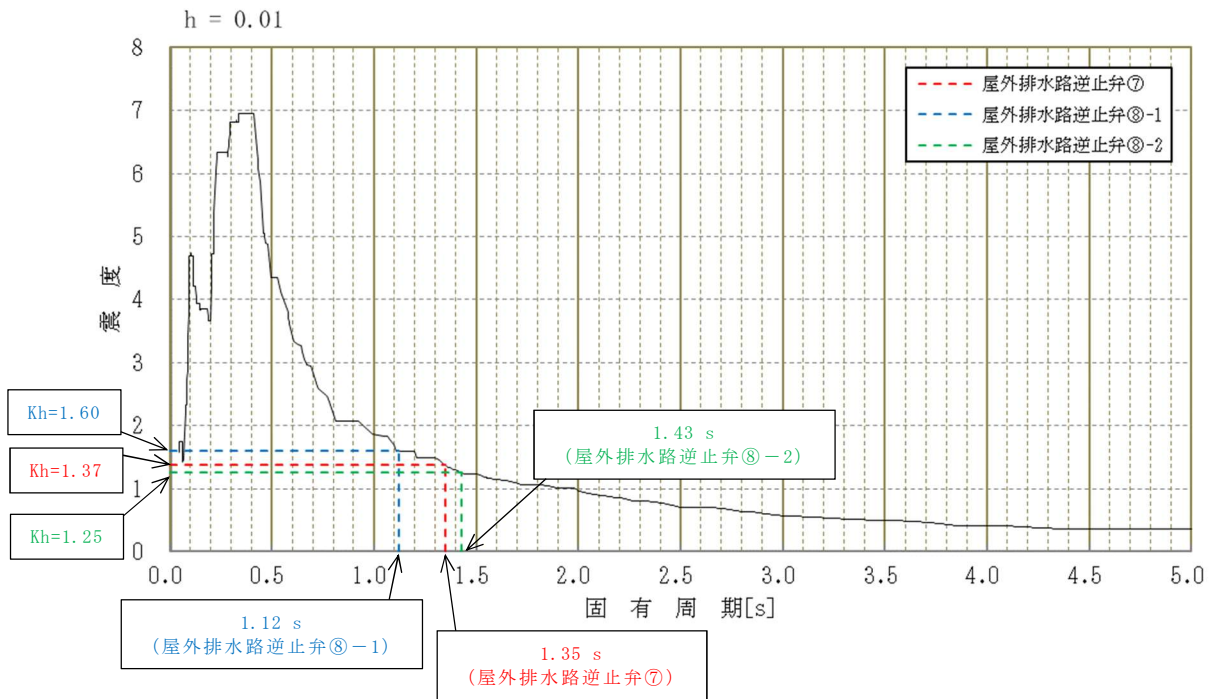


図 5-9(2) 設計用床応答スペクトル (⑦, ⑧-1, ⑧-2)

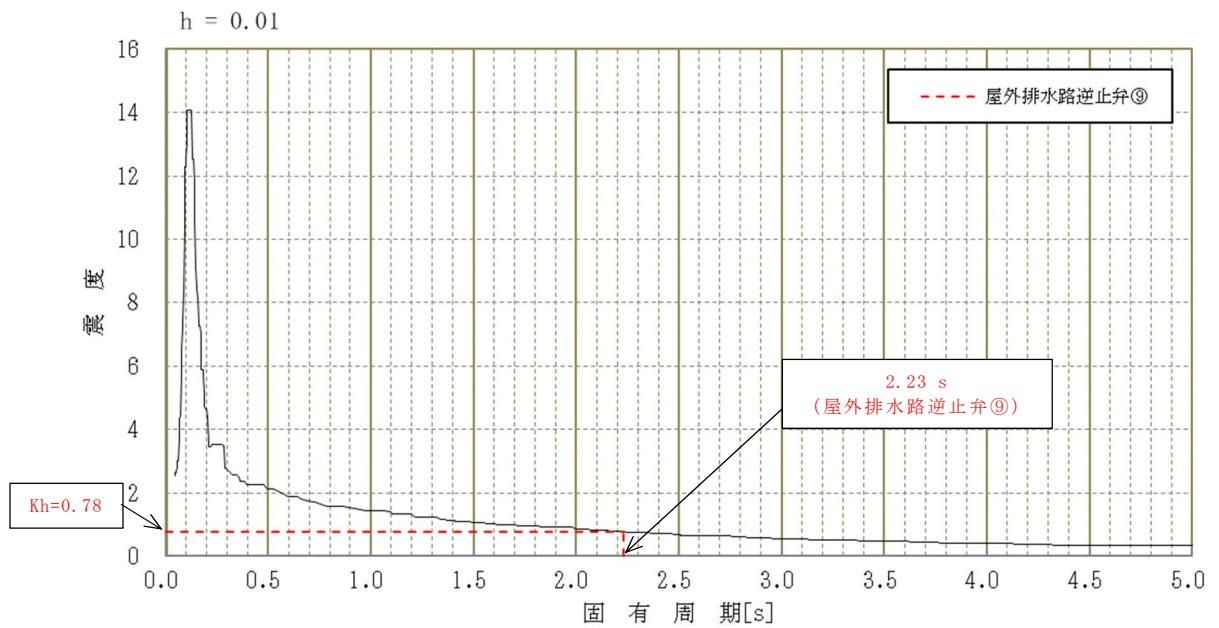


図 5-9(3) 設計用床応答スペクトル (⑨)

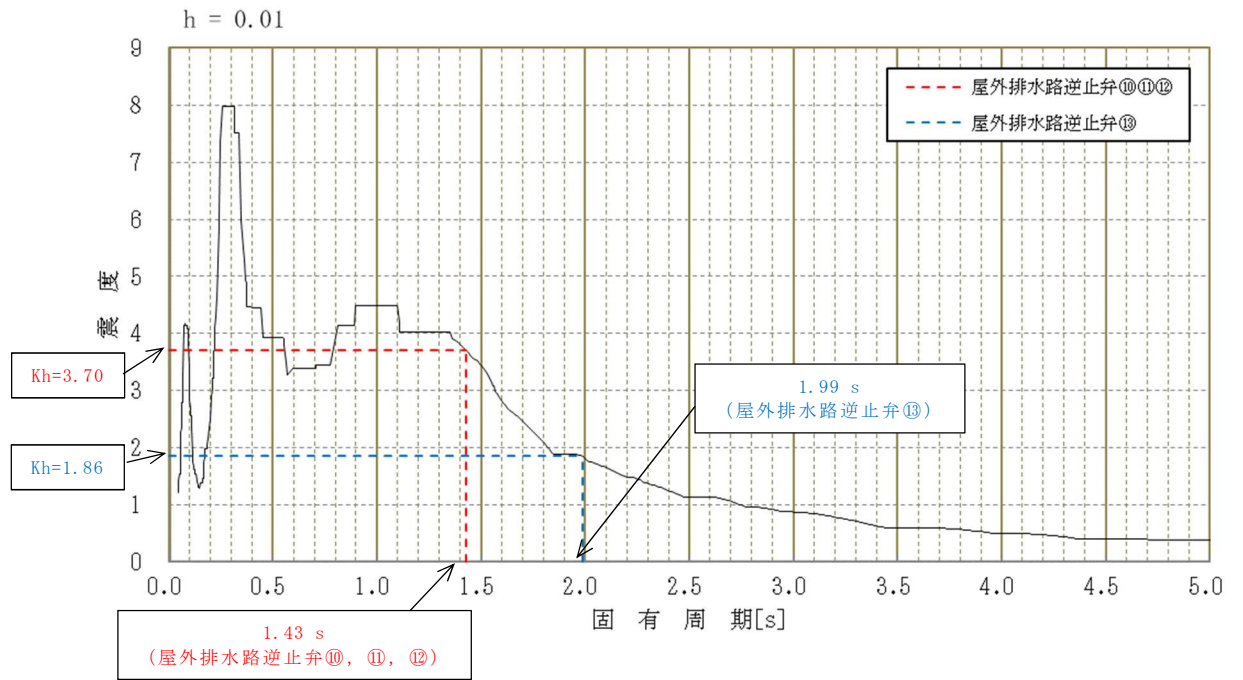


図 5-9(4) 設計用床応答スペクトル (⑩, ⑪, ⑫, ⑬)

表 5-8 設計用地震力（開門時）

設備名称	地震動	設置場所及び 床面高さ(m)	地震による 設計用地震力	
			水平方向 K h	鉛直方向 K v
屋外排水路逆止弁 ①	基準地震動 S s	集水榭 EL 2.57 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.11
			鉛直方向 K v	2.01
屋外排水路逆止弁 ②, ③, ④, ⑤, ⑥		集水榭 EL 2.70 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.13
			鉛直方向 K v	2.01
屋外排水路逆止弁 ⑦		集水榭 EL 6.21 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.37
			鉛直方向 K v	1.01
屋外排水路逆止弁 ⑧-1		集水榭 EL 6.125 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.60
			鉛直方向 K v	1.01
屋外排水路逆止弁 ⑧-2		集水榭 EL 5.54 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.25
			鉛直方向 K v	1.01
屋外排水路逆止弁 ⑨	集水榭 EL 2.30 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	0.78	
		鉛直方向 K v	1.01	
屋外排水路逆止弁 ⑩, ⑪, ⑫	集水榭 EL 6.11~6.50 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	3.70	
		鉛直方向 K v	0.66	
屋外排水路逆止弁 ⑬	集水榭 EL 4.10 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K h	1.86	
		鉛直方向 K v	0.66	

5.4.3 評価に用いる設計用地震力

「閉門時」及び「開門時」にて設定した設計用地震力から、設計用地震力の大きくなった設計用地震力を応力評価に考慮する。評価に用いる設計用地震力を表 5-9 に示す。

表 5-9 評価に用いる設計用地震力

設備名称	地震動	設置場所及び 床面高さ (m)	地震による 設計用地震力		
			水平方向 K _h		
屋外排水路逆止弁 ①	基準地震動 S _s	集水桝 EL 2.57 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.11	開門時
			鉛直方向 K _v	2.01	閉門時 開門時
屋外排水路逆止弁 ②, ③, ④, ⑤, ⑥		集水桝 EL 2.70 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.13	開門時
			鉛直方向 K _v	2.01	閉門時 開門時
屋外排水路逆止弁 ⑦		集水桝 EL 6.21 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.37	開門時
			鉛直方向 K _v	1.01	閉門時 開門時
屋外排水路逆止弁 ⑧-1		集水桝 EL 6.125 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.60	開門時
			鉛直方向 K _v	1.01	閉門時 開門時
屋外排水路逆止弁 ⑧-2		集水桝 EL 5.54 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.25	開門時
			鉛直方向 K _v	1.01	閉門時 開門時
屋外排水路逆止弁 ⑨	集水桝 EL 2.30 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.70	閉門時	
		鉛直方向 K _v	1.01	閉門時 開門時	
屋外排水路逆止弁 ⑩, ⑪, ⑫	集水桝 EL 6.11~6.50 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	3.70	開門時	
		鉛直方向 K _v	0.66	閉門時 開門時	
屋外排水路逆止弁 ⑬	集水桝 EL 4.10 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.86	開門時	
		鉛直方向 K _v	0.66	閉門時 開門時	

5.5 計算方法

各評価対象部位に加わる応力等の算出式を同様な構造毎に以下にまとめる。

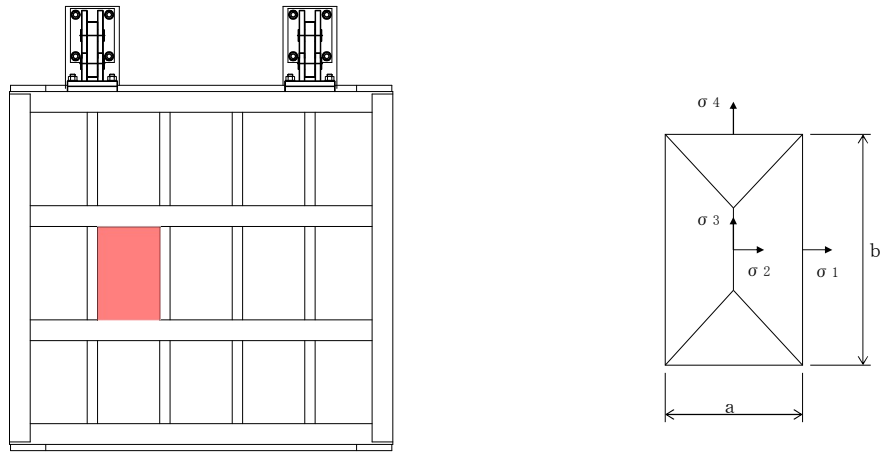
屋外排水路逆止弁のうち、スキンプレート、主桁、補助縦桁、集水柵（戸当り部コンクリート）については、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成28年3月）」又は「機械工学便覧（（社）日本機械学会）」に基づき、曲げ応力及びせん断応力を算定する。また、吊り金具（扉体，固定部），吊り手，吊りピン及びアンカーボルトについては，定式化された計算式により曲げ応力及びせん断応力又は引張力及びせん断力を算定する。

5.5.1 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5-10に示す。



(正面図)

図5-10 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。

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

σ_s : スキンプレート応力度 (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画の長辺 (mm)

p : 慣性力による作用荷重 (N/mm²)

t_s : スキンプレートの板厚 (mm)

α : 応力の補正係数 (N/mm²)

(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 5-11 に示す。

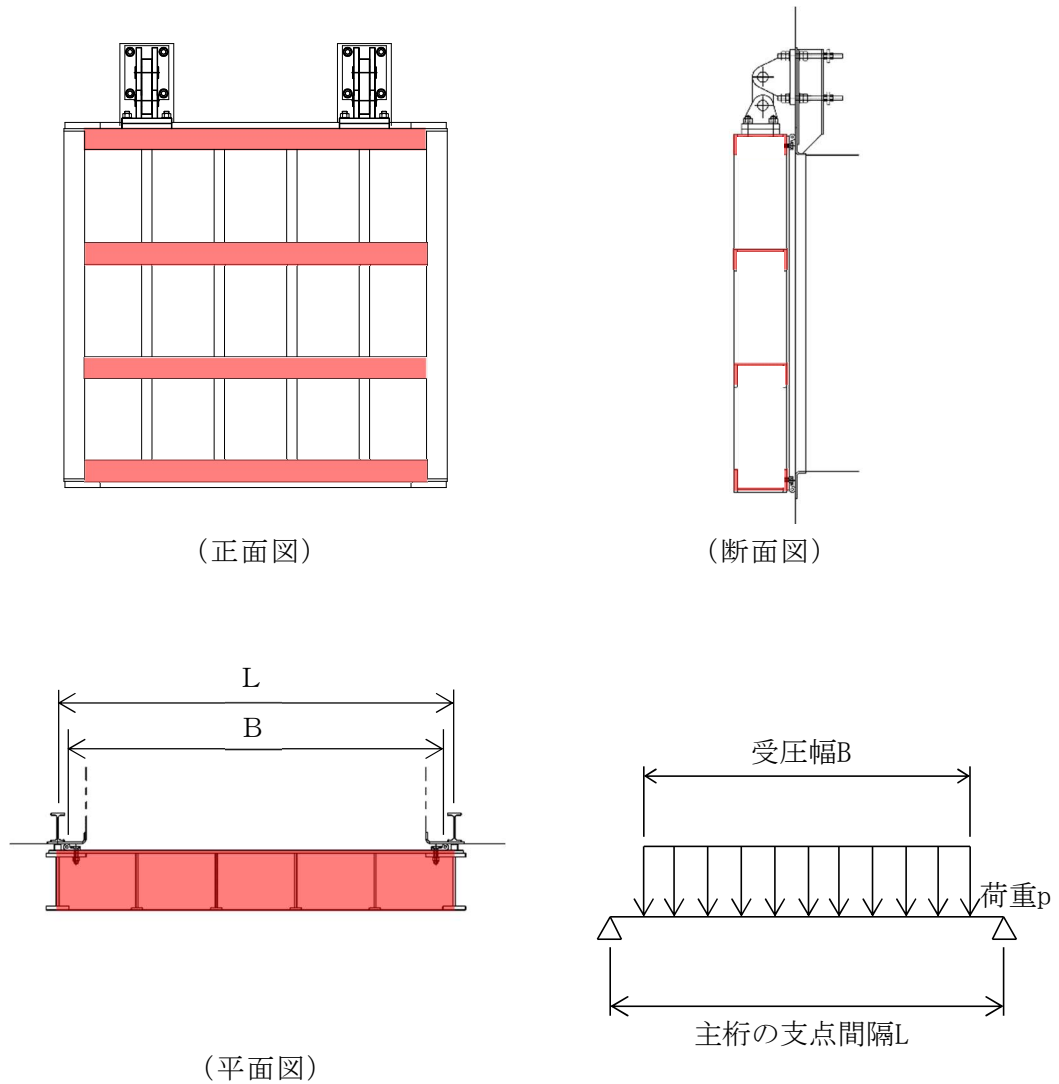


図 5-11 主桁のモデル図

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 (N/mm)

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，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 5-12 に示す。

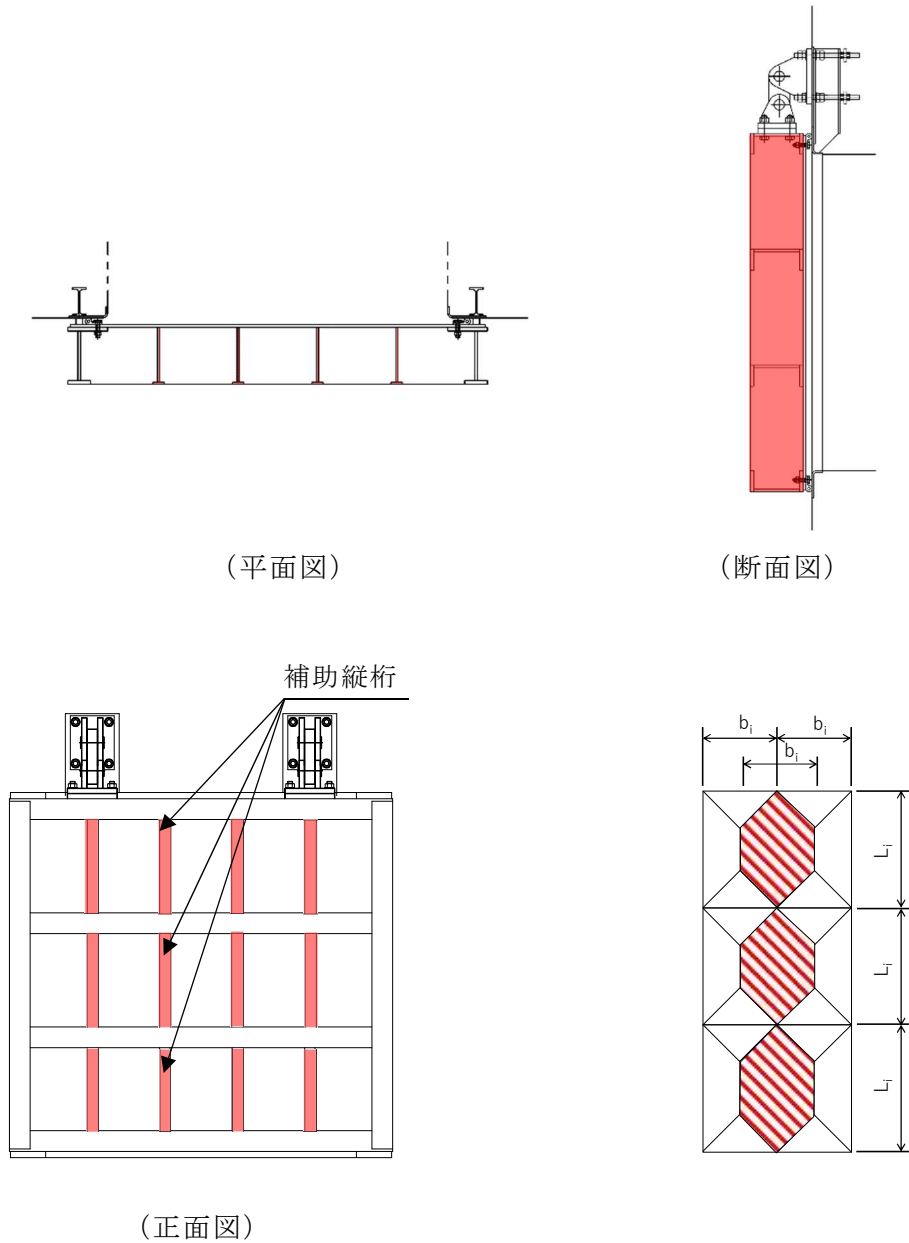


図 5-12 補助縦桁のモデル図

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 : 慣性力による作用荷重 (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 : 補助縦桁ウェブ断面積 (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) 吊り金具（扉体，固定部）

吊り金具（扉体，固定部）のモデル図を図5-13に示す。吊り金具（扉体，固定部）は逆止弁1門あたり2箇所を設置されているため，片側にかかる荷重は地震時慣性力の1/2を考える。吊り金具（扉体，固定部）の照査位置として断面A，断面Bで行う。

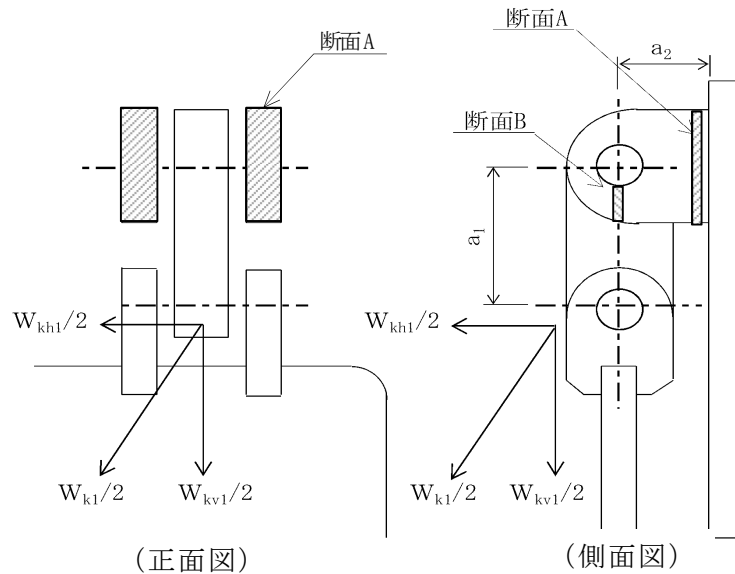


図5-13 吊り金具（扉体，固定部）のモデル図

吊り金具の最大応力度算定式を以下に示す。

(断面A)

曲げ応力度（水平方向）

$$\sigma_{Ax} = \frac{W_{kh1} \cdot (a_1 + a_2)}{2 \cdot Z_{Ax}}$$

$$W_{kh1} = W_{g1} \cdot K h$$

σ_{Ax} : 吊り金具の水平設計用地震力による曲げ応力度（断面A水平方向）
(N/mm²)

W_{kh1} : 扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力 (N)

a_1 : ピン穴中心間の距離 (mm)

a_2 : 固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離 (mm)

Z_{Ax} : 断面係数（断面A水平方向） (mm³)

W_{g1} : 扉体自重 (スキンプレート, 主桁, 補助縦桁, 吊り金具 (扉体, 固定部), 吊りピン 4 本, 吊り手) (N)

K_h : 水平方向の設計用地震力

せん断応力度 (水平方向)

$$\tau_{Ax} = \frac{W_{kh1}}{2 \cdot A_A}$$

τ_{Ax} : 吊り金具の水平設計用地震力によるせん断応力度 (断面 A 水平方向)
(N/mm²)

W_{kh1} : 扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力 (N)

A_A : 断面 A の断面積 (mm²)

曲げ応力とせん断応力の合成応力度 (水平方向)

$$\sigma_{xmax} = \sqrt{\sigma_{Ax}^2 + 3 \times \tau_{Ax}^2}$$

σ_{xmax} : 吊り金具の曲げ応力とせん断応力の合成応力度 (断面 A 水平方向)
(N/mm²)

σ_{Ax} : 吊り金具の水平設計用地震力による曲げ応力度 (断面 A 水平方向)
(N/mm²)

τ_{Ax} : 吊り金具の水平設計用地震力によるせん断応力度 (断面 A 水平方向)
(N/mm²)

曲げ応力度 (鉛直方向)

$$\sigma_{Ay} = \frac{(W_{kv1} + W_{g1}) \cdot a_2}{2 \cdot Z_{Ay}}$$

$$W_{kv1} = W_{g1} \cdot K_v$$

σ_{Ay} : 吊り金具の鉛直設計用地震力による曲げ応力度 (断面 A 鉛直方向)
(N/mm²)

W_{kv1} : 扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力 (N)

W_{g1} : 扉体自重 (スキンプレート, 主桁, 補助縦桁, 吊り金具 (扉体, 固定部), 吊りピン 4 本, 吊り手) (N)

a_2 : 固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離 (mm)

Z_{Ay} : 断面係数 (断面 A 鉛直方向) (mm³)

K_v : 鉛直方向の設計用地震力

せん断応力度（鉛直方向）

$$\tau_{Ay} = \frac{W_{kv1} + W_{g1}}{2 \cdot A_A}$$

τ_{Ay} : 吊り金具の鉛直設計用地震力によるせん断応力度（断面A鉛直方向）
（N/mm²）

W_{kv1} : 扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力（N）

W_{g1} : 扉体自重（スキンプレート，主桁，補助縦桁，吊り金具（扉体，固定部），吊りピン4本，吊り手）（N）

A_A : 断面Aの断面積（mm²）

曲げ応力とせん断応力の合成応力度（鉛直方向）

$$\sigma_{ymax} = \sqrt{\sigma_{Ay}^2 + 3 \times \tau_{Ay}^2}$$

σ_{ymax} : 吊り金具の曲げ応力とせん断応力の合成応力度（断面A鉛直方向）
（N/mm²）

σ_{Ay} : 吊り金具の鉛直設計用地震力による曲げ応力度（断面A鉛直方向）
（N/mm²）

τ_{Ay} : 吊り金具の鉛直設計用地震力によるせん断応力度（断面A鉛直方向）
（N/mm²）

（断面B）

せん断応力度

$$\tau_B = \frac{W_{k1} + W_{g1}}{4 \cdot A_B}$$

$$W_{k1} = \sqrt{W_{kh1}^2 + W_{kv1}^2}$$

τ_B : 吊り金具の同時加振によるせん断応力度（断面B）（N/mm²）

W_{k1} : 扉体自重の同時加振による地震時慣性力（N）

W_{g1} : 扉体自重（スキンプレート，主桁，補助縦桁，吊り金具（扉体，固定部），吊りピン4本，吊り手）（N）

A_B : 断面Bの断面積（mm²）

W_{kh1} : 扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力（N）

W_{kv1} : 扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力（N）

(5) 吊り手

吊り手のモデル図を図 5-14 に示す。吊り手は逆止弁 1 門あたり 2 箇所を設置されているため、片側にかかる荷重は地震時慣性力の 1/2 を考える。吊り手の照査位置として断面 C，断面 D で行う。

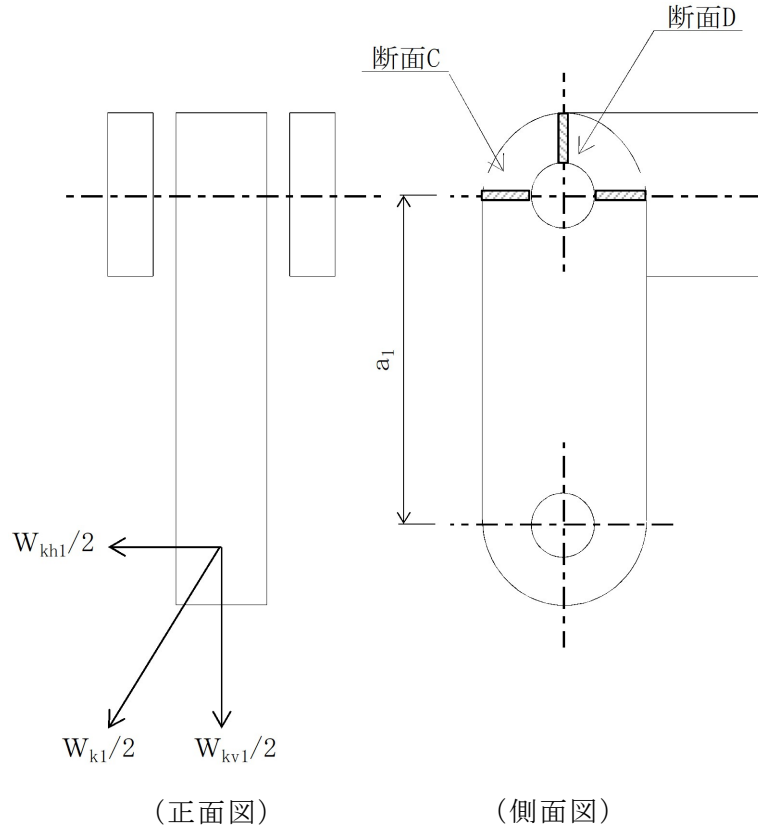


図 5-14 吊り手のモデル図

吊り手の最大応力度算定式を以下に示す。

(断面 C)

曲げ応力度 (水平方向)

$$\sigma_{C1} = \frac{W_{kh1} \cdot a_1}{2 \cdot Z_C}$$

σ_{C1} : 吊り手の水平設計用地震力による曲げ応力度 (断面 C 水平方向)
(N/mm^2)

W_{kh1} : 扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力 (N)

a_1 : ピン穴中心間の距離 (mm)

Z_C : 断面係数 (断面 C) (mm^3)

引張応力度（鉛直方向）

$$\sigma_{C2} = \frac{W_{kv1} \cdot W_{g1}}{2 \cdot A_C}$$

σ_{C2} : 吊り手の鉛直設計用地震力による引張応力度（断面C鉛直方向）
（N/mm²）

W_{kv1} : 扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力（N）

W_{g1} : 扉体自重（吊り金具（固定部）まで入る）（N）

A_C : 断面Cの断面積（mm²）

曲げ応力と引張応力の合成応力度

$$\sigma_{Cmax} = \sigma_{C1} + \sigma_{C2}$$

σ_{Cmax} : 吊り手の曲げ応力と引張応力の合成応力度（断面C）（N/mm²）

σ_{C1} : 吊り手の水平設計用地震力による曲げ応力度（断面C水平方向）
（N/mm²）

σ_{C2} : 吊り手の鉛直設計用地震力による引張応力度（断面C鉛直方向）
（N/mm²）

（断面D）

せん断応力度

$$\tau_D = \frac{W_{k1} + W_{g1}}{2 \cdot A_D}$$

τ_D : 吊り手の同時加振によるせん断応力度（断面D）（N/mm²）

W_{k1} : 扉体自重の同時加振による地震時慣性力（N）

W_{g1} : 扉体自重（スキンプレート，主桁，補助縦桁，吊り金具（扉体，固定部），吊りピン4本，吊り手）（N）

A_D : 断面Dの断面積（mm²）

(6) 吊りピン

吊りピンのモデル図を図 5-15 に示す。

吊りピンは逆止弁 1 門あたり 2 箇所を設置されているため、片側にかかる荷重は地震時慣性力の 1/2 を考える。吊りピンの照査位置として断面 E，断面 F で行う。

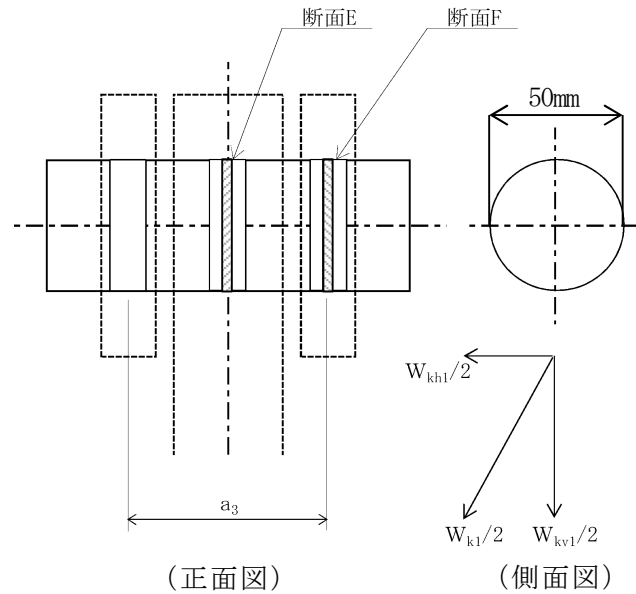


図 5-15 吊りピンのモデル図

吊りピンの最大応力度算定式を以下に示す。

(断面 E)

曲げ応力度 (水平方向)

$$\sigma_E = \frac{1}{2} \cdot \frac{(W_{k1} + W_{g1}) \cdot a_3}{4 \cdot Z_E}$$

σ_E : 吊りピンの同時加振による曲げ応力度 (断面 E 水平方向) (N/mm²)

W_{k1} : 扉体自重の同時加振による地震時慣性力 (N)

W_{g1} : 扉体自重 (吊り金具 (固定部) まで入る) (N)

a_3 : 吊りピンの支点間距離 (mm)

Z_E : 断面係数 (mm³)

(断面 F)

せん断応力度

$$\tau_F = \frac{W_{k1} + W_{g1}}{4 \cdot A_F}$$

τ_F : 吊りピンの同時加振によるせん断応力度 (断面 F) (N/mm²)

W_{k1} : 扉体自重の同時加振による地震時慣性力 (N)

W_{g1} : 扉体自重 (吊り金具 (固定部) まで入る) (N)

A_F : 断面 F の断面積 (mm²)

(7) 集水桷（戸当り部コンクリート）

集水桷（戸当り部コンクリート）のモデル図を図 5-16 に示す。

集水桷（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。

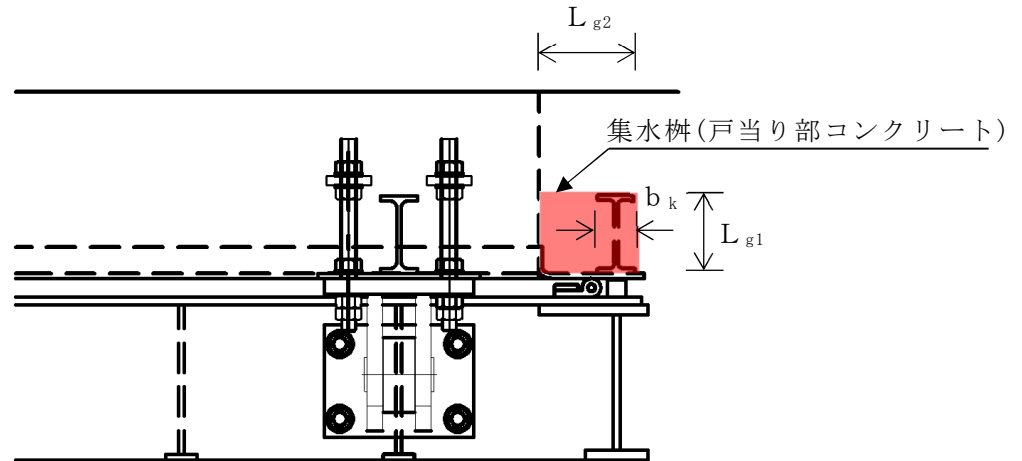


図 5-16 集水桷（戸当り部コンクリート）のモデル図

集水桷（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。

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

$$\tau_L = \frac{p_1 \cdot B}{2(L_{l1} + 2L_{l2})}$$

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 : 底面フランジのせん断応力度 (N/mm²)

L_{l1} : コンクリート面より底面フランジ端面までの深さ (mm)

L_{l2} : 堰柱側面より底面フランジ端面までの深さ (mm)

(8) アンカーボルト

アンカーボルトの応力算定式を以下に示す。

アンカーボルトに作用する引抜き力

$$F_1 = \frac{W_{k1}' + W_{k2}'}{n_1}$$

$$W_{k1}' = \sqrt{W_{kh1}^2 + (W_{Kv1} + W_{g1})^2}$$

$$W_{k2}' = \sqrt{W_{kh}^2 + (W_{Kv2} + W_{g2})^2}$$

F_1 : アンカーボルト 1 本あたりに作用する引抜き力 (N)

W_{k1}' : 扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力 (N)

W_{k2}' : 戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力 (N)

n_1 : 引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数 (本)

W_{kh1} : 扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力 (N)

W_{kv1} : 扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力 (N)

W_{g1} : 扉体自重 (スキンプレート, 主桁, 補助縦桁, 吊り金具 (扉体, 固定部), 吊りピン 4 本, 吊り手) (N)

W_{kh2} : 戸当り自重の水平設計用地震力による地震時慣性力 (N)

W_{kv2} : 戸当り自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力 (N)

W_{g2} : 戸当り自重 (N)

アンカーボルトに作用するせん断力

$$S_1 = \frac{W_{k1}' + W_{k2}'}{n_2}$$

S_1 : アンカーボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (N)

W_{k1}' : 扉体に作用する地震時慣性力によるせん断力 (N)

W_{k2}' : 戸当りに作用する地震時慣性力によるせん断力 (N)

n_2 : せん断力を受け持つアンカーボルトの本数 (本)

5.5.2 屋外排水路逆止弁 (⑦, ⑧-1, ⑧-2, ⑩, ⑪, ⑫)

(1) スキンプレート

スキンプレートのモデル図を図 5-17 に示す。

スキンプレートの曲げ応力は、「機械工学便覧（（社）日本機械学会）」に基づき、円盤周辺単純支持等分布荷重による最大曲げ応力を考える。

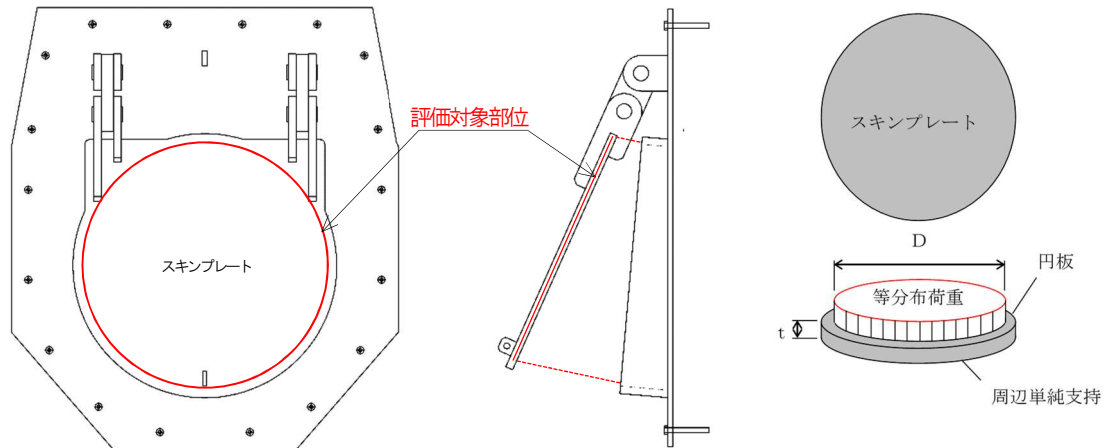


図 5-17 スキンプレートのモデル図

スキンプレートの最大応力度算定式を以下に示す。

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

$$P = \frac{W_{g1} \cdot K h}{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

σ_{\max} : スキンプレートの最大応力度 (N/mm²)

$K h$: 水平方向の設計用地震力

P : 地震時作用単位荷重 (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)

W_{g1} : 扉体自重 (スキンプレート, 吊り金具 (扉体), 吊りピン 4 本, 吊り手) (N)

(2) 吊り金具（扉体，固定部）

吊り金具（扉体，固定部）のモデル図を図5-18に示す。吊り金具（扉体，固定部）は逆止弁1門あたり2箇所を設置されているため，片側にかかる荷重は地震時慣性力の1/2を考える。吊り金具（扉体，固定部）の照査位置として断面A，断面Bで行う。

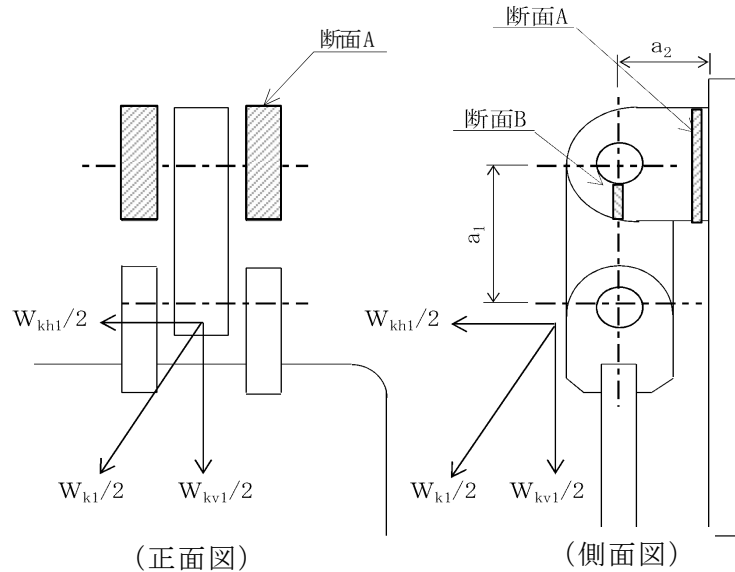


図5-18 吊り金具（扉体，固定部）のモデル図

吊り金具の最大応力度算定式を以下に示す。

(断面A)

曲げ応力度（水平方向）

$$\sigma_{Ax} = \frac{W_{kh1} \cdot (a_1 + a_2)}{2 \cdot Z_{Ax}}$$

$$W_{Kh1} = W_{g1} \cdot K h$$

σ_{Ax} : 吊り金具の水平設計用地震力による曲げ応力度（断面A水平方向）
（N/mm²）

W_{kh1} : 扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力（N）

a_1 : ピン穴中心間の距離（mm）

a_2 : 固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離（mm）

Z_{Ax} : 断面係数（断面A水平方向）（mm³）

W_{g1} : 扉体自重（スキンプレート，吊り金具（扉体），吊りピン4本，吊り手）（N）

$K h$: 水平方向の設計用地震力

せん断応力度（水平方向）

$$\tau_{Ax} = \frac{W_{kh1}}{2 \cdot A_A}$$

τ_{Ax} : 吊り金具の水平設計用地震力によるせん断応力度（断面A水平方向）
（N/mm²）

W_{kh1} : 扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力（N）

A_A : 断面Aの断面積（mm²）

曲げ応力とせん断応力の合成応力度（水平方向）

$$\sigma_{xmax} = \sqrt{\sigma_{Ax}^2 + 3 \times \tau_{Ax}^2}$$

σ_{xmax} : 吊り金具の曲げ応力とせん断応力の合成応力度（断面A水平方向）
（N/mm²）

σ_{Ax} : 吊り金具の水平設計用地震力による曲げ応力度（断面A水平方向）
（N/mm²）

τ_{Ax} : 吊り金具の水平設計用地震力によるせん断応力度（断面A水平方向）
（N/mm²）

曲げ応力度（鉛直方向）

$$\sigma_{Ay} = \frac{(W_{kv1} + W_{g1}) \cdot a_2}{2 \cdot Z_{Ay}}$$

$$W_{Kv1} = W_{g1} \cdot K_v$$

σ_{Ay} : 吊り金具の鉛直設計用地震力による曲げ応力度（断面A鉛直方向）
（N/mm²）

W_{kv1} : 扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力（N）

W_{g1} : 扉体自重（スキンプレート，吊り金具（扉体），吊りピン4本，吊り手）（N）

a_2 : 固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離（mm）

Z_{Ay} : 断面係数（断面A鉛直方向）（mm³）

K_v : 鉛直方向の設計用地震力

せん断応力度（鉛直方向）

$$\tau_{Ay} = \frac{W_{kv1} + W_{g1}}{2 \cdot A_A}$$

τ_{Ay} : 吊り金具の鉛直設計用地震力によるせん断応力度（断面A鉛直方向）
（N/mm²）

W_{kv1} : 扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力（N）

W_{g1} : 扉体自重（スキンプレート，吊り金具（扉体），吊りピン4本，吊り手）（N）

A_A : 断面Aの断面積（mm²）

曲げ応力とせん断応力の合成応力度（鉛直方向）

$$\sigma_{ymax} = \sqrt{\sigma_{Ay}^2 + 3 \times \tau_{Ay}^2}$$

σ_{ymax} : 吊り金具の曲げ応力とせん断応力の合成応力度（断面A鉛直方向）
（N/mm²）

σ_{Ay} : 吊り金具の鉛直設計用地震力による曲げ応力度（断面A鉛直方向）
（N/mm²）

τ_{Ay} : 吊り金具の鉛直設計用地震力によるせん断応力度（断面A鉛直方向）
（N/mm²）

（断面B）

せん断応力度

$$\tau_B = \frac{W_{k1} + W_{g1}}{4 \cdot A_B}$$

$$W_{k1} = \sqrt{W_{Kh1}^2 + W_{kv1}^2}$$

τ_B : 吊り金具の同時加振によるせん断応力度（断面B）（N/mm²）

W_{k1} : 扉体自重の同時加振による地震時慣性力（N）

W_{g1} : 扉体自重（スキンプレート，吊り金具（扉体），吊りピン4本，吊り手）（N）

A_B : 断面Bの断面積（mm²）

W_{kh1} : 扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力（N）

W_{kv1} : 扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力（N）

(3) 吊り手

吊り手のモデル図を図 5-19 に示す。吊り手は逆止弁 1 門あたり 2 箇所を設置されているため、片側にかかる荷重は地震時慣性力の 1/2 を考える。吊り手の照査位置として断面 C，断面 D で行う。

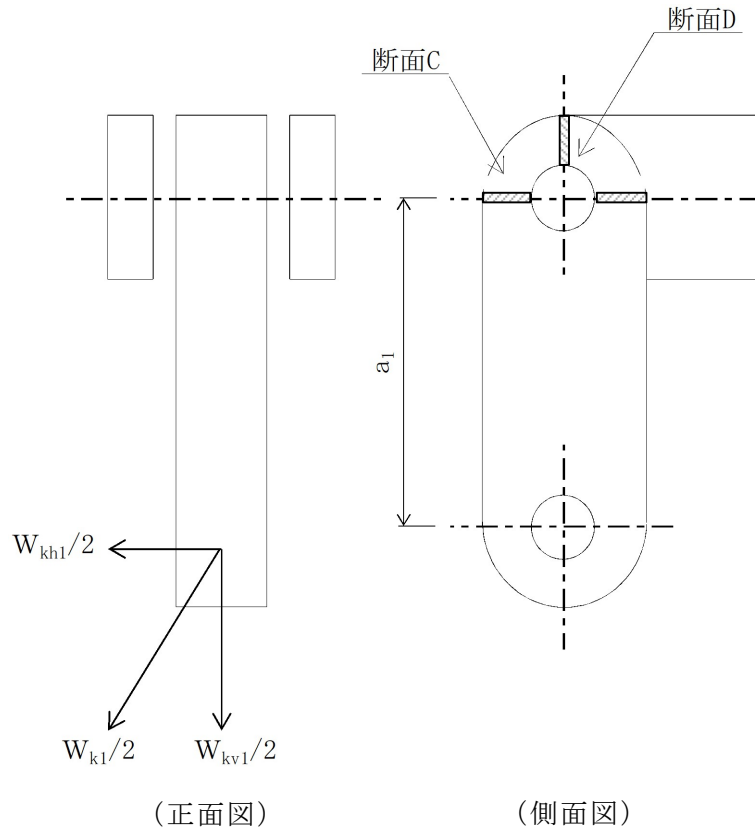


図 5-19 吊り手のモデル図

吊り手の最大応力度算定式を以下に示す。

(断面 C)

曲げ応力度 (水平方向)

$$\sigma_{C1} = \frac{W_{kh1} \cdot a_1}{2 \cdot Z_C}$$

σ_{C1} : 吊り手の水平設計用地震力による曲げ応力度 (断面 C 水平方向)
(N/mm^2)

W_{kh1} : 扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力 (N)

a_1 : ピン穴中心間の距離 (mm)

Z_C : 断面係数 (断面 C) (mm^3)

引張応力度（鉛直方向）

$$\sigma_{C2} = \frac{W_{kv1} \cdot W_{g1}}{2 \cdot A_C}$$

σ_{C2} : 吊り手の鉛直設計用地震力による引張応力度（断面C鉛直方向）
（N/mm²）

W_{kv1} : 扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力（N）

W_{g1} : 扉体自重（スキンプレート，吊り金具（扉体），吊りピン4本，吊り手）（N）

A_C : 断面Cの断面積（mm²）

曲げ応力と引張応力の合成応力度

$$\sigma_{Cmax} = \sigma_{C1} + \sigma_{C2}$$

σ_{Cmax} : 吊り手の曲げ応力と引張応力の合成応力度（断面C）（N/mm²）

σ_{C1} : 吊り手の水平設計用地震力による曲げ応力度（断面C水平方向）
（N/mm²）

σ_{C2} : 吊り手の鉛直設計用地震力による引張応力度（断面C鉛直方向）
（N/mm²）

（断面D）

せん断応力度

$$\tau_D = \frac{W_{k1} + W_{g1}}{2 \cdot A_D}$$

τ_D : 吊り手の同時加振によるせん断応力度（断面D）（N/mm²）

W_{k1} : 扉体自重の同時加振による地震時慣性力（N）

W_{g1} : 扉体自重（スキンプレート，吊り金具（扉体），吊りピン4本，吊り手）（N）

A_D : 断面Dの断面積（mm²）

(4) 吊りピン

吊りピンのモデル図を図 5-20 に示す。

吊りピンは逆止弁 1 門あたり 2 箇所を設置されているため、片側にかかる荷重は地震時慣性力の 1/2 を考える。吊りピンの照査位置として断面 E，断面 F で行う。

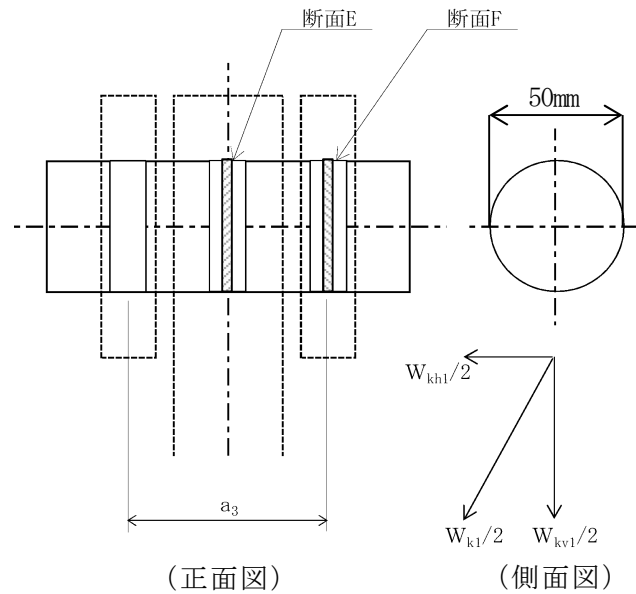


図 5-20 吊りピンのモデル図

吊りピンの最大応力度算定式を以下に示す。

(断面 E)

曲げ応力度 (水平方向)

$$\sigma_E = \frac{1}{2} \cdot \frac{(W_{k1} + W_{g1}) \cdot a_3}{4 \cdot Z_E}$$

σ_E : 吊りピンの同時加振による曲げ応力度 (断面 E 水平方向) (N/mm²)

W_{k1} : 扉体自重の同時加振による地震時慣性力 (N)

W_{g1} : 扉体自重 (スキンプレート, 吊り金具 (扉体), 吊りピン 4 本, 吊り手) (N)

a_3 : 吊りピンの支点間距離 (mm)

Z_E : 断面係数 (断面 E) (mm³)

(断面 F)

せん断応力度

$$\tau_F = \frac{W_{k1} + W_{g1}}{4 \cdot A_F}$$

τ_F : 吊りピンの同時加振によるせん断応力度 (断面 F) (N/mm²)

W_{k1} : 扉体自重の同時加振による地震時慣性力 (N)

W_{g1} : 扉体自重 (スキンプレート, 吊り金具 (扉体), 吊りピン 4 本, 吊り手) (N)

A_F : 断面 F の断面積 (mm²)

(5) 戸当り

戸当りのモデル図を図 5-21 に示す。

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。

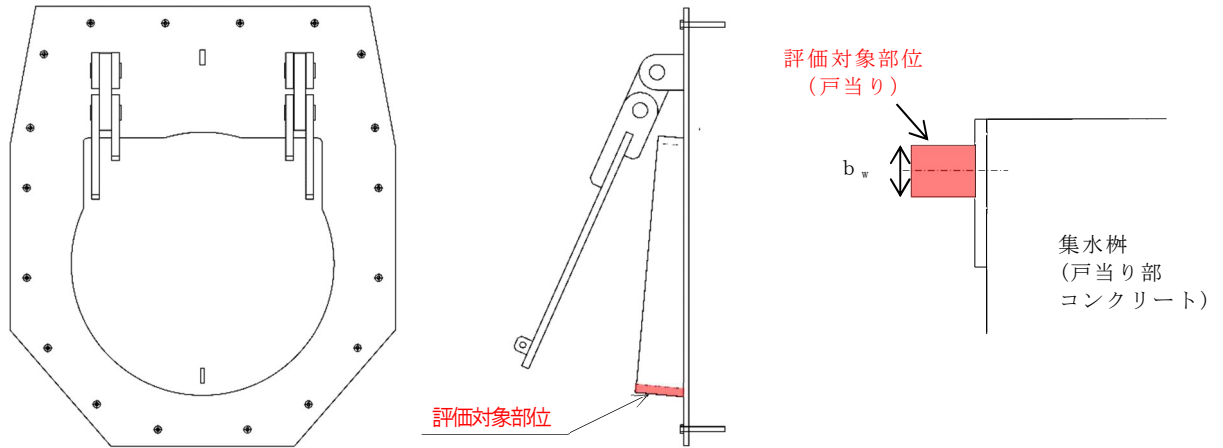


図 5-21 戸当りのモデル図

戸当りの最大応力度算定式を以下に示す。

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

$$P_1 = W_{g1} \cdot K h$$

- 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)
 W_{g1} : 扉体自重 (スキンプレート, 吊り金具 (扉体), 吊りピン 4 本, 吊り手) (N)
 $K h$: 水平方向の設計用地震力

(6) 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）のモデル図を図 5-22 に示す。

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。

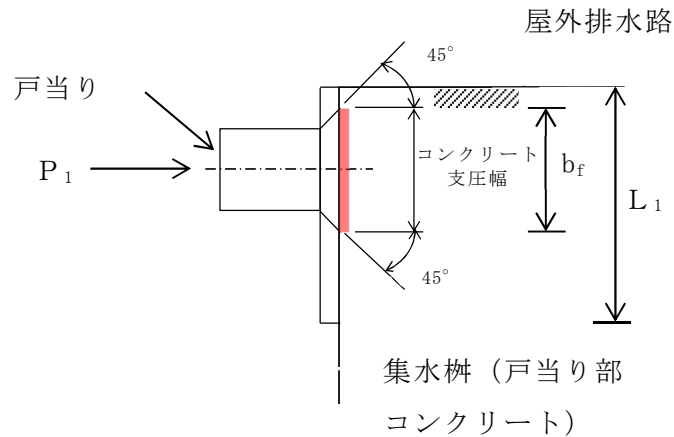


図 5-22 集水桝（戸当り部コンクリート）のモデル図

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。

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

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

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端面までの距離 (mm)

(7) アンカーボルト

アンカーボルトの応力算定式を以下に示す。

アンカーボルトに作用する引抜き力

$$F_1 = \frac{W_{k1}' + W_{k2}'}{n_1}$$

$$W_{k1}' = \sqrt{W_{kh1}^2 + (W_{kv1} + W_{g1})^2}$$

$$W_{k2}' = \sqrt{W_{kh2}^2 + (W_{kv2} + W_{g2})^2}$$

F_1 : アンカーボルト 1 本あたりに作用する引抜き力 (N)

W_{k1}' : 扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力 (N)

W_{k2}' : 戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力 (N)

n_1 : 引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数 (本)

W_{kh1} : 扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力 (N)

W_{kv1} : 扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力 (N)

W_{g1} : 扉体自重 (スキンプレート, 吊り金具 (扉体), 吊りピン 4 本, 吊り手) (N)

W_{kh2} : 戸当り自重の水平設計用地震力による地震時慣性力 (N)

W_{kv2} : 戸当り自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力 (N)

W_{g2} : 戸当り自重 (N)

アンカーボルトに作用するせん断力

$$S_1 = \frac{W_{k1}' + W_{k2}'}{n_2}$$

S_1 : アンカーボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (N)

W_{k1}' : 扉体に作用する地震時慣性力によるせん断力 (N)

W_{k2}' : 戸当りに作用する地震時慣性力によるせん断力 (N)

n_2 : せん断力を受け持つアンカーボルトの本数 (本)

5.6 計算条件

屋外排水路逆止弁の応力評価に用いる計算条件を表5-10に示す。

表5-10(1) 応力評価に用いる計算条件（屋外排水路逆止弁①）（1/2）

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	K_h	—	水平方向の設計用地震力	1.11
	K_v	—	鉛直方向の設計用地震力	2.01
	W_{g1}	N	扉体自重（スキンプレート、主桁、補助縦桁、吊り金具（扉体、固定部）、吊りピン4本、吊り手）	18000
	W_{kh1}	N	扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	19980
	W_{kv1}	N	扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	36180
	W_{k1}	N	扉体自重の同時加振による地震時慣性力	41330
	W_{k1}'	N	扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	57750
	W_{kh2}	N	戸当り自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	2780
	W_{kv2}	N	戸当り自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	5030
	W_{k2}'	N	戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	8020
	p	N/mm ²	慣性力による作用荷重	0.0041
	a_1	mm	ピン穴中心間の距離	135
	a_2	mm	固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離	130
	a_3	mm	吊りピンの支点間距離	87
スキンプレート	k	—	b/a による形状係数	45
	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
	t_s	mm	スキンプレートの板厚	12
	α	N/mm ²	応力の補正係数	0.8
主桁	W	N/mm	主桁の分担荷重	2.270
	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

表 5-10(1) 応力評価に用いる計算条件（屋外排水路逆止弁①）（2/2）

対象部位	記号	単位	定義	数値
吊り金具	Z_{Ax}	mm ³	断面係数（断面A水平方向）	416643
	A_A	mm ²	断面Aの断面積	12000
	Z_{Ay}	mm ³	断面係数（断面A鉛直方向）	480000
	A_B	mm ²	断面Bの断面積	600
吊り手	Z_C	mm ³	断面係数（断面C）	41400
	A_C	mm ²	断面Cの断面積	4140
	A_D	mm ²	断面Dの断面積	2040
吊りピン	Z_E	mm ³	断面係数（断面E）	12272
	A_F	mm ²	断面Fの断面積	1963
集水桝 （戸当り 部コンク リート）	b_k	mm	底面フランジ幅	60
	$L_{\phi 1}$	mm	コンクリート面より底面フランジ端面までの深さ	133
	$L_{\phi 2}$	mm	堰柱側面より底面フランジ端面までの深さ	155
アンカー ボルト	n_1	本	引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数	8
	n_2	本	せん断力を受け持つアンカーボルトの本数	8

表 5-10(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）
(1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	K_h	—	水平方向の設計用地震力	1.13
	K_v	—	鉛直方向の設計用地震力	2.01
	W_{g1}	N	扉体自重（スキンプレート，主桁，補助縦桁，吊り金具（扉体，固定部），吊りピン4本，吊り手）	12000
	W_{kh1}	N	扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	13560
	W_{kv1}	N	扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	24120
	W_{k1}	N	扉体自重の同時加振による地震時慣性力	27700
	W_{k1}'	N	扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	38580
	W_{kh2}	N	戸当り自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	2260
	W_{kv2}	N	戸当り自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	4020
	W_{k2}'	N	戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	6430
	p	N/mm ²	慣性力による作用荷重	0.0047
	a_1	mm	ピン穴中心間の距離	135
	a_2	mm	固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離	130
	a_3	mm	吊りピンの支点間距離	77
スキンプレート	k	—	b/a による形状係数	48
	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
	t_s	mm	スキンプレートの板厚	12
	α	N/mm ²	応力の補正係数	0.8
主桁	W	N/mm	主桁の分担荷重	2.698
	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
吊り金具	Z_{Ax}	mm ³	断面係数（断面A水平方向）	361020
	A_A	mm ²	断面Aの断面積	12000
	Z_{Ay}	mm ³	断面係数（断面A鉛直方向）	480000
	A_B	mm ²	断面Bの断面積	600

表 5-10(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）
(2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
吊り手	Z_C	mm^3	断面係数（断面C）	28750
	A_C	mm^2	断面Cの断面積	3450
	A_D	mm^2	断面Dの断面積	1700
吊りピン	Z_E	mm^3	断面係数（断面E）	12272
	A_F	mm^2	断面Fの断面積	1963
集水桝 （戸当り 部コンク リート）	b_k	mm	底面フランジ幅	60
	$L_{\theta 1}$	mm	コンクリート面より底面フランジ端面までの深さ	133
	$L_{\theta 2}$	mm	堰柱側面より底面フランジ端面までの深さ	155
アンカー ボルト	n_1	本	引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数	8
	n_2	本	せん断力を受け持つアンカーボルトの本数	8

表 5-10(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	K_h	—	水平方向の設計用地震力	1.37	
	K_v	—	鉛直方向の設計用地震力	1.01	
	W_{g1}	N	扉体自重（スキンプレート，吊り金具（扉体），吊りピン4本，吊り手）	1300	
	W_{g2}	N	戸当り自重	2280	
	W_{kh1}	N	扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	1781	
	W_{kv1}	N	扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	1313	
	W_{k1}	N	扉体自重の同時加振による地震時慣性力	2213	
	W_{k1}'	N	扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	3162	
	W_{kh2}	N	戸当り自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	3124	
	W_{kv2}	N	戸当り自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	2303	
	W_{k2}'	N	戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	5546	
	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	
	a_1	mm	ピン穴中心間の距離	140	
	スキンプレート	P	N/mm ²	地震時作用単位荷重	0.004
吊り金具		Z_{Ax}	mm ³	断面係数（断面A水平方向）	153174
		A_A	mm ²	断面Aの断面積	6000
		Z_{Ay}	mm ³	断面係数（断面A鉛直方向）	120000
	A_B	mm ²	断面Bの断面積	850	
吊り手	Z_C	mm ³	断面係数（断面C）	18400	
	A_C	mm ²	断面Cの断面積	2760	
	A_D	mm ²	断面Dの断面積	1360	
吊りピン	Z_E	mm ³	断面係数（断面E）	12272	
	A_F	mm ²	断面Fの断面積	1963	
戸当り	P_1	N	戸当りへ作用する荷重	1781	
	b_w	mm	戸当りの幅	25	
集水桝 （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端面までの距離	120	
アンカーボルト	n_1	本	引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数（保守的に最も応力が集中する吊り金具周辺のアンカーのみとする）	4	
	n_2	本	せん断力を受け持つアンカーボルトの本数（保守的に最も応力が集中する吊り金具周辺のアンカーのみとする）	4	

表 5-10(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	K_h	—	水平方向の設計用地震力	1.60
	K_v	—	鉛直方向の設計用地震力	1.01
	W_{g1}	N	扉体自重（スキンプレート，吊り金具（扉体），吊りピン4本，吊り手）	400
	W_{g2}	N	戸当り自重	770
	W_{kh1}	N	扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	640
	W_{kv1}	N	扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	404
	W_{k1}	N	扉体自重の同時加振による地震時慣性力	757
	W_{k1}'	N	扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	1028
	W_{kh2}	N	戸当り自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	1232
	W_{kv2}	N	戸当り自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	778
	W_{k2}'	N	戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	1978
	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
	a_1	mm	ピン穴中心間の距離	75
	a_2	mm	固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離	44
a_3	mm	吊りピンの支点間距離	34	
スキンプレート	P	N/mm^2	地震時作用単位荷重	0.003
吊り金具	Z_{Ax}	mm^3	断面係数（断面A水平方向）	18845
	A_A	mm^2	断面Aの断面積	1440
	Z_{Ay}	mm^3	断面係数（断面A鉛直方向）	14400
	A_B	mm^2	断面Bの断面積	192
吊り手	Z_C	mm^3	断面係数（断面C）	2200
	A_C	mm^2	断面Cの断面積	660
	A_D	mm^2	断面Dの断面積	320
吊りピン	Z_E	mm^3	断面係数（断面E）	1726
	A_F	mm^2	断面Fの断面積	531
戸当り	P_1	N	戸当りへ作用する荷重	640
	b_w	mm	戸当りの幅	19
集水桝 （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端面までの距離	110
アンカーボルト	n_1	本	引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数（保守的に最も応力が集中する吊り金具周辺のアンカーのみとする）	4
	n_2	本	せん断力を受け持つアンカーボルトの本数（保守的に最も応力が集中する吊り金具周辺のアンカーのみとする）	4

表 5-10(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	K_h	—	水平方向の設計用地震力	1.25
	K_v	—	鉛直方向の設計用地震力	1.01
	W_{g1}	N	扉体自重（スキンプレート，吊り金具（扉体），吊りピン4本，吊り手）	1800
	W_{g2}	N	戸当り自重	2700
	W_{kh1}	N	扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	2250
	W_{kv1}	N	扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	1818
	W_{k1}	N	扉体自重の同時加振による地震時慣性力	2893
	W_{k1}'	N	扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	4261
	W_{kh2}	N	戸当り自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	3375
	W_{kv2}	N	戸当り自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	2727
	W_{k2}'	N	戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	6391
	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
	a_1	mm	ピン穴中心間の距離	140
	a_2	mm	固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離	90
a_3	mm	吊りピンの支点間距離	67	
スキンプレート	P	N/mm^2	地震時作用単位荷重	0.004
吊り金具	Z_{Ax}	mm^3	断面係数（断面A水平方向）	153174
	A_A	mm^2	断面Aの断面積	6000
	Z_{Ay}	mm^3	断面係数（断面A鉛直方向）	120000
	A_B	mm^2	断面Bの断面積	850
吊り手	Z_C	mm^3	断面係数（断面C）	18400
	A_C	mm^2	断面Cの断面積	2760
	A_D	mm^2	断面Dの断面積	1360
吊りピン	Z_E	mm^3	断面係数（断面E）	12272
	A_F	mm^2	断面Fの断面積	1963
戸当り	P_1	N	戸当りへ作用する荷重	2250
	b_w	mm	戸当りの幅	25
集水桝 （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端面までの距離	120
アンカーボルト	n_1	本	引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数（保守的に最も応力が集中する吊り金具周辺のアンカーのみとする）	4
	n_2	本	せん断力を受け持つアンカーボルトの本数（保守的に最も応力が集中する吊り金具周辺のアンカーのみとする）	4

表 5-10(6) 応力評価に用いる計算条件（屋外排水路逆止弁⑨）（1/2）

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	K_h	—	水平方向の設計用地震力	1.70
	K_v	—	鉛直方向の設計用地震力	1.01
	W_{g1}	N	扉体自重（スキンプレート、主桁、補助縦桁、吊り金具（扉体、固定部）、吊りピン4本、吊り手）	18000
	W_{kh1}	N	扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	30600
	W_{kv1}	N	扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	18180
	W_{k1}	N	扉体自重の同時加振による地震時慣性力	35593
	W_{k1}'	N	扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	47385
	W_{kh2}	N	戸当り自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	4250
	W_{kv2}	N	戸当り自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	2530
	W_{k2}'	N	戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	6585
	p	N/mm ²	慣性力による作用荷重	0.0063
	a_1	mm	ピン穴中心間の距離	135
	a_2	mm	固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離	130
	a_3	mm	吊りピンの支点間距離	87
スキンプレート	k	—	b/a による形状係数	45
	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
	t_s	mm	スキンプレートの板厚	12
	α	N/mm ²	応力の補正係数	0.8
主桁	W	N/mm	主桁の分担荷重	3.477
	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
吊り金具	Z_{Ax}	mm ³	断面係数（断面A水平方向）	416643
	A_A	mm ²	断面Aの断面積	12000
	Z_{Ay}	mm ³	断面係数（断面A鉛直方向）	480000
	A_B	mm ²	断面Bの断面積	600

表 5-10(6) 応力評価に用いる計算条件（屋外排水路逆止弁⑨）（2/2）

対象部位	記号	単位	定義	数値
吊り手	Z_C	mm^3	断面係数（断面C）	41400
	A_C	mm^2	断面Cの断面積	4140
	A_D	mm^2	断面Dの断面積	2040
吊りピン	Z_E	mm^3	断面係数（断面E）	12272
	A_F	mm^2	断面Fの断面積	1963
集水桝 （戸当り 部コンク リート）	b_k	mm	底面フランジ幅	60
	$L_{\phi 1}$	mm	コンクリート面より底面フランジ端面までの深さ	133
	$L_{\phi 2}$	mm	堰柱側面より底面フランジ端面までの深さ	155
アンカー ボルト	n_1	本	引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数	8
	n_2	本	せん断力を受け持つアンカーボルトの本数	8

表 5-10(7) 応力評価に用いる計算条件（屋外排水路逆止弁⑩、⑪、⑫）

対象部位	記号	単位	定義	数値	
共通	K_h	—	水平方向の設計用地震力	3.70	
	K_v	—	鉛直方向の設計用地震力	0.66	
	W_{g1}	N	扉体自重（スキンプレート，吊り金具（扉体），吊りピン4本，吊り手）	1800	
	W_{g2}	N	戸当り自重	2700	
	W_{kh1}	N	扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	6660	
	W_{kv1}	N	扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	1188	
	W_{k1}	N	扉体自重の同時加振による地震時慣性力	6765	
	W_{k1}'	N	扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	7300	
	W_{kh2}	N	戸当り自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	9990	
	W_{kv2}	N	戸当り自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	1782	
	W_{k2}'	N	戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	10949	
	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	
	a_1	mm	ピン穴中心間の距離	140	
	スキンプレート	P	N/mm^2	地震時作用単位荷重	0.012
吊り金具		Z_{Ax}	mm^3	断面係数（断面A水平方向）	153174
		A_A	mm^2	断面Aの断面積	6000
	Z_{Ay}	mm^3	断面係数（断面A鉛直方向）	120000	
	A_B	mm^2	断面Bの断面積	850	
吊り手	Z_C	mm^3	断面係数（断面C）	18400	
	A_C	mm^2	断面Cの断面積	2760	
	A_D	mm^2	断面Dの断面積	1360	
吊りピン	Z_E	mm^3	断面係数（断面E）	12272	
	A_F	mm^2	断面Fの断面積	1963	
戸当り	P_1	N	戸当りへ作用する荷重	6660	
	b_w	mm	戸当りの幅	25	
集水桝 （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端面までの距離	120	
アンカーボルト	n_1	本	引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数（保守的に最も応力が集中する吊り金具周辺のアンカーのみとする）	4	
	n_2	本	せん断力を受け持つアンカーボルトの本数（保守的に最も応力が集中する吊り金具周辺のアンカーのみとする）	4	

表 5-10(8) 応力評価に用いる計算条件（屋外排水路逆止弁⑬）（1/2）

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	K_h	—	水平方向の設計用地震力	1.86
	K_v	—	鉛直方向の設計用地震力	0.66
	W_{g1}	N	扉体自重（スキンプレート、主桁、補助縦桁、吊り金具（扉体、固定部）、吊りピン4本、吊り手）	12000
	W_{kh1}	N	扉体自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	22320
	W_{kv1}	N	扉体自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	7920
	W_{k1}	N	扉体自重の同時加振による地震時慣性力	23700
	W_{k1}'	N	扉体に作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	29916
	W_{kh2}	N	戸当り自重の水平設計用地震力による地震時慣性力	3720
	W_{kv2}	N	戸当り自重の鉛直設計用地震力による地震時慣性力	1320
	W_{k2}'	N	戸当りに作用する地震時慣性力による引抜き力又はせん断力	4986
	p	N/mm ²	慣性力による作用荷重	0.0077
	a_1	mm	ピン穴中心間の距離	135
	a_2	mm	固定部吊り金具のピン穴中心から戸当りまでの距離	130
	a_3	mm	吊りピンの支点間距離	77
スキンプレート	k	—	b/a による形状係数	48
	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
	t_s	mm	スキンプレートの板厚	12
	α	N/mm ²	応力の補正係数	0.8
主桁	W	N/mm	主桁の分担荷重	4.441
	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
吊り金具	Z_{Ax}	mm ³	断面係数（断面A水平方向）	361020
	A_A	mm ²	断面Aの断面積	12000
	Z_{Ay}	mm ³	断面係数（断面A鉛直方向）	480000
	A_B	mm ²	断面Bの断面積	600

表 5-10(8) 応力評価に用いる計算条件（屋外排水路逆止弁⑬）（2/2）

対象部位	記号	単位	定義	数値
吊り手	Z_C	mm^3	断面係数（断面C）	28750
	A_C	mm^2	断面Cの断面積	3450
	A_D	mm^2	断面Dの断面積	1700
吊りピン	Z_E	mm^3	断面係数（断面E）	12272
	A_F	mm^2	断面Fの断面積	1963
集水桝 （戸当り 部コンク リート）	b_k	mm	底面フランジ幅	60
	$L_{\phi 1}$	mm	コンクリート面より底面フランジ端面までの深さ	133
	$L_{\phi 2}$	mm	堰柱側面より底面フランジ端面までの深さ	155
アンカー ボルト	n_1	本	引抜き力を受け持つアンカーボルトの本数	8
	n_2	本	せん断力を受け持つアンカーボルトの本数	8

6. 評価結果

屋外排水路逆止弁の評価部位の耐震評価結果を表 6-1 に示す。

発生応力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 6-1(1) 耐震評価結果（屋外排水路逆止弁①）（1/2）

評価部位	評価応力	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)	1.4	135.0	0.02
主桁	曲げ応力度 (N/mm ²)	2.1	135.0	0.02
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.8	75.0	0.02
	合成応力度 (N/mm ²)	2.5	148.5	0.02
補助縦桁	曲げ応力度（引張） (N/mm ²)	0.3	135.0	0.01
	曲げ応力度（圧縮） (N/mm ²)	0.2	117.5	0.01
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.1	75.0	0.01
	合成応力度 (N/mm ²)	0.4	148.5	0.01
吊り金具 （扉体，固定部）	曲げ応力度（水平方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	6.4	135.0	0.05
	せん断応力度（水平方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	0.8	75.0	0.02
	合成応力度（水平方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	6.5	148.5	0.05
	曲げ応力度（鉛直方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	7.3	135.0	0.06
	せん断応力度（鉛直方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	2.3	75.0	0.04
	合成応力度（鉛直方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	8.3	148.5	0.06
	せん断応力度（鉛直方向） 〈B断面〉 (N/mm ²)	24.7	75.0	0.33
吊り手	曲げ応力度（水平方向） 〈C断面〉 (N/mm ²)	32.6	135.0	0.25
	引張応力度（鉛直方向） 〈C断面〉 (N/mm ²)	6.5	135.0	0.05
	合成応力度（鉛直方向） 〈C断面〉 (N/mm ²)	39.1	135.0	0.29
	せん断応力度 〈D断面〉 (N/mm ²)	14.5	75.0	0.20

表 6-1(1) 耐震評価結果（屋外排水路逆止弁①）（2/2）

評価部位	評価応力	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
吊りピン	曲げ応力度〈E断面〉(N/mm ²)	52.6	135.0	0.39
	せん断応力度〈F断面〉 (N/mm ²)	7.6	75.0	0.11
集水桝（戸当り部コン クリート）	支圧応力度(N/mm ²)	0.1	8.8	0.01
	せん断応力度(N/mm ²)	0.01	0.6	0.02
アンカーボルト 〈M24〉	引抜き力 (N/本)	8200	59000	0.14
	せん断力 (N/本)	8200	27100	0.31

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

評価部位	評価応力	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)	1.5	135.0	0.02
主桁	曲げ応力度 (N/mm ²)	2.4	135.0	0.02
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.9	75.0	0.02
	合成応力度 (N/mm ²)	2.9	148.5	0.02
補助縦桁	曲げ応力度 (引張) (N/mm ²)	0.6	135.0	0.01
	曲げ応力度 (圧縮) (N/mm ²)	0.4	116.1	0.01
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.2	75.0	0.01
	合成応力度 (N/mm ²)	0.7	148.5	0.01
吊り金具 (扉体, 固定部)	曲げ応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	5.0	135.0	0.04
	せん断応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	0.6	75.0	0.01
	合成応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	5.1	148.5	0.04
	曲げ応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	4.9	135.0	0.04
	せん断応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.5	75.0	0.02
	合成応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	5.5	148.5	0.04
	せん断応力度 (鉛直方向) 〈B 断面〉 (N/mm ²)	16.5	75.0	0.22
吊り手	曲げ応力度 (水平方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	31.8	135.0	0.24
	引張応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	5.2	135.0	0.04
	合成応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	37.0	135.0	0.28
	せん断応力度 〈D 断面〉 (N/mm ²)	11.7	75.0	0.16

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

評価部位	評価応力	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
吊りピン	曲げ応力度〈E断面〉(N/mm ²)	31.1	135.0	0.24
	せん断応力度〈F断面〉 (N/mm ²)	5.1	75.0	0.07
集水桝（戸当り部コン クリート）	支圧応力度(N/mm ²)	0.1	8.8	0.01
	せん断応力度(N/mm ²)	0.01	0.6	0.02
アンカーボルト 〈M24〉	引抜き力 (N/本)	5600	59000	0.10
	せん断力 (N/本)	5600	27100	0.21

表 6-1(3) 耐震評価結果（屋外排水路逆止弁⑦）

評価部位	評価応力	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)	1.4	135.0	0.02
吊り金具 (扉体, 固定部)	曲げ応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.3	135.0	0.01
	せん断応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	0.1	75.0	0.01
	合成応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.3	148.5	0.01
	曲げ応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.0	135.0	0.01
	せん断応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	0.2	75.0	0.01
	合成応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.1	148.5	0.01
	せん断応力度 (鉛直方向) 〈B 断面〉 (N/mm ²)	1.0	75.0	0.02
吊り手	曲げ応力度 (水平方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	6.8	135.0	0.06
	引張応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	0.5	135.0	0.01
	合成応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	7.3	135.0	0.06
	せん断応力度 〈D 断面〉 (N/mm ²)	1.3	75.0	0.02
吊りピン	曲げ応力度 〈E 断面〉 (N/mm ²)	2.4	135.0	0.02
	せん断応力度 〈F 断面〉 (N/mm ²)	0.4	75.0	0.01
戸当り	支圧応力度 (N/mm ²)	0.03	202.5	0.01
集水桝 (戸当り部コン クリート)	支圧応力度 (N/mm ²)	0.01	8.8	0.01
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.003	0.6	0.01
アンカーボルト 〈M16〉	引抜き力 (N/本)	2177	24800	0.09
	せん断力 (N/本)	2177	15300	0.15

表 6-1(4) 耐震評価結果（屋外排水路逆止弁⑧-1）

評価部位	評価応力	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)	1.0	135.0	0.01
吊り金具 (扉体, 固定部)	曲げ応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	2.0	135.0	0.02
	せん断応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	0.2	75.0	0.01
	合成応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	2.0	148.5	0.02
	曲げ応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.2	135.0	0.01
	せん断応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	0.3	75.0	0.01
	合成応力度 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.3	148.5	0.01
	せん断応力度 (鉛直方向) 〈B 断面〉 (N/mm ²)	1.5	75.0	0.02
	吊り手	曲げ応力度 (水平方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	10.9	135.0
せん断応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)		0.6	135.0	0.01
合成応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)		11.5	135.0	0.09
せん断応力度 〈D 断面〉 (N/mm ²)		1.8	75.0	0.03
吊りピン	曲げ応力度 〈E 断面〉 (N/mm ²)	2.8	135.0	0.03
	せん断応力度 〈F 断面〉 (N/mm ²)	0.5	75.0	0.01
戸当り	支圧応力度 (N/mm ²)	0.02	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)	0.01	8.8	0.01
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.002	0.6	0.01
アンカーボルト 〈M12〉	引抜き力 (N)	752	14000	0.06
	せん断力 (N)	752	9700	0.08

表 6-1(5) 耐震評価結果 (屋外排水路逆止弁⑧-2)

評価部位	評価応力	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)	1.4	135.0	0.02
吊り金具 (扉体、固定部)	曲げ応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.7	135.0	0.02
	せん断応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	0.2	75.0	0.01
	合成応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.7	148.5	0.02
	曲げ応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.4	135.0	0.02
	せん断応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	0.3	75.0	0.01
	合成応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.5	148.5	0.02
	せん断応力度 (鉛直方向) 〈B 断面〉 (N/mm ²)	1.4	75.0	0.02
吊り手	曲げ応力度 (水平方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	8.6	135.0	0.07
	引張応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	0.7	135.0	0.01
	合成応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	9.3	135.0	0.07
	せん断応力度 〈D 断面〉 (N/mm ²)	1.7	75.0	0.03
吊りピン	曲げ応力度 〈E 断面〉 (N/mm ²)	3.2	135.0	0.03
	せん断応力度 〈F 断面〉 (N/mm ²)	0.6	75.0	0.01
戸当り	支圧応力度 (N/mm ²)	0.03	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)	0.02	8.8	0.01
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.004	0.6	0.01
アンカーボルト 〈M16〉	引抜き力 (N/本)	2663	26300	0.11
	せん断力 (N/本)	2663	18300	0.15

表 6-1(6) 耐震評価結果（屋外排水路逆止弁⑨）（1/2）

評価部位	評価応力	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)	2.2	135.0	0.02
主桁	曲げ応力度 (N/mm ²)	3.2	135.0	0.03
	せん断応力度 (N/mm ²)	1.2	75.0	0.02
	合成応力度 (N/mm ²)	3.8	148.5	0.03
補助縦桁	曲げ応力度（引張） (N/mm ²)	0.5	135.0	0.01
	曲げ応力度（圧縮） (N/mm ²)	0.4	117.5	0.01
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.2	75.0	0.01
	合成応力度 (N/mm ²)	0.61	148.5	0.01
吊り金具 （扉体，固定部）	曲げ応力度（水平方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	9.7	135.0	0.08
	せん断応力度（水平方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	1.3	75.0	0.02
	合成応力度（水平方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	10.0	148.5	0.07
	曲げ応力度（鉛直方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	4.9	135.0	0.04
	せん断応力度（鉛直方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	1.5	75.0	0.02
	合成応力度（鉛直方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	5.5	148.5	0.04
	せん断応力度（鉛直方向） 〈B断面〉 (N/mm ²)	22.3	75.0	0.30
吊り手	曲げ応力度（水平方向） 〈C断面〉 (N/mm ²)	49.9	135.0	0.37
	引張応力度（鉛直方向） 〈C断面〉 (N/mm ²)	4.4	135.0	0.04
	合成応力度（鉛直方向） 〈C断面〉 (N/mm ²)	54.3	135.0	0.41
	せん断応力度 〈D断面〉 (N/mm ²)	13.1	75.0	0.18

表 6-1(6) 耐震評価結果（屋外排水路逆止弁⑨）（2/2）

評価部位	評価応力	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
吊りピン	曲げ応力度〈E断面〉(N/mm ²)	47.5	135.0	0.36
	せん断応力度〈F断面〉 (N/mm ²)	6.8	75.0	0.10
集水桝（戸当り部コン クリート）	支圧応力度(N/mm ²)	0.11	8.8	0.02
	せん断応力度(N/mm ²)	0.01	0.6	0.02
アンカーボルト 〈M24〉	引抜き力 (N/本)	6750	63400	0.11
	せん断力 (N/本)	6750	35300	0.20

表 6-1(7) 耐震評価結果 (屋外排水路逆止弁⑩, ⑪, ⑫)

評価部位	評価応力	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)	4.2	135.0	0.04
吊り金具 (扉体, 固定部)	曲げ応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	5.0	135.0	0.04
	せん断応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	0.6	75.0	0.01
	合成応力度 (水平方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	5.1	148.5	0.04
	曲げ応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.1	135.0	0.01
	せん断応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	0.2	75.0	0.01
	合成応力度 (鉛直方向) 〈A 断面〉 (N/mm ²)	1.2	148.5	0.01
	せん断応力度 (鉛直方向) 〈B 断面〉 (N/mm ²)	2.5	75.0	0.04
吊り手	曲げ応力度 (水平方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	25.3	135.0	0.19
	引張応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	0.5	135.0	0.01
	合成応力度 (鉛直方向) 〈C 断面〉 (N/mm ²)	25.8	135.0	0.20
	せん断応力度 〈D 断面〉 (N/mm ²)	3.1	75.0	0.05
吊りピン	曲げ応力度 〈E 断面〉 (N/mm ²)	5.8	135.0	0.05
	せん断応力度 〈F 断面〉 (N/mm ²)	1.1	75.0	0.02
戸当り	支圧応力度 (N/mm ²)	0.1	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)	0.04	8.8	0.01
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.01	0.6	0.02
アンカーボルト 〈M16〉	引抜き力 (N/本)	4562	26300	0.18
	せん断力 (N/本)	4562	18300	0.25

表 6-1(8) 耐震評価結果（屋外排水路逆止弁⑬）（1/2）

評価部位	評価応力	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)	2.5	135.0	0.02
主桁	曲げ応力度 (N/mm ²)	3.9	135.0	0.03
	せん断応力度 (N/mm ²)	1.4	75.0	0.02
	合成応力度 (N/mm ²)	4.6	148.5	0.04
補助縦桁	曲げ応力度（引張） (N/mm ²)	0.9	135.0	0.01
	曲げ応力度（圧縮） (N/mm ²)	0.7	116.1	0.01
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.3	75.0	0.01
	合成応力度 (N/mm ²)	1.0	148.5	0.01
吊り金具 （扉体，固定部）	曲げ応力度（水平方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	8.2	135.0	0.07
	せん断応力度（水平方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	0.9	75.0	0.02
	合成応力度（水平方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	8.3	148.5	0.06
	曲げ応力度（鉛直方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	2.7	135.0	0.02
	せん断応力度（鉛直方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	0.8	75.0	0.02
	合成応力度（鉛直方向） 〈A断面〉 (N/mm ²)	3.0	148.5	0.03
	せん断応力度（鉛直方向） 〈B断面〉 (N/mm ²)	14.9	75.0	0.20
吊り手	曲げ応力度（水平方向） 〈C断面〉 (N/mm ²)	52.4	135.0	0.39
	引張応力度（鉛直方向） 〈C断面〉 (N/mm ²)	2.9	135.0	0.03
	合成応力度（鉛直方向） 〈C断面〉 (N/mm ²)	55.3	135.0	0.41
	せん断応力度 〈D断面〉 (N/mm ²)	10.5	75.0	0.14

表 6-1(8) 耐震評価結果（屋外排水路逆止弁⑬）（2/2）

評価部位	評価応力	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
吊りピン	曲げ応力度〈E断面〉(N/mm ²)	28.0	135.0	0.21
	せん断応力度〈F断面〉 (N/mm ²)	4.5	75.0	0.06
集水桝（戸当り部コン クリート）	支圧応力度(N/mm ²)	0.1	8.8	0.02
	せん断応力度(N/mm ²)	0.02	0.6	0.04
アンカーボルト 〈M24〉	引抜き力 (N/本)	4360	63400	0.07
	せん断力 (N/本)	4360	35300	0.13

7. 集水樹の耐震評価

7.1 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、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価、構造部材の支持性能評価（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7-1に、構造図を図7-2に、蓋の材料一覧を表7-1に示す。

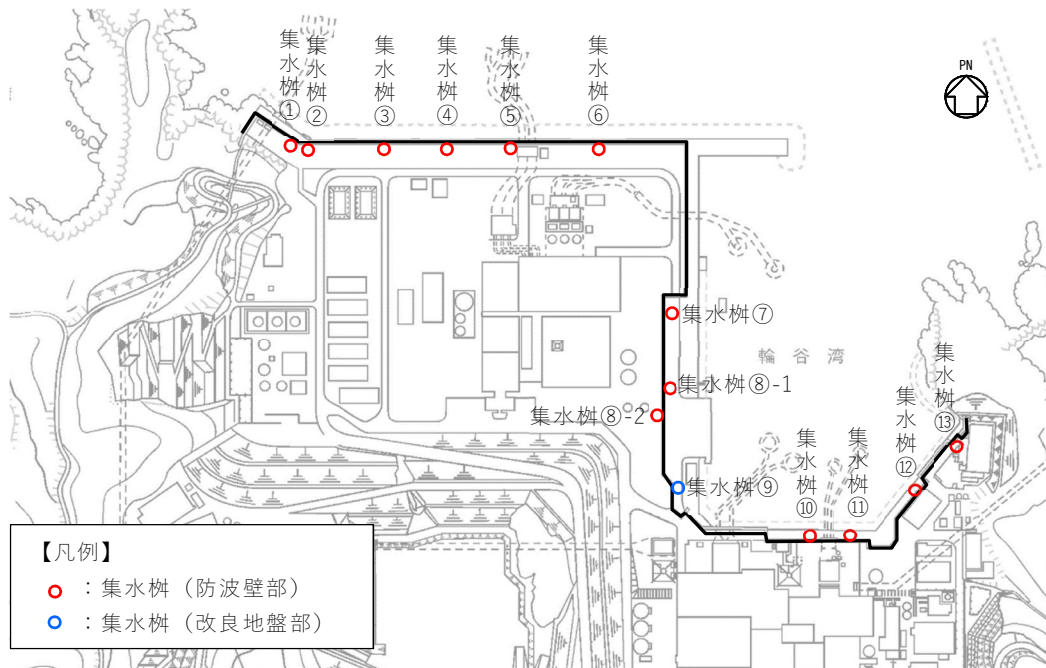
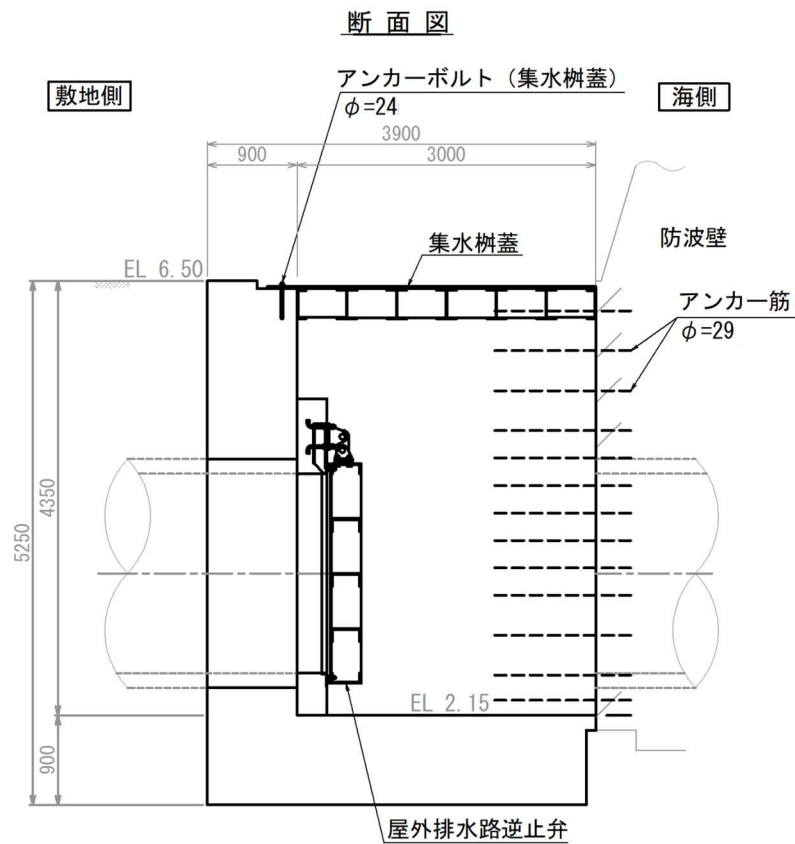
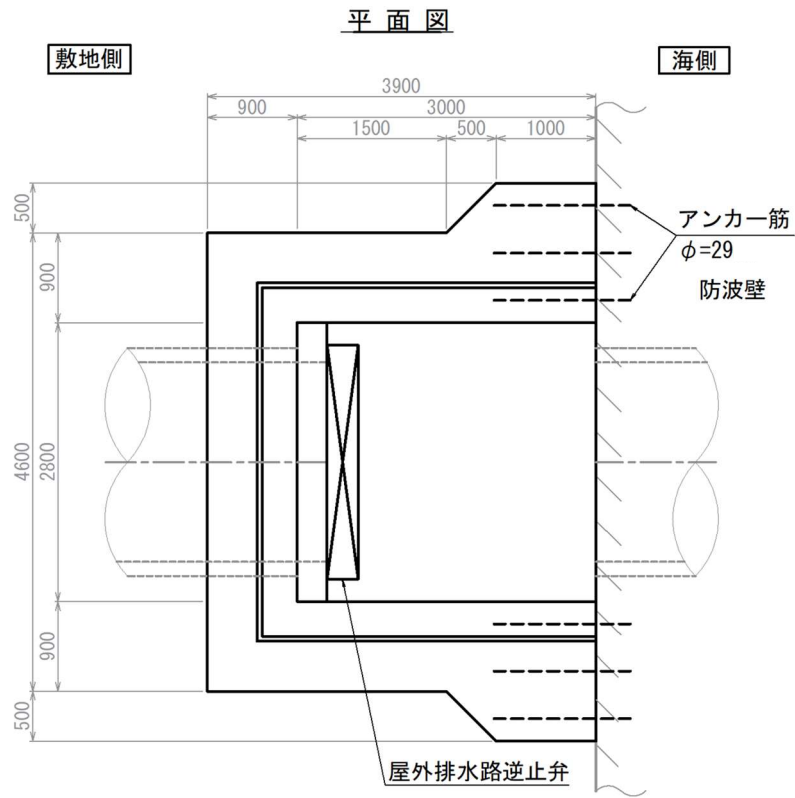


図7-1 集水樹位置図



(単位: mm)

図 7-2(1) 集水柵 (防波壁部, 屋外排水路逆止弁①) 構造図

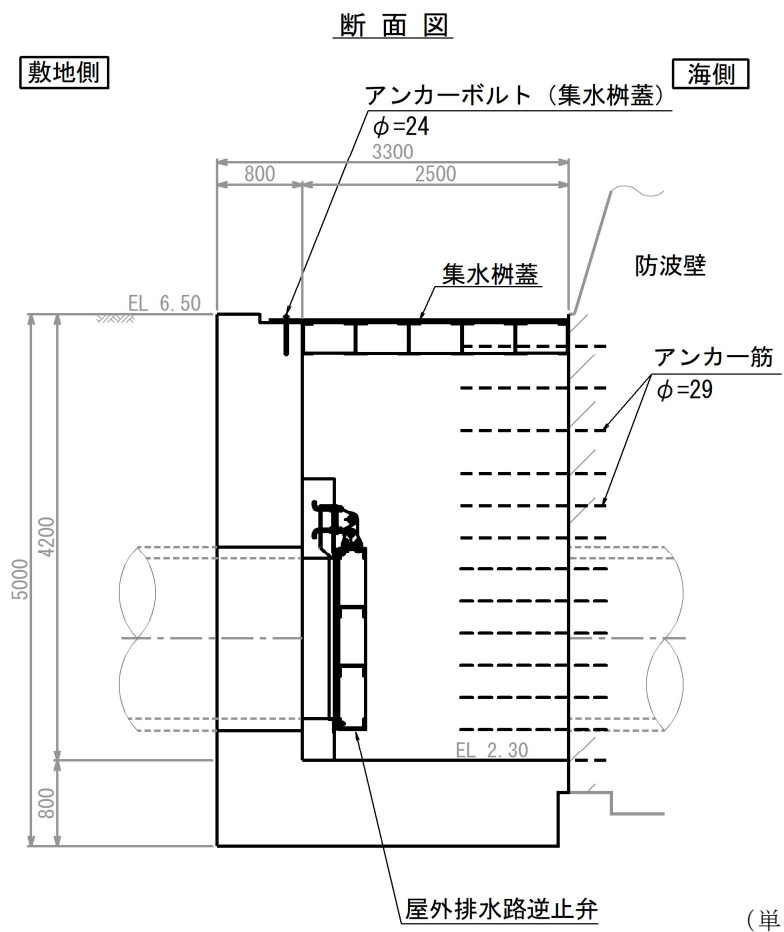
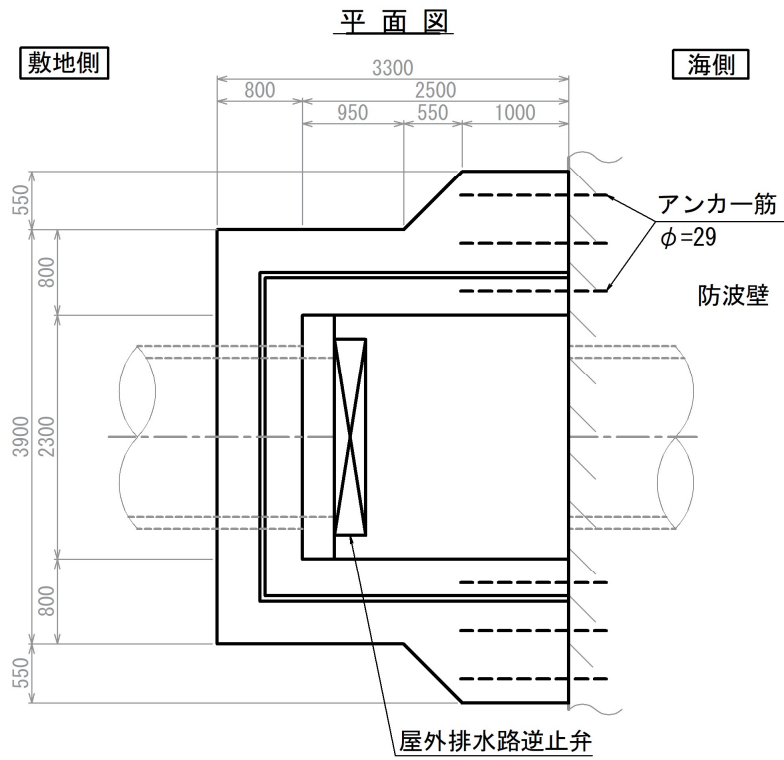
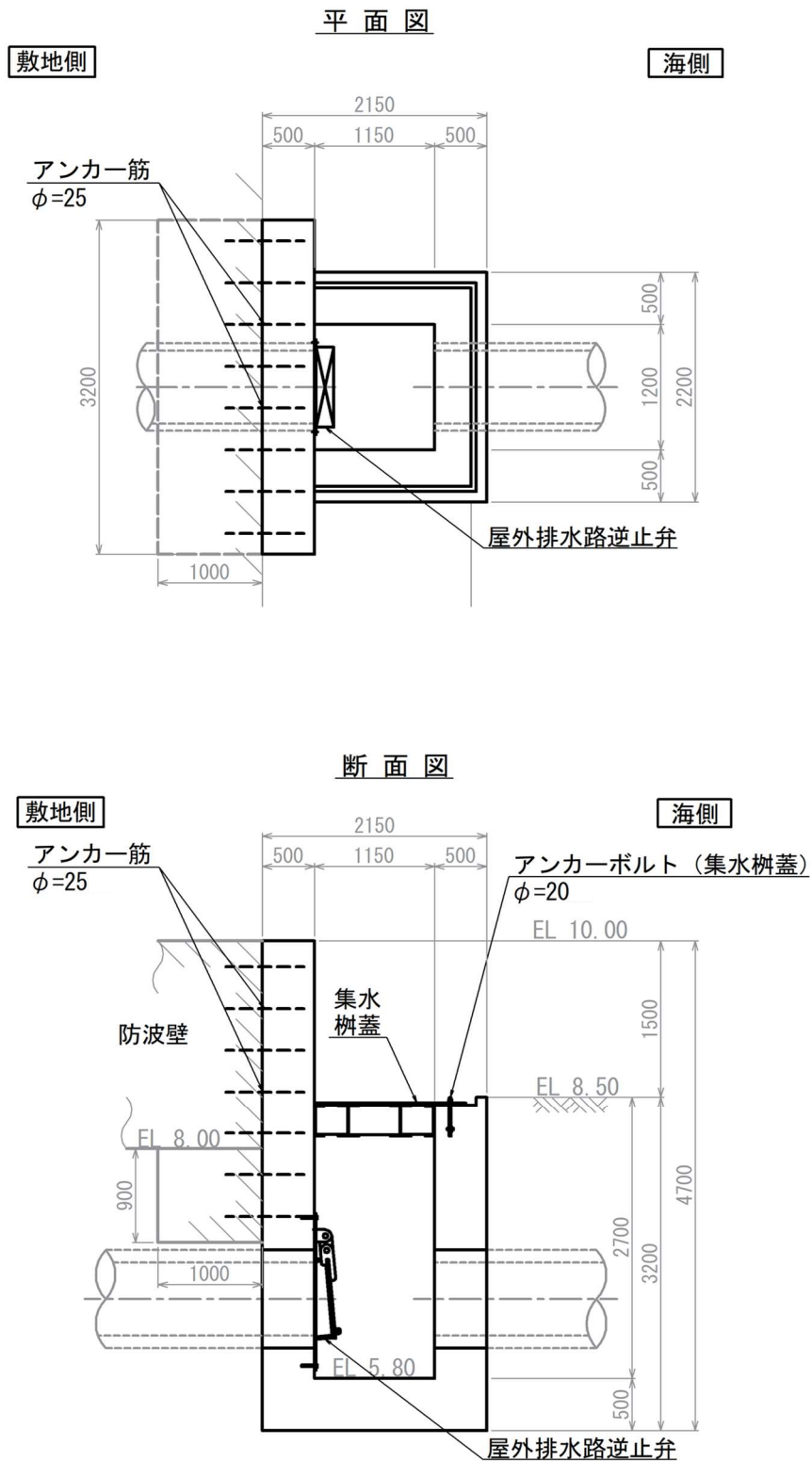


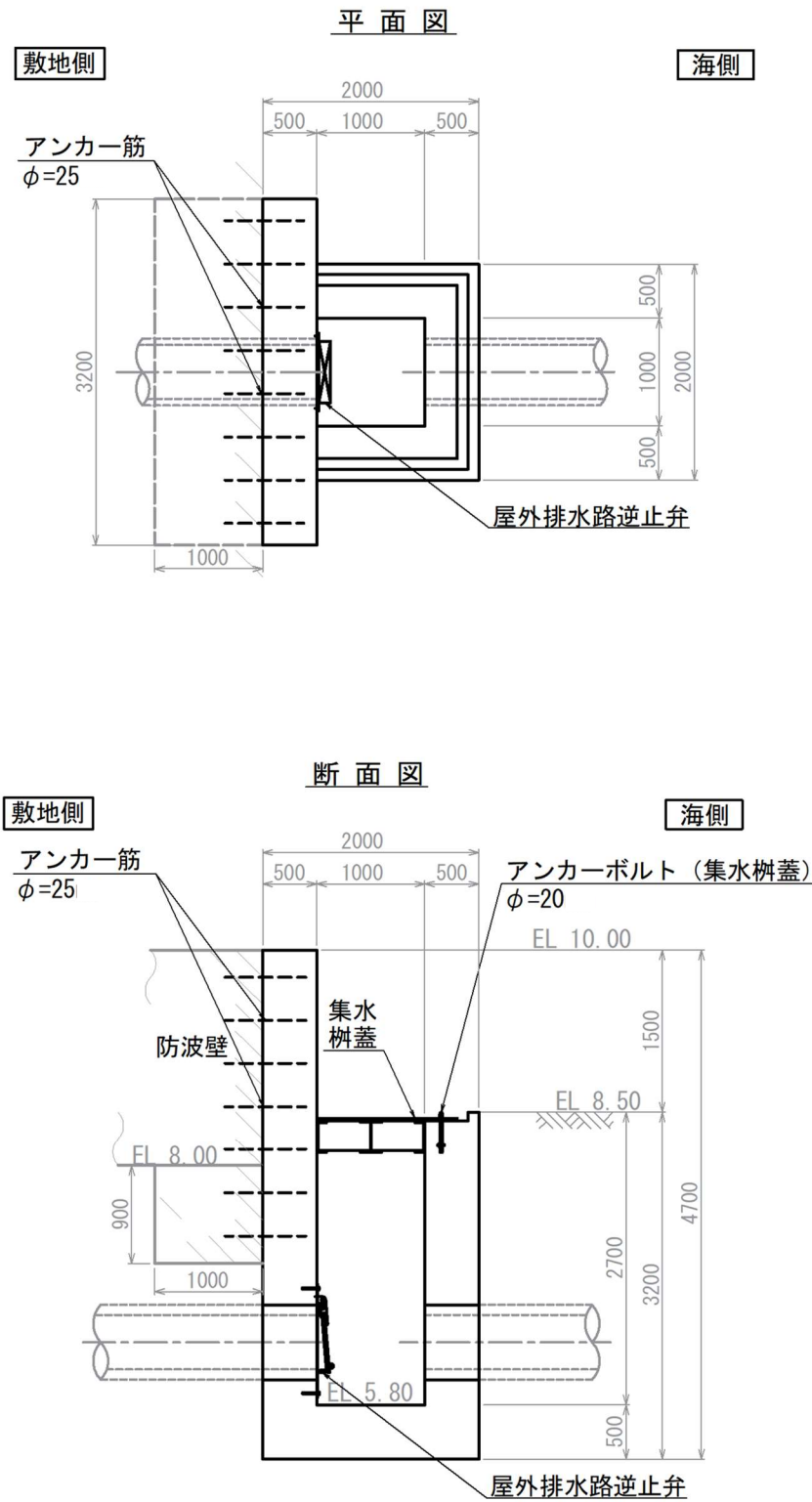
図 7-2(2) 集水柵 (防波壁部, 屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥)構造図



(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

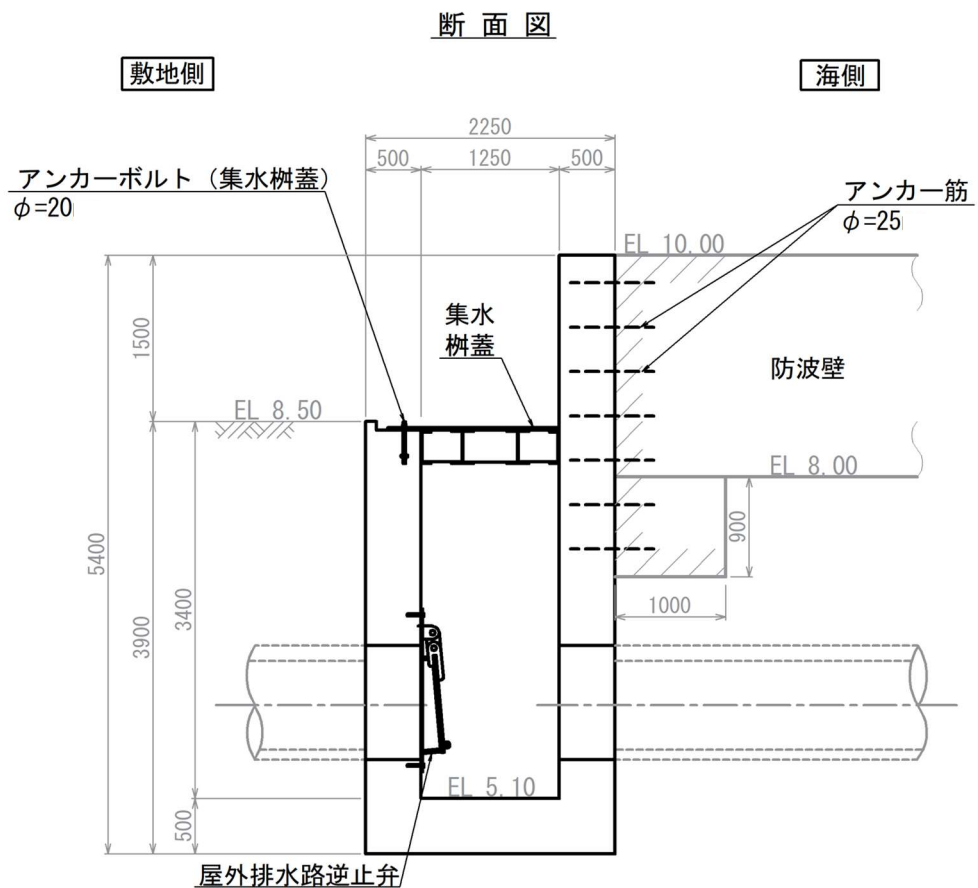
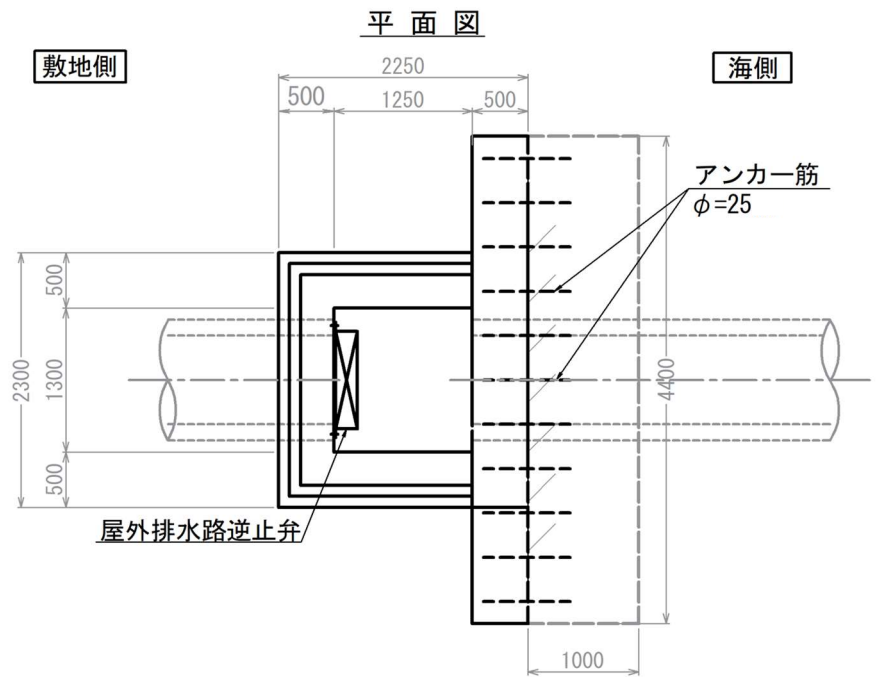
図 7-2(3) 集水柵 (防波壁部, 屋外排水路逆止弁⑦) 構造図



(単位:mm)

注：集水枘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

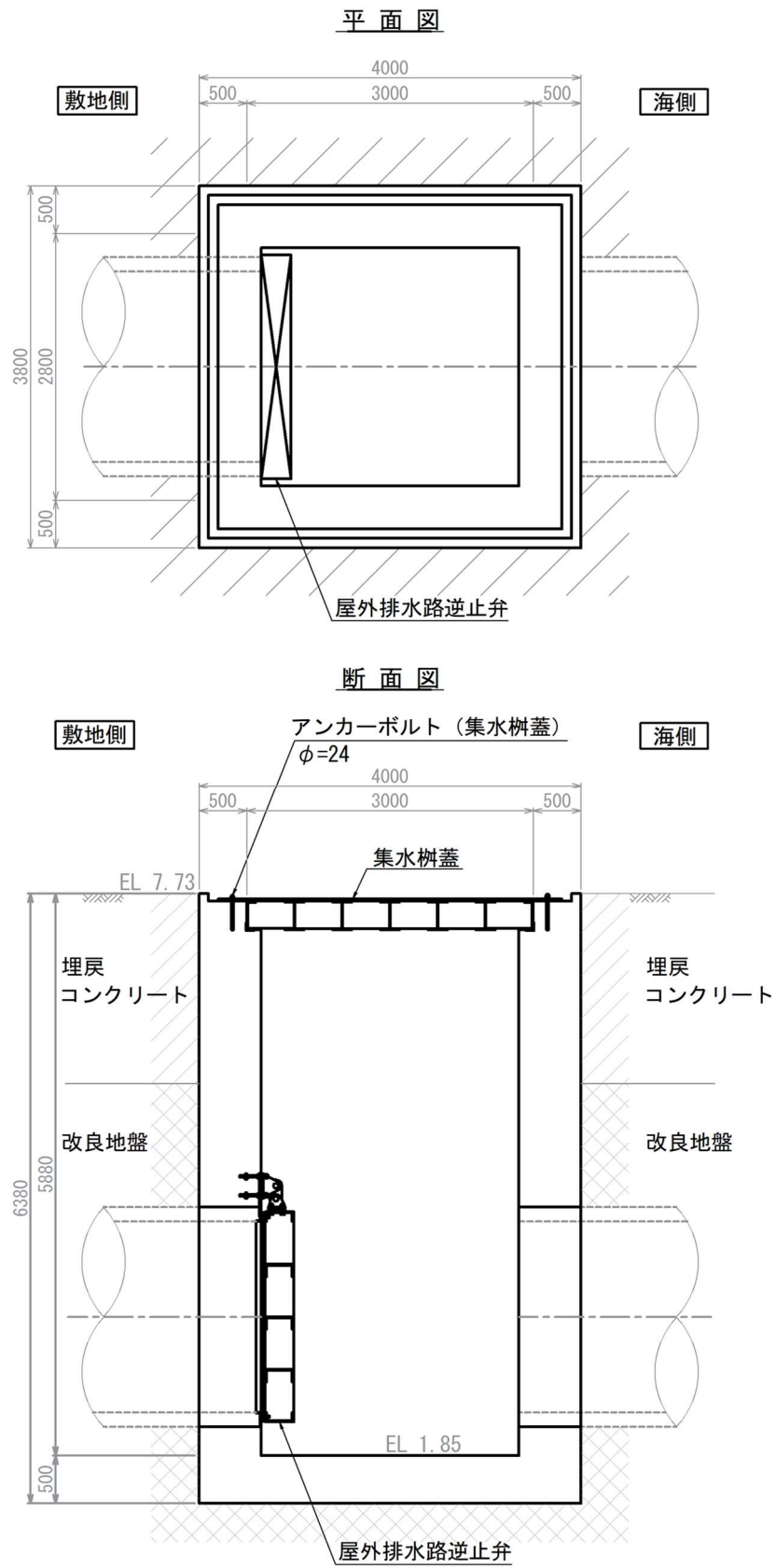
図 7-2(4) 集水枘(防波壁部, 屋外排水路逆止弁⑧-1)構造図



(単位:mm)

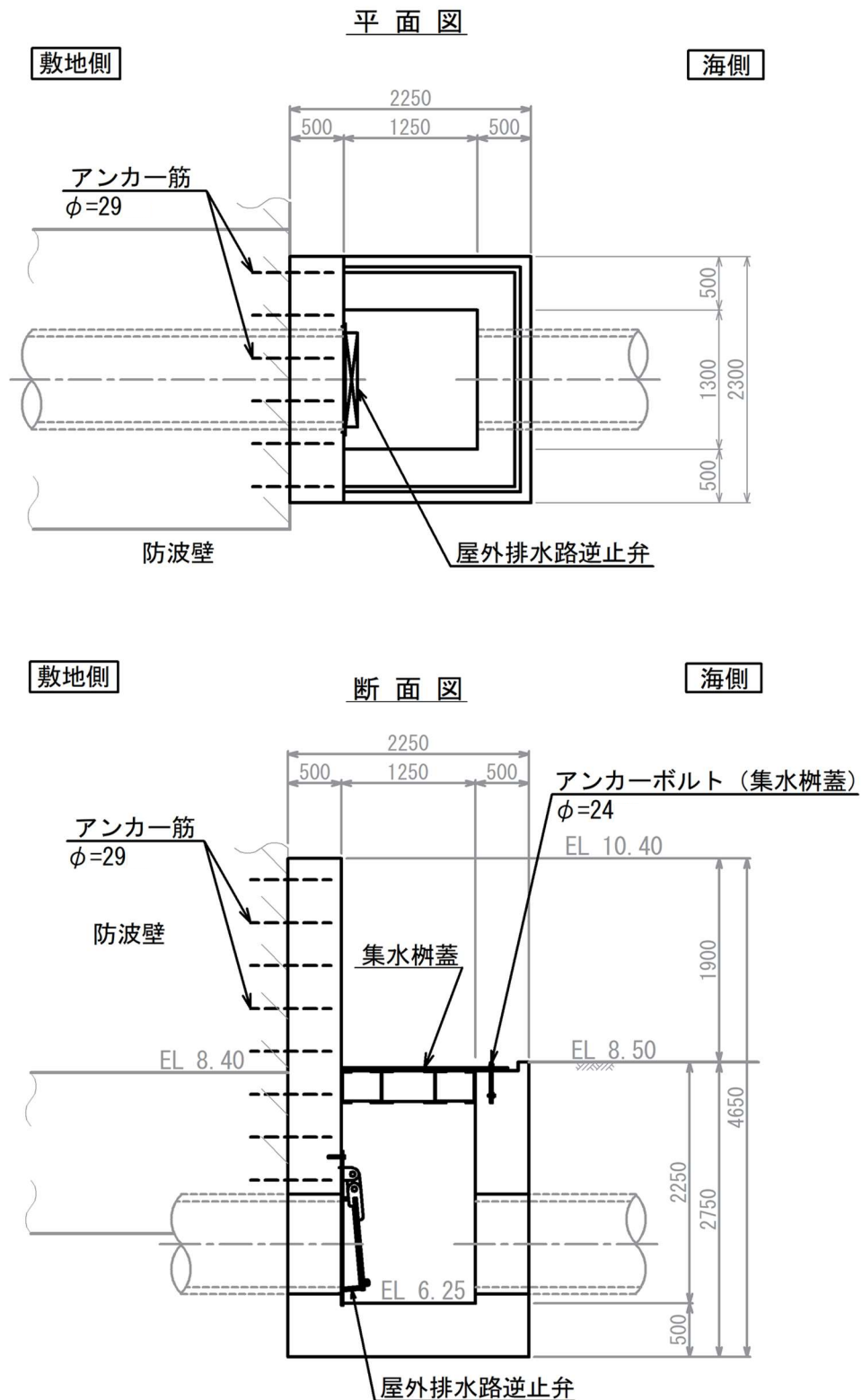
注：集水柵のアンカー筋固定のため EL 8.00 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

図 7-2(5) 集水柵(防波壁部, 屋外排水路逆止弁⑧-2)構造図



(単位:mm)

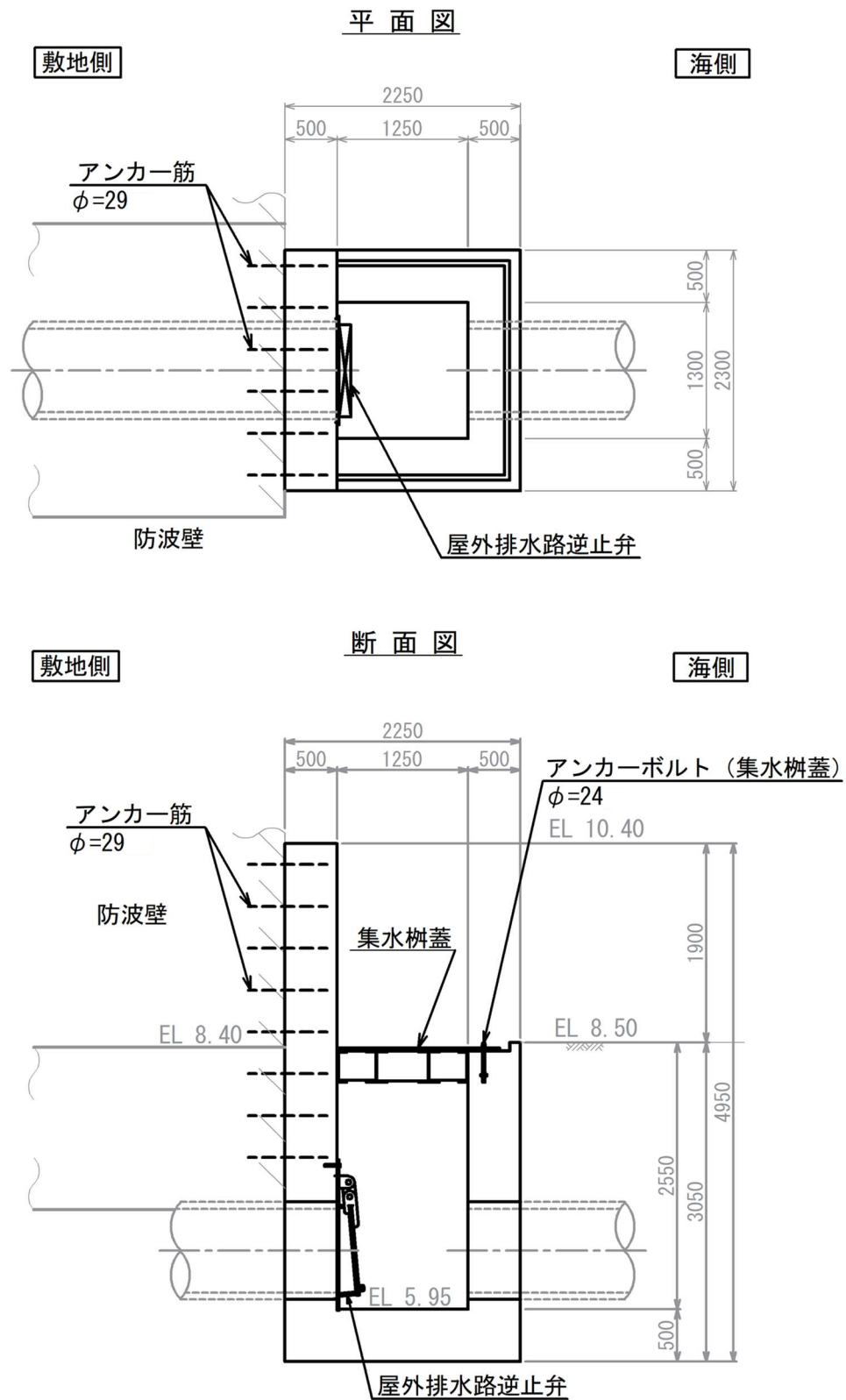
図 7-2 (6) 集水桝(改良地盤部, 屋外排水路逆止弁⑨)構造図



(単位:mm)

注：集水樹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

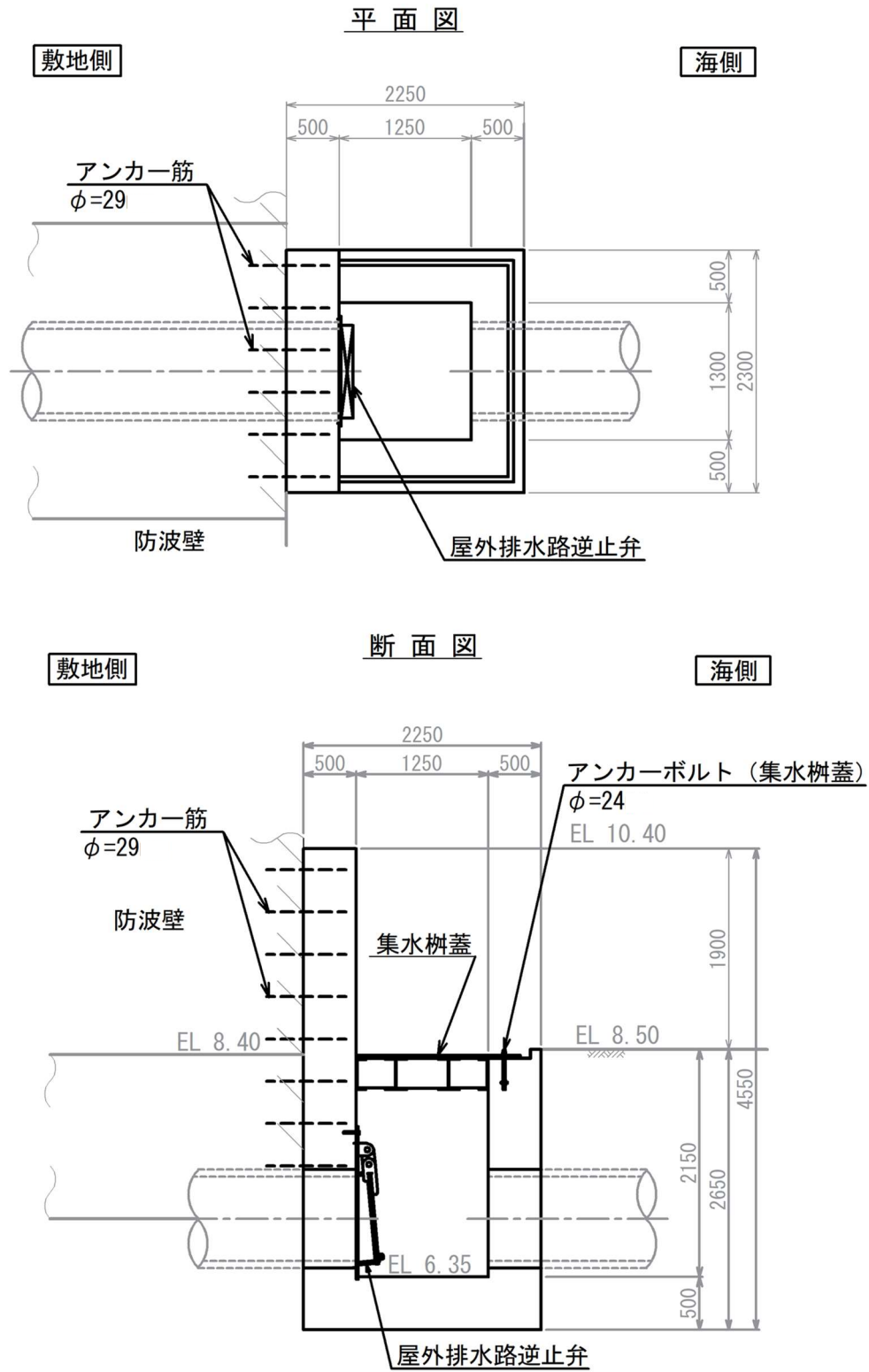
図 7-2(7) 集水樹(防波壁部, 屋外排水路逆止弁⑩)構造図



(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

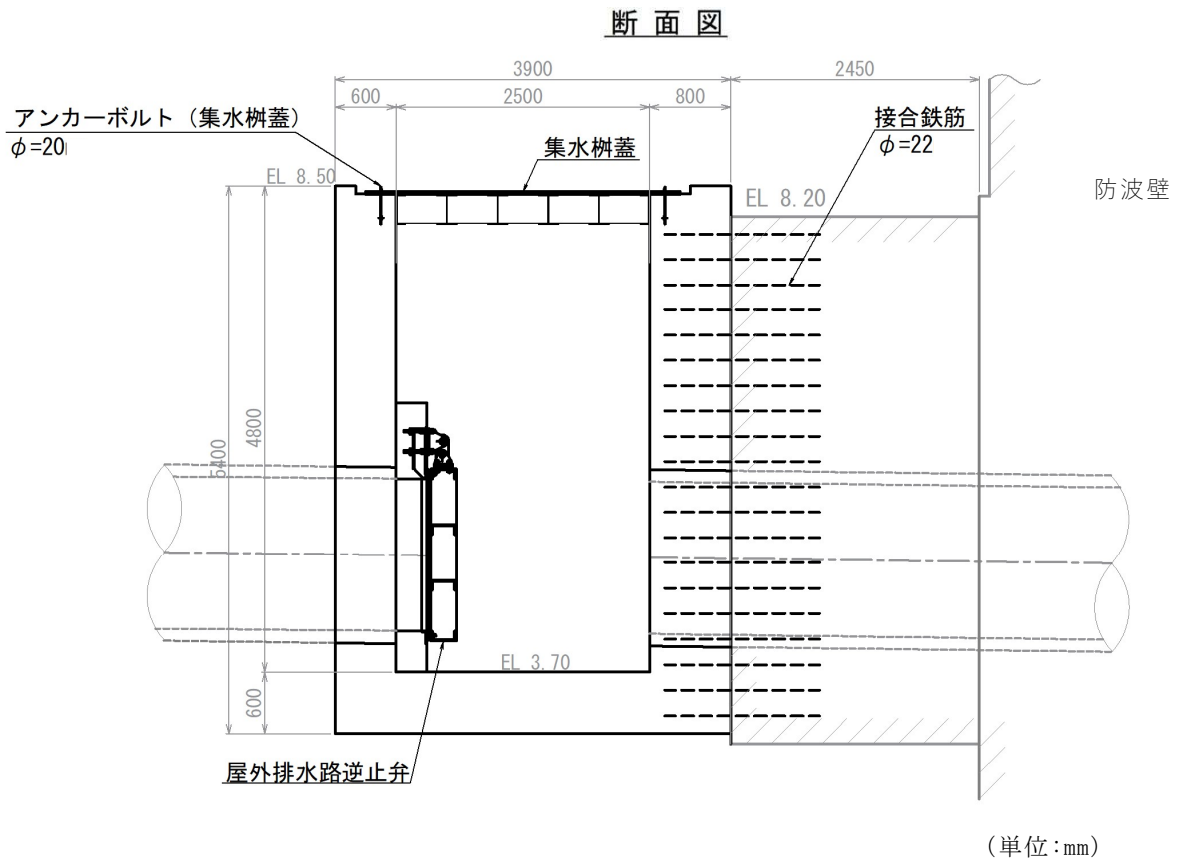
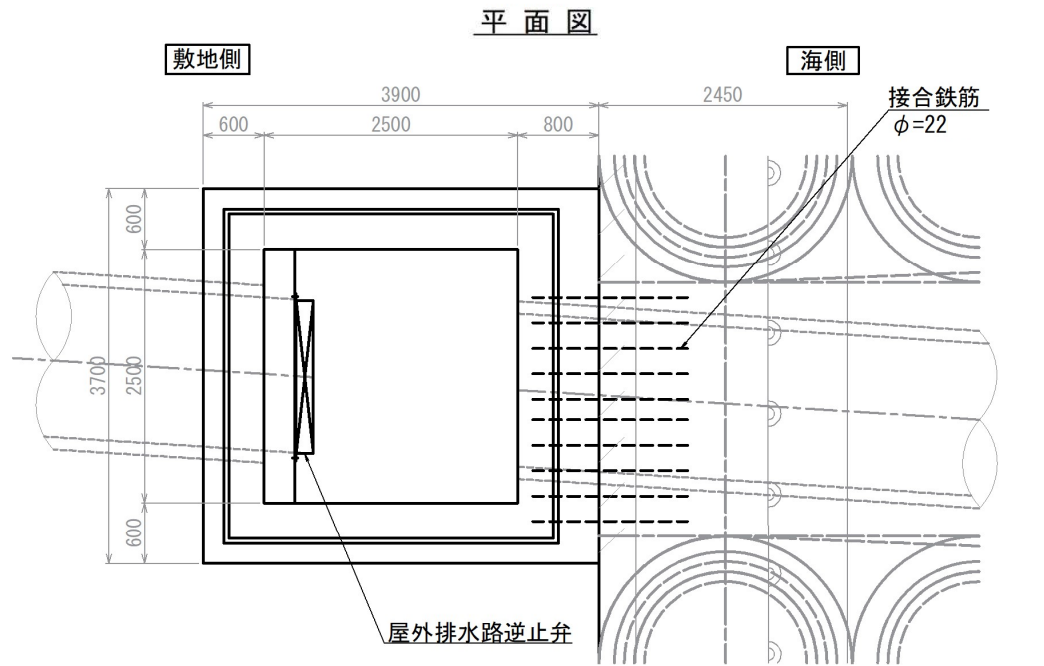
図 7-2(8) 集水柵(防波壁部, 屋外排水路逆止弁①)構造図



(単位:mm)

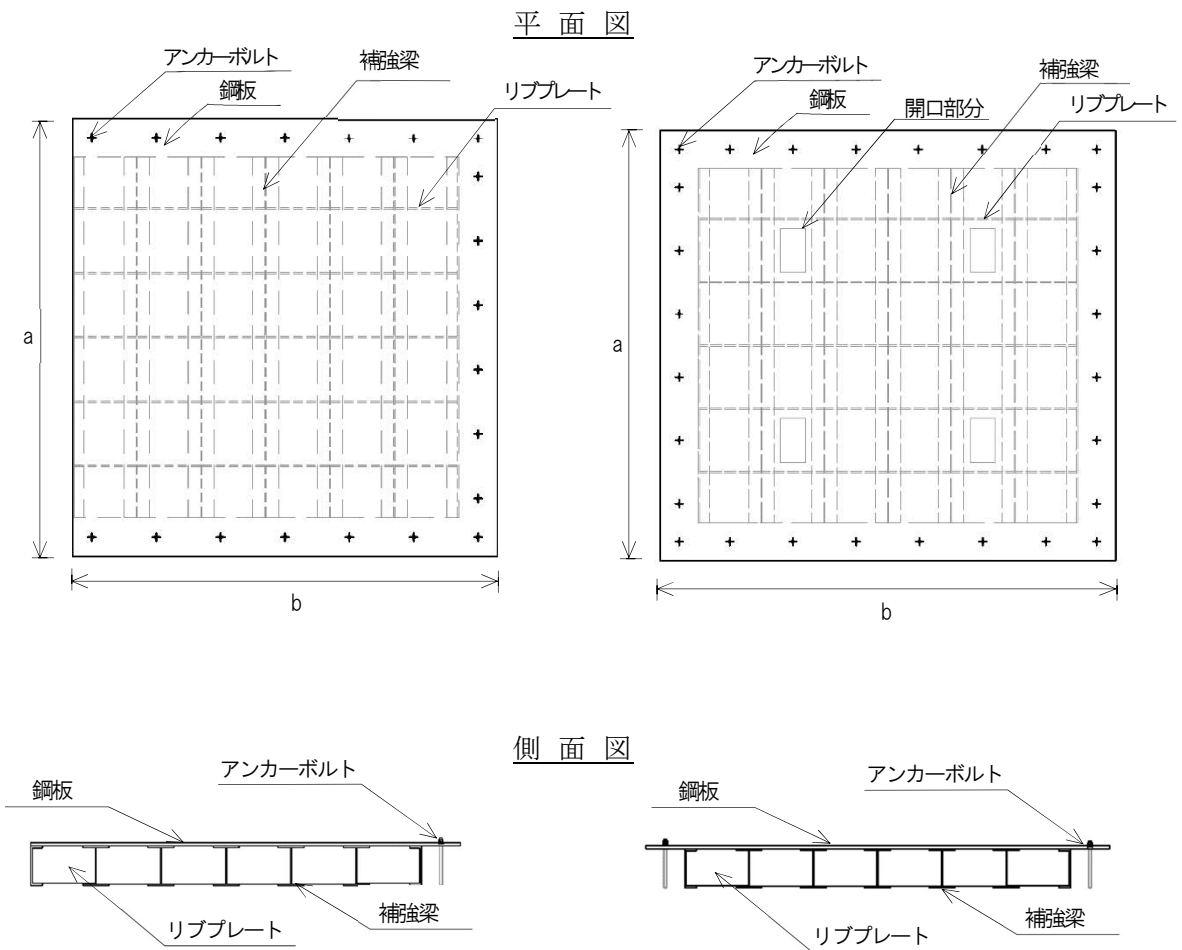
注：集水柵のアンカー筋固定のため EL 8.40 より下方に防波壁の躯体コンクリートを打ち増し

図 7-2(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 7-2(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 7-2(11) 集水桝蓋 構造図

表 7-1 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

7.2 評価方針

集水樹の耐震評価は、「8. 集水樹の耐震評価方法」に示す方法により評価し、「9. 集水樹の耐震評価結果」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。

集水樹の耐震評価においては、その構造を踏まえ、地震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。耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 集水樹（防波壁部）

集水樹の耐震評価は、屋外排水路逆止弁と同様に、集水樹①，②，③，④，⑤，⑥の耐震評価については、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」により得られた地震荷重に対して、集水樹⑦，⑧-1，⑧-2の耐震評価については、VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」により得られた地震荷重に対して、集水樹⑩，⑪，⑫，⑬の耐震評価については、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」により得られた地震荷重に対して、設計基準対象施設の評価として、表7-2の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価及び集水樹の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、発生するせん断力が許容限界以下であることを確認する。

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又は接合鉄筋により固定することから、防波壁との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）の耐震評価フローを図7-3に示す。

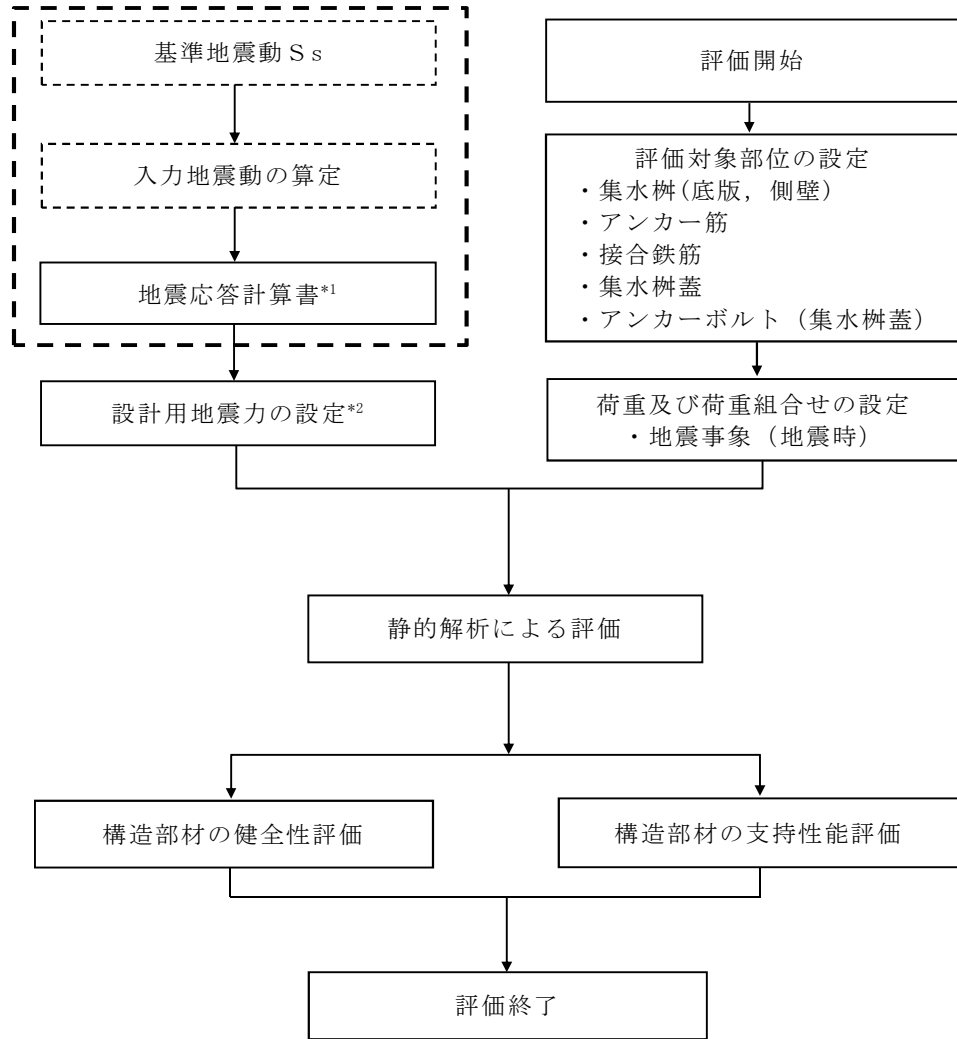
表 7-2(1) 集水桝（防波壁部）の評価項目
 (集水桝①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧-1, ⑧-2, ⑩, ⑪, ⑫)

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)	発生するせん断力が許容限界を下回ることを確認	許容せん断力
止水性を損わないこと	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

表 7-2(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)	発生するせん断力が許容限界を下回ることを確認	許容せん断力
止水性を損わないこと	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

VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」
 VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」
 VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」



注記*1：地震応答解析は，VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」，
 VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」，及び
 VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」の結果を用いる。
 *2：地震応答解析にて算出された最大加速度による設計用地震力を設定する。

図 7-3 集水柵（防波壁部）の耐震評価フロー

(2) 集水桝（改良地盤部）

集水桝（改良地盤部）の耐震評価は地震応答解析により得られた地震荷重に対して、設計基準対象施設の評価として、表 7-3 及び図 7-4 に示すとおり構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価においては、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき応力解析による評価を行うことで、地震時の構造強度の確認を行う。

基準地震動 S_s を対象とした地震応答解析により集水桝位置での変位を抽出するとともに、フレーム解析に用いる地盤ばね設定のため等価剛性を算出する。

次に、集水桝を線形はり要素にてモデル化し、応答変位法によるフレーム解析を実施する。地震荷重から算定した断面力に基づき発生応力を算出し、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）の耐震評価フローを図 7-4 に示す。

表 7-3 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
		集水桝蓋		
		アンカーボルト (集水桝蓋)	発生するせん断力が許容限界を下回ることを確認	許容せん断力
	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。

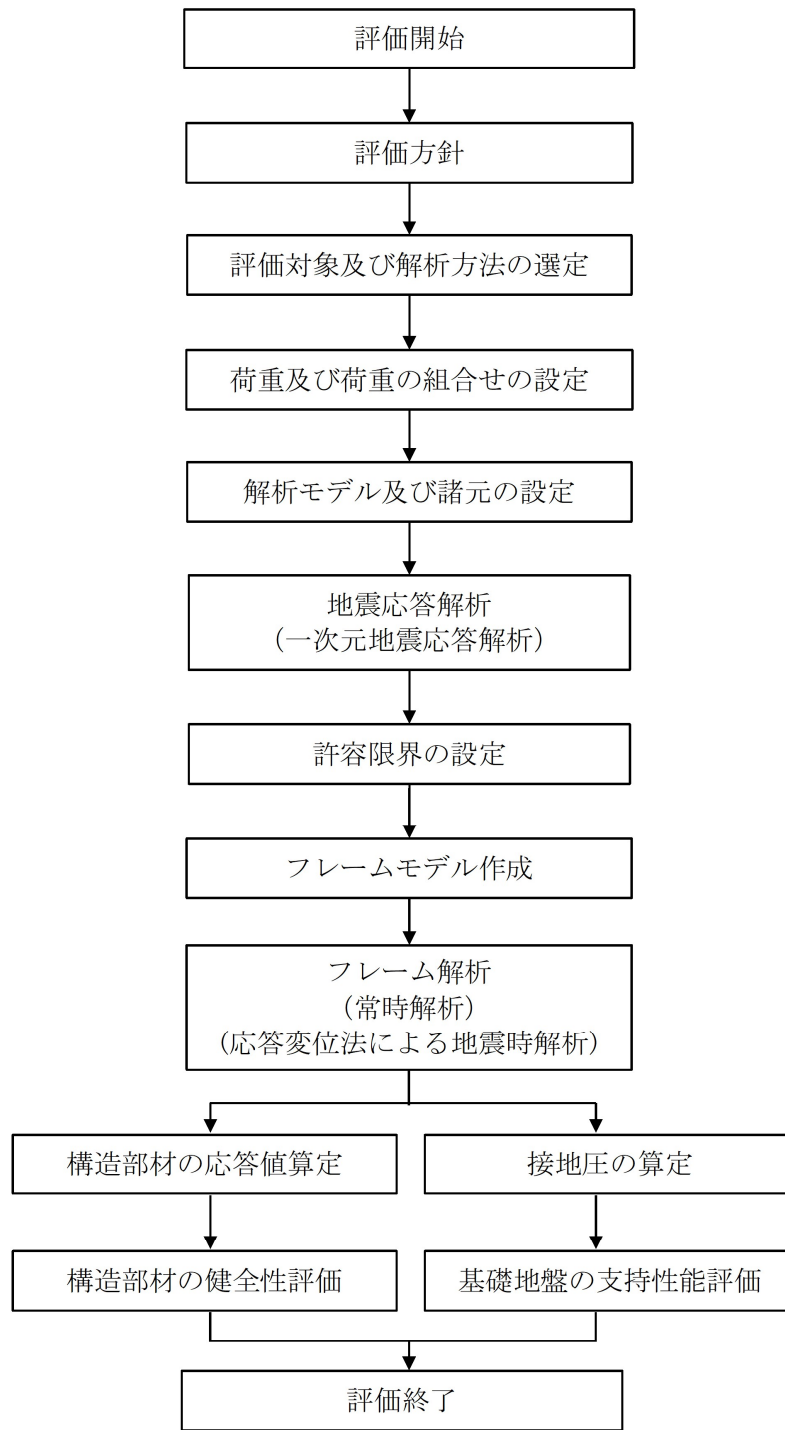


図 7-4 集水柵（改良地盤部）の耐震評価フロー
（集水柵⑨）

7.3 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) 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)
- (3) 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)
- (4) 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)
- (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)

8. 集水桝の耐震評価方法

8.1 設計用地震力及び評価対象部位

8.1.1 集水桝（防波壁部）

(1) 設計用地震力

集水桝（防波壁部）の設計用地震力は「5.4 設計用地震力」に示す地震力とする。

(2) 評価対象部位

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。

8.1.2 集水桝（改良地盤部）

(1) 設計用地震力

集水桝（改良地盤部）の設計用地震力は「5.4 設計用地震力」に示す地震力とする。

(2) 評価対象部位

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。

8.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

8.2.1 荷重の設定

集水桝の耐震評価には、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蓋の荷重を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重は、発電所最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より、観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）に平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した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により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s による地震力を考慮する。

8.2.2 荷重の組合せ

集水桝における荷重の組合せを表8-1に示す。

表 8-1(1) 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時	$G + P + P_s + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

P_s : 積雪荷重

S_s : 地震荷重

表 8-1(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。
	外水圧		—	外水圧は考慮しない。
	内水圧		—	内水圧は考慮しない。
	積雪荷重		○	積雪荷重 (0.7kN/m ²) を集水柵蓋に対して考慮する。
	風荷重		—	風荷重は考慮しない。
偶発 荷重	水平地震動		○	基準地震動 S _s による水平及び鉛直同時加振を考慮する。
	鉛直地震動		○	
	動水圧		—	動水圧は考慮しない。
	地震時土圧		○	基準地震動 S _s による地震応答解析により設定する。

8.3 許容限界

8.3.1 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8-2に示す短期許容応力度とする。

表8-2 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）

8.3.2 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8-3に示す許容引張力及び許容せん断力とする。

表8-3 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	155.10	
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）		105.40	98.10	
集水桝（屋外排水路逆止弁⑧-2）		105.40	98.10	
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）		108.80	95.50	
集水桝（屋外排水路逆止弁⑫）		108.80	95.50	

(1) 許容限界の算定方法

(a) 許容引張力

イ 集水桙（屋外排水路逆止弁①，②，③，④，⑤，⑥，⑩，⑪，⑫）

アンカー筋 1 本当たりの許容引張力は，以下のアンカーメーカ式で算定されるアンカー筋の降伏により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容引張力 p_{a4} ，コンクリートの破壊により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容引張力 p_{a5} ，及び付着破壊により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容引張力 p_{a6} のうち小さい値とする。

$$p_{a4} = \phi_4 \times s \sigma_y \times s_c a$$

$$p_{a5} = \phi_5 \times 0.75 \times P_U$$

$$p_{a6} = \phi_6 \times 0.75 \times \tau_B \times \pi \times d_a \times L$$

ここで，

p_{a4} : アンカー筋の降伏により決まる許容引張力 (N)

p_{a5} : コンクリートの破壊により決まる許容引張力 (N)

p_{a6} : 接着系アンカーの付着破壊により決まる許容引張力 (N)

ϕ_i : 低減係数 (短期: $\phi_4 = 1.0$, $\phi_5 = \phi_6 = 0.6$)

$s \sigma_y$: アンカー筋の規格降伏強度 (N/mm²)

$s_c a$: アンカー筋の軸部断面積とねじ部有効断面積のうち小さい方の値 (mm²)

P_U : 最大引張強度 (N)

$$P_U = 0.31 \times \sqrt{F_c} \times A_c$$

A_c : 有効水平投影面積 (mm²)

$$A_c = \pi \times L_c \times (L_c + d)$$

L_c : コンクリートのコーン状破壊を想定した場合のコーン頂点深さ (mm)

$$L_c = 180 + 0.6 \times (L - 180)$$

F_c : コンクリート設計基準強度 (N/mm²)

0.75 : 各種アンカーボルト設計指針 (建築学会) のメカニカルアンカーボルトに準拠 (施工係数)

τ_B : 単位面積あたりの平均付着強度 (N/mm²)。 $\tau_B = \alpha_2 \times \sqrt{F_c / 21}$

α_2 : 付着強度係数 $\alpha_2 = 12$ (乾孔)

L : 埋込み長 (mm)

d_a : アンカー筋の径 (mm)

ロ 集水桝（屋外排水路逆止弁⑦，⑧-1，⑧-2）

アンカー筋 1 本当たりの許容引張力は，以下の「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」で算定されるアンカー筋の降伏により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容引張力 p_{a1} ，及びアンカー筋の付着力により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容引張力 p_{a3} のうち小さい値とする。

$$p_{a1} = \phi_1 \times s \sigma_y \times s c a$$

$$p_{a3} = \phi_3 \times \tau_a \times \pi \times d_a \times l_{ce}$$

ここで，

p_{a1} : アンカー筋の降伏により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容引張力 (kN)

p_{a3} : アンカー筋の付着力により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容引張力 (kN)

ϕ_i : 低減係数 (短期: $\phi_1=1.0$, $\phi_2=\phi_3=2/3$)

$s \sigma_y$: アンカー筋の規格降伏点強度 (N/mm²)

$s c a$: アンカー筋の断面積 (mm²)

d_a : アンカー筋の径 (mm)

l_{ce} : アンカー筋の強度算定用埋込み長さで，
 $l_{ce} = l_e - 2 d_a$ とする (mm)

l_e : アンカー筋の有効埋込み長さ (mm)

τ_a : アンカー筋の引張力に対する付着強度 (N/mm²)

$$\tau_a = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \tau_{bavg}$$

α_n : 付着強度の低減係数 ($n=1, 2, 3$)

$$\alpha_n = 0.5 (c_n / l_e) + 0.5$$

ただし， $(c_n / l_e) \geq 1.0$ の場合は $(c_n / l_e) = 1.0$ ， $l_e \geq 10 d_a$ の場合は $l_e = 10 d_a$ とする。

τ_{bavg} : アンカー筋の基本平均付着強度で表 8-4 から注入方式の有機系の値を用いる (N/mm²)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

c_n : へりあき寸法，又は，アンカー筋ピッチ a の 1/2 で $c_n = a_n / 2$ ($n=1 \sim 3$) とする (mm)

表 8-4 接着系アンカーの基本平均付着強度

	カプセル方式		注入方式
	有機系	無機系	有機系
普通コンクリート	$10 \sqrt{F_c / 21}$	$5 \sqrt{F_c / 21}$	$7 \sqrt{F_c / 21}$
軽量コンクリート	$8 \sqrt{F_c / 21}$	$4 \sqrt{F_c / 21}$	$5.6 \sqrt{F_c / 21}$

(b) 許容せん断力

イ 集水桝（屋外排水路逆止弁①，②，③，④，⑤，⑥，⑩，⑪，⑫）

アンカー筋 1 本当たりの許容せん断力 q_a は，埋込み短・長，埋込み位置（へりあきの有無），それぞれのケースに合わせて計算する。

一般に埋込み長が十分 ($L \geq 7d$)，かつ，へりあき寸法が十分に確保されている場合はボルトの軸部の破断で決まり，ボルトのせん断強度により算出する。

アンカーボルトの埋込み長が短い ($L < 7d$) 場合はアンカーボルトがコンクリートに押し付けられることによるコンクリートの支圧破壊の算定を行う。

さらに，アンカーボルトも埋込み位置として，へりあき寸法が十分に確保されていない場合は，有効水平投影面積 (A_{c1}) を用いてコンクリートの破壊についての算定を行う。

$$\text{埋込み長が } 7d \text{ 以上} \quad q_{a4} = \phi_4 \times 0.7 \times_s \sigma_y \times_{sc} a$$

$$\text{埋込み長が } 7d \text{ より短い} \quad q_{a4} = \phi_5 \times 0.4 \times_{sc} a \times 0.5 \sqrt{E_c \times F_c}$$

$$\text{へりあき寸法} < \text{埋込み長} \quad q_{a5} = \phi_6 \times 0.23 \times \sqrt{F_c} \times A_{c1}$$

ここで，

q_{a4} : 許容せん断力 (N)

q_{a5} : コンクリート破壊（へりあき寸法小）による場合の許容せん断力 (N)

ϕ_i : 低減係数（短期： $\phi_4 = 1.0$ ， $\phi_5 = \phi_6 = 0.6$ ）

$_s \sigma_y$: アンカー筋の規格降伏強度 (N/mm²)

$_{sc} a$: アンカー筋のせん断を受ける部分の断面積 (mm²)

ただし，ねじ部がせん断を受ける場合は，有効断面積 (mm²)

F_c : コンクリート設計基準強度 (N/mm²)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²) $E_c = 2.1 \times 10^4$

A_{c1} : 有効投影面積 (mm²) $A_{c1} = 1/2 \times \pi \times a^2$

a : へりあき長 (mm)

ロ 集水桝（屋外排水路逆止弁⑦，⑧-1，⑧-2）

アンカー筋 1 本当たりの許容せん断力 q_a は，以下で算定されるアンカー筋のせん断強度により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容せん断力 q_{a1} ，支圧強度により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容せん断力 q_{a2} ，及びコーン状破壊により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容せん断力 q_{a3} のうちいずれか小さい値とする。

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s_c a$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s_c a$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで，

- q_{a1} : アンカー筋のせん断強度により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容せん断力 (kN)
- q_{a2} : 定着した躯体の支圧強度により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容せん断力 (kN)
- q_{a3} : 定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合のアンカー筋 1 本当たりの許容せん断力 (kN)
- ϕ_i : 低減係数 (短期: $\phi_1=1.0$, $\phi_2=2/3$)
- $s \sigma_{qa}$: 接着系アンカー筋のせん断強度で，規格降伏点強度 $\times 0.7$ とする (N/mm²)
- $s_c a$: アンカー筋の断面積 (mm²)
- $c \sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度で， $0.5 \sqrt{F_c \times E_c}$ とする (N/mm²)
- $c \sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度で，
 $0.31 \sqrt{F_c}$ とする。 (N/mm²)
- F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)
- E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)
- A_{qc} : せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積で，
 $0.5 \pi c^2$ とする (mm²)
- c : へりあき寸法 (mm)

(2) 評価条件

アンカー筋の許容限界の評価に用いる入力値を表 8-5 に示す。

表 8-5(1) アンカー筋の許容限界の評価に用いる入力値
(集水桝 (屋外排水路逆止弁①))

記号	単位	定義	入力値
ϕ_4	—	低減係数	1
${}_s\sigma_y$	N/mm ²	アンカー筋の規格降伏強度	345
${}_{sc}a$	mm ²	アンカーボルトの軸部断面積とねじ部有効断面積のうち小さい方の値	642.4
ϕ_5	—	低減係数	0.6
ϕ_6	—	低減係数	0.6
P_U	N	最大引張強度	197374
A_c	mm ²	有効水平投影面積	129964
L_c	mm	コンクリートのコーン状破壊を想定した場合のコーン頂点深さ	348
τ_B	N/mm ²	単位面積あたりの平均付着強度	12.83
F_c	N/mm ²	コンクリートの設計基準強度	24
α_2	—	付着強度係数	12
L	mm	埋込み長	348
d_a	mm	アンカー筋の径	29

表 8-5(2) アンカー筋の許容限界の評価に用いる入力値
(集水桝 (屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥))

記号	単位	定義	入力値
ϕ_4	—	低減係数	1
$s\sigma_y$	N/mm ²	アンカー筋の規格降伏強度	345
sca	mm ²	アンカー筋の軸部断面積とねじ部有効断面積のうち小さい方の値	642.4
ϕ_5	—	低減係数	0.6
ϕ_6	—	低減係数	0.6
P_u	N	最大引張強度	204018
A_c	mm ²	有効水平投影面積	134339
L_c	mm	コンクリートのコーン状破壊を想定した場合のコーン頂点深さ	348
τ_B	N/mm ²	単位面積あたりの平均付着強度	12.83
F_c	N/mm ²	コンクリートの設計基準強度	24
α_2	—	付着強度係数	12
L	mm	埋込み長	348
d_a	mm	アンカー筋の径	29

表 8-5(3) アンカー筋の許容限界の評価に用いる入力値
(集水桝 (屋外排水路逆止弁⑦, ⑧-1, ⑧-2))

記号	単位	定義	入力値
ϕ_1	—	低減係数	1
$s\sigma_y$	N/mm ²	アンカー筋の規格降伏点強度	345
sca	mm ²	アンカー筋の断面積	506.7
ϕ_2	—	低減係数	2/3
ϕ_3	—	低減係数	2/3
τ_a	N/mm ²	アンカー筋の引張力に対する付着強度	6.1
d_a	mm	アンカー筋の径	25
l_{ce}	mm	アンカー筋の強度算定用埋込み長さ	330
l_e	mm	アンカー筋の有効埋込み長さ	355
α_1	—	付着強度の低減係数	1
α_2	—	付着強度の低減係数	0.9
α_3	—	付着強度の低減係数	0.9
τ_{bavg}	N/mm ²	アンカー筋の基本平均付着強度	7.48
F_c	N/mm ²	コンクリートの設計基準強度	24
c_1	mm	へりあき寸法, 又は, アンカー筋ピッチ a の 1/2	250
c_2	mm	へりあき寸法, 又は, アンカー筋ピッチ a の 1/2	200
c_3	mm	へりあき寸法, 又は, アンカー筋ピッチ a の 1/2	200
$s\sigma_{qa}$	N/mm ²	アンカー筋のせん断強度	241.5
$c\sigma_{qa}$	N/mm ²	コンクリートの支圧強度	385
E_c	N/mm ²	コンクリートのヤング係数	24683
A_{qc}	mm ²	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	98175

表 8-5(4) アンカー筋の許容限界の評価に用いる入力値
(集水桝 (屋外排水路逆止弁⑩, ⑪, ⑫))

記号	単位	定義	入力値
ϕ_4	—	低減係数	1
$s\sigma_y$	N/mm ²	アンカー筋の規格降伏強度	345
sca	mm ²	アンカー筋の軸部断面積とねじ部有効断面積のうち小さい方の値	642.4
ϕ_5	—	低減係数	0.6
ϕ_6	—	低減係数	0.6
P_u	N	最大引張強度	241986
A_c	mm ²	有効水平投影面積	159339
L_c	mm	コンクリートのコーン状破壊を想定した場合のコーン頂点深さ	348
τ_B	N/mm ²	単位面積あたりの平均付着強度	12.83
F_c	N/mm ²	コンクリートの設計基準強度	24
α_2	—	付着強度係数	12
L	mm	埋込み長	348
d_a	mm	アンカー筋の径	29
A_{c1}	mm ²	有効投影面積	141372
a	mm	へりあき長	300

8.3.3 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8-6に示す引張耐力とする。

表 8-6 接合鉄筋の許容限界

設備名称	鉄筋径	引張耐力 (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）

8.3.4 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8-7に示す。

表8-7 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)
集水枡 (屋外排水路逆止弁⑨)	極限支持力度	改良地盤⑤	2.5

8.3.5 集水枡蓋

集水枡に設置する集水枡蓋の許容限界は、「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8-8に示す曲げ応力度及びせん断応力度とする。

表8-8 集水枡蓋（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)
集水枡（屋外排水路逆止弁①）	210	120
集水枡（屋外排水路逆止弁②、③、④、⑤、⑥）		
集水枡（屋外排水路逆止弁⑦）		
集水枡（屋外排水路逆止弁⑧-1）		
集水枡（屋外排水路逆止弁⑧-2）		
集水枡（屋外排水路逆止弁⑨）		
集水枡（屋外排水路逆止弁⑩）		
集水枡（屋外排水路逆止弁⑪）		
集水枡（屋外排水路逆止弁⑫）		
集水枡（屋外排水路逆止弁⑬）		

8.3.6 アンカーボルト（集水桝蓋）

集水桝と桝蓋を接合するアンカーボルト（集水桝蓋）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8-9に示す許容せん断力とする。

表8-9 アンカーボルト（集水桝蓋）の許容限界

設備名称	許容せん断力 (kN/本)
集水桝（屋外排水路逆止弁①）	35.34
集水桝（屋外排水路逆止弁②，③，④，⑤，⑥）	
集水桝（屋外排水路逆止弁⑦）	
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⑨）	
集水桝（屋外排水路逆止弁⑩）	
集水桝（屋外排水路逆止弁⑪）	
集水桝（屋外排水路逆止弁⑫）	
集水桝（屋外排水路逆止弁⑬）	

8.4 設計用地震力

(1) 集水桝（防波壁部）

集水桝（防波壁部）の設計用地震力は、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」、VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」及びVI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」における地表面の最大応答加速度に基づき設定する。

集水桝（防波壁部）の評価に用いる設計用地震力を表8-10に示す。

表8-10 設計用地震力（集水桝（防波壁部））

設備名称	地震動	設置場所及び 床面高さ(m)	地震による 設計用地震力	
			水平方向 K _h	鉛直方向 K _v
屋外排水路逆止弁 ①	基準地震動 S _s	集水桝 EL 2.57 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.01
			鉛直方向 K _v	2.01
屋外排水路逆止弁 ②, ③, ④, ⑤, ⑥		集水桝 EL 2.70 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.01
			鉛直方向 K _v	2.01
屋外排水路逆止弁 ⑦		集水桝 EL 6.21 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.00
			鉛直方向 K _v	1.01
屋外排水路逆止弁 ⑧-1		集水桝 EL 6.125 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.00
			鉛直方向 K _v	1.01
屋外排水路逆止弁 ⑧-2	集水桝 EL 5.54 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.00	
		鉛直方向 K _v	1.01	
屋外排水路逆止弁 ⑩, ⑪, ⑫	集水桝 EL 6.11~6.50 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.03	
		鉛直方向 K _v	0.66	
屋外排水路逆止弁 ⑬	集水桝 EL 4.10 (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.03	
		鉛直方向 K _v	0.66	

(2) 集水桝（改良地盤部）

集水桝（改良地盤部）側壁の評価に使用する設計用地震力は，1次元地震応答解析により得られた水平変位を用いて，応答変位法により設定する。地震応答解析結果より得られた各解析ケースにおける最大変位分布を図8-1に示す。なお，最大変位となる地震動により応答変位法に使用する水平変位を設定する。

集水桝（改良地盤部）底版，基礎地盤の支持性能，集水桝蓋及びアンカーボルト（集水桝蓋）の評価に使用する設計用地震力は，1次元地震応答解析における集水桝位置の応答加速度に基づき設定する。集水桝（改良地盤部）の評価に用いる設計用地震力を表8-11に示す。

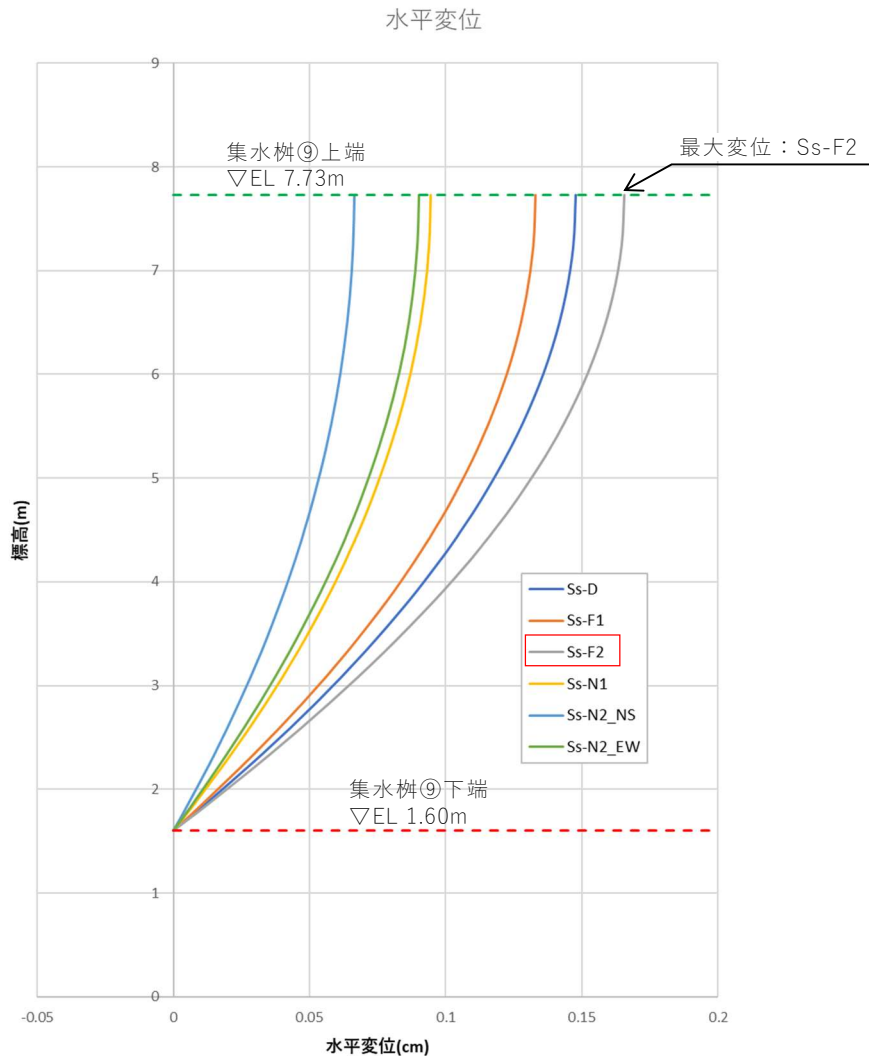


図8-1 地震応答解析結果（最大変位発生時刻の水平変位分布）

表 8-11 設計用地震力（集水桝（改良地盤部））

設備名称	地震動	設置場所及び 床面高さ(m)	地震による 設計用地震力	
屋外排水路逆止弁 ⑨	基準地震動 S _s	集水桝 EL 2.30 m (屋外排水路底面高さ)	水平方向 K _h	1.70
			鉛直方向 K _v	1.01

8.5 評価方法

8.5.1 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 8-2 に示す。

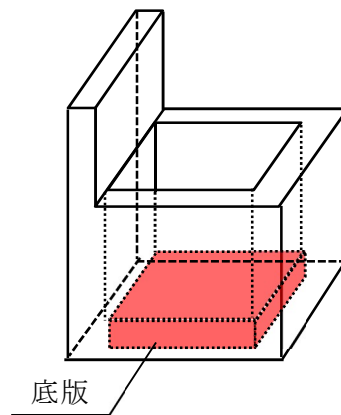


図 8-2 四辺固定版モデル概要図

(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 8-3 に示す。

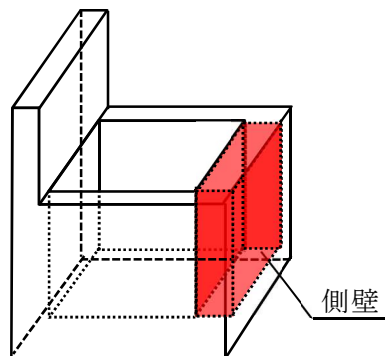


図 8-3 三辺固定版モデル概要図

(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。アンカー筋引張力モデル概要図を図 8-4 に示す。

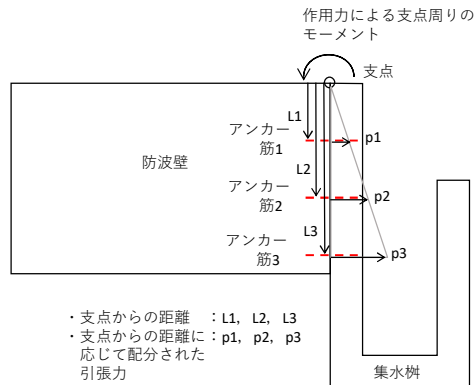


図 8-4 アンカー筋引張力モデル概要図

(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。

8.5.2 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 8-5 に示す。

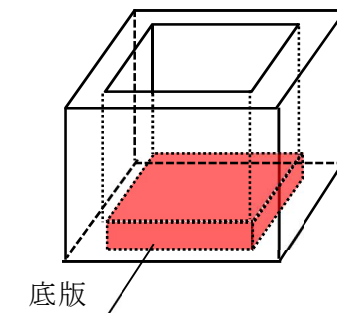


図 8-5 四辺固定版モデル概要図

(2) 側壁の評価

側壁を線形はり要素でモデル化し，1次元地震応答解析を踏まえて設定した荷重を作用させ，フレーム解析を実施する。

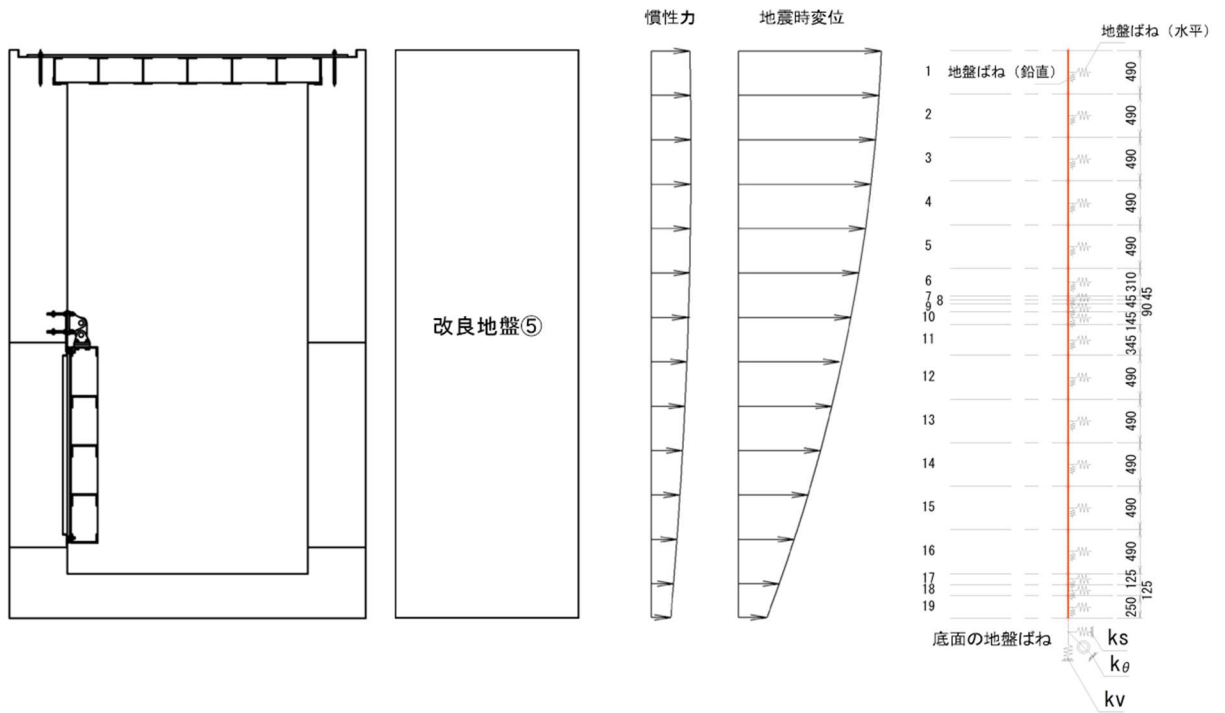
フレーム解析に用いる地盤ばねは，地震応答解析結果から算出した等価剛性を踏まえて設定し，モデルに作用させる荷重のうち，地震時増分応力については，応答変位法により算出する。フレーム解析モデルを図 8-6 に示す。なお，集水桝⑨近傍に施工している埋戻コンクリートは，保守的に改良地盤⑤でモデル化する。

解析には解析コード「UC-win / FRAME (面内)」及び「UC-win / RC 断面計算」を使用する。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。

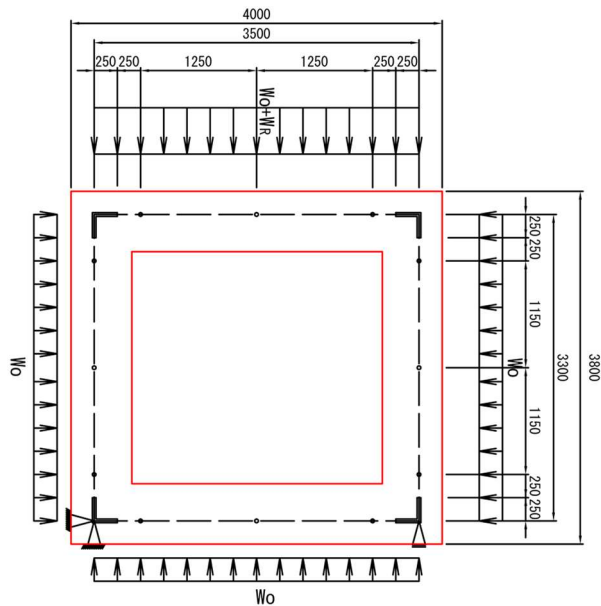
<集水樹構造>

<地盤モデル>

<フレーム計算 梁モデル>



(鉛直方向)



(水平方向)

(単位:mm)

図 8-6 集水樹 (改良地盤部) のフレーム解析モデル (集水樹⑨)

(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、集水枿底版に作用する鉛直方向の合力を底版面積で除すことにより接地圧を算出し、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。

8.5.3 集水桝蓋の評価

集水桝蓋の構造部材の健全性評価においては、集水桝蓋（鋼板）の補強梁間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 8-7 に示す。

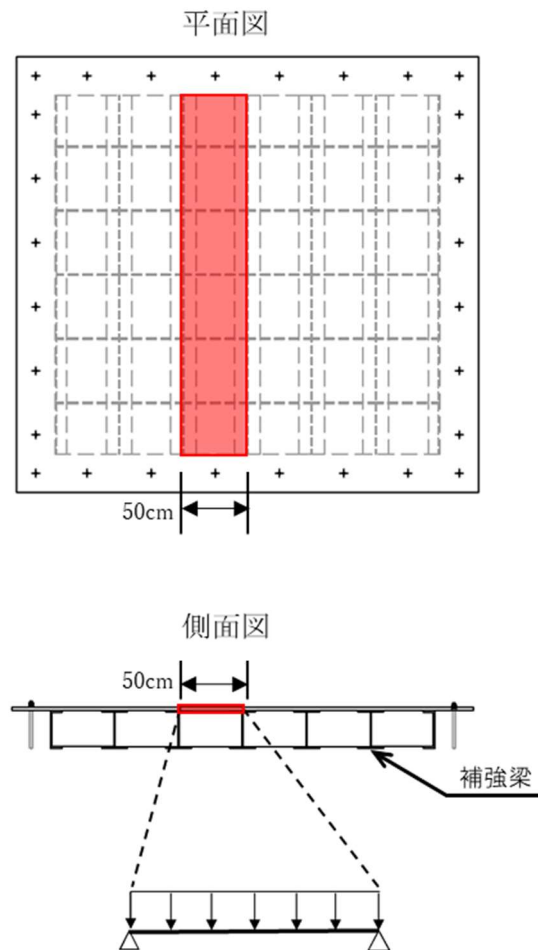


図 8-7 集水桝蓋（鋼板）のモデル概要図

8.5.4 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）の構造部材の健全性評価においては，集水桝蓋に支配的な水平方向の慣性力に対し，蓋を固定するアンカーボルトに作用するせん断力を算定し，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 8-8 に示す。

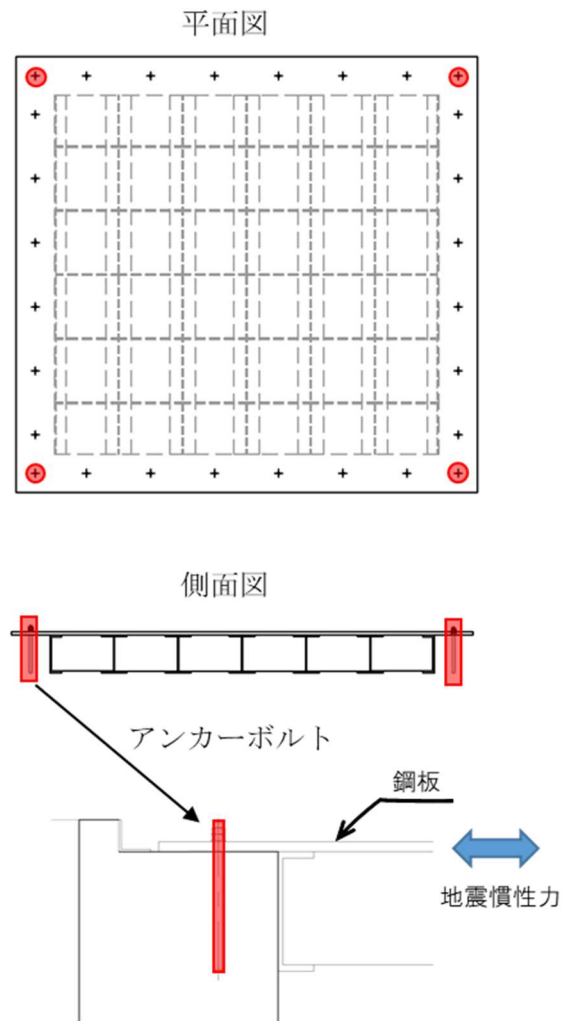


図 8-8 アンカーボルトのモデル概要図

8.6 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 8-12 に，材料の物性値を表 8-13 に示す。

表 8-12 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	ABR400 (M20)
		SS400 (M24)

表 8-13 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

9. 集水桝の耐震評価結果

9.1 集水桝の曲げ軸力評価結果

集水桝の概略配筋図を図 9-1 に、曲げ軸力に対する照査結果を表 9-1 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。

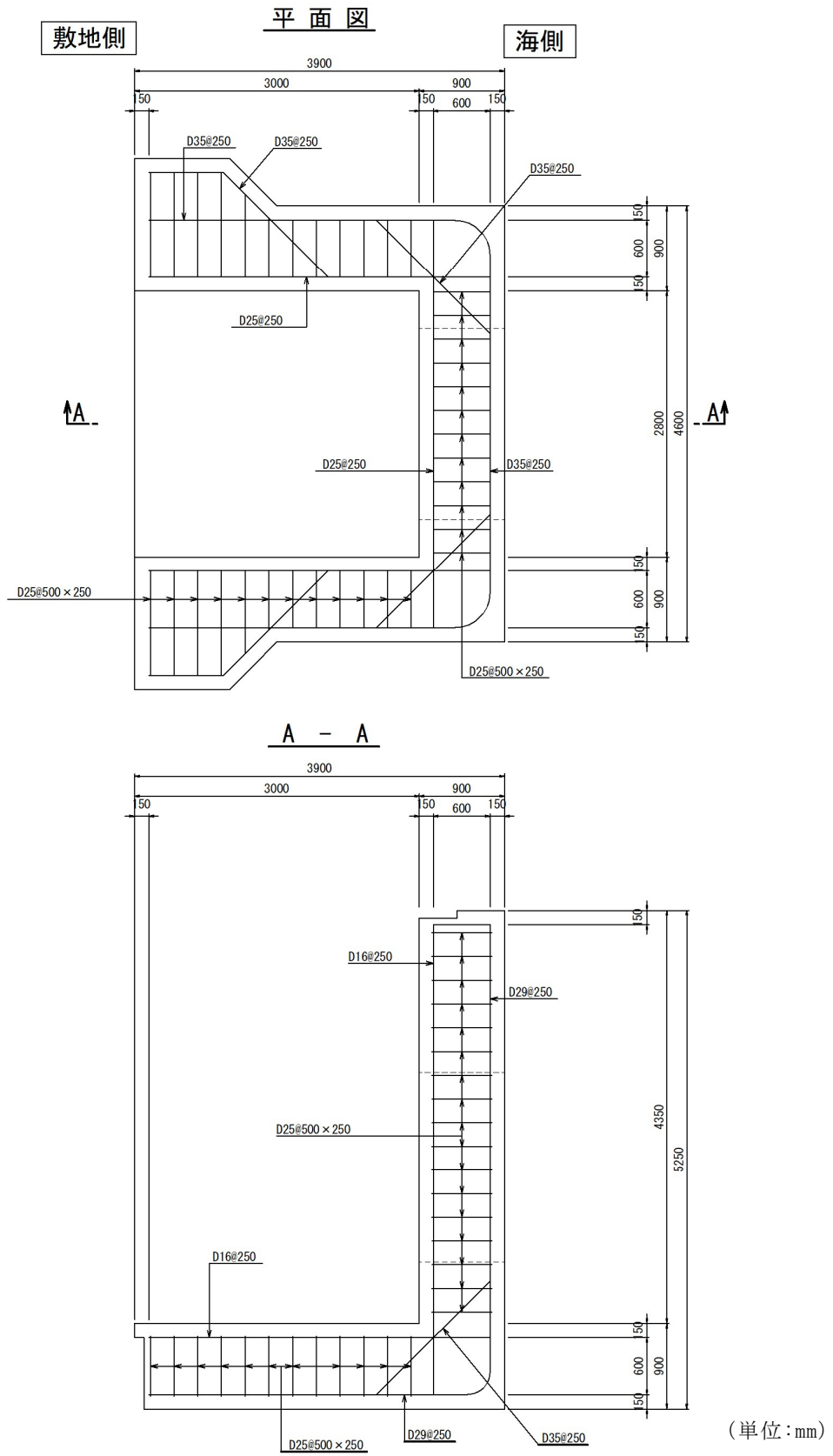


図 9-1(1) 概略配筋図 (集水桝 (屋外排水路逆止弁①))

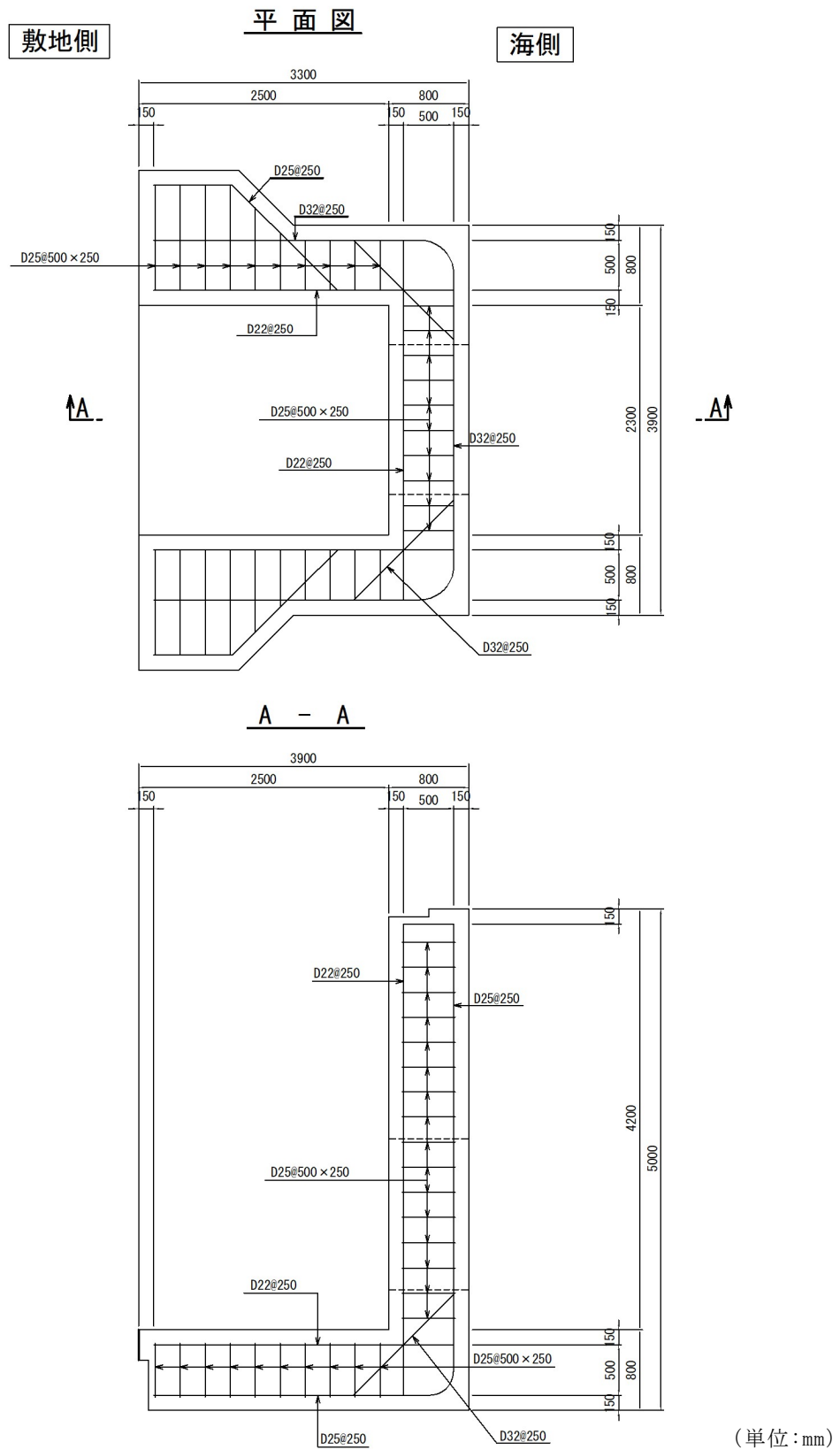
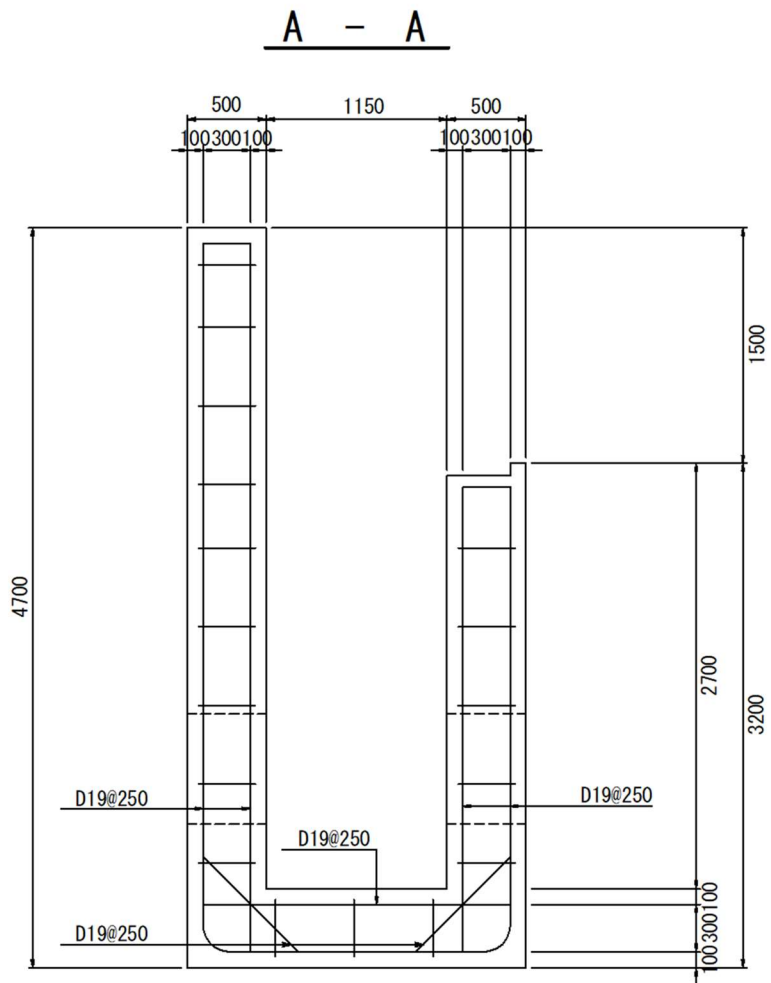
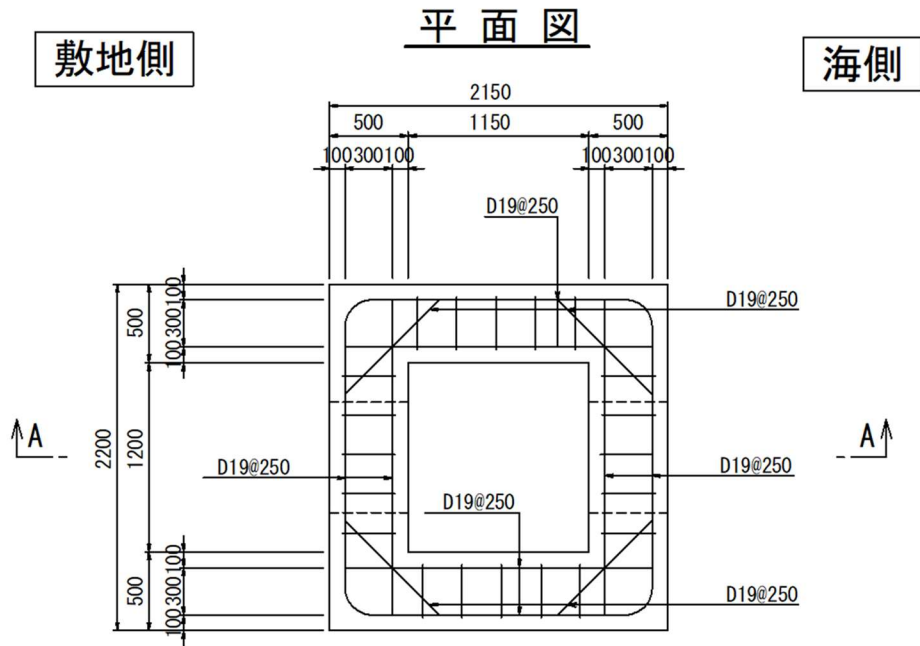
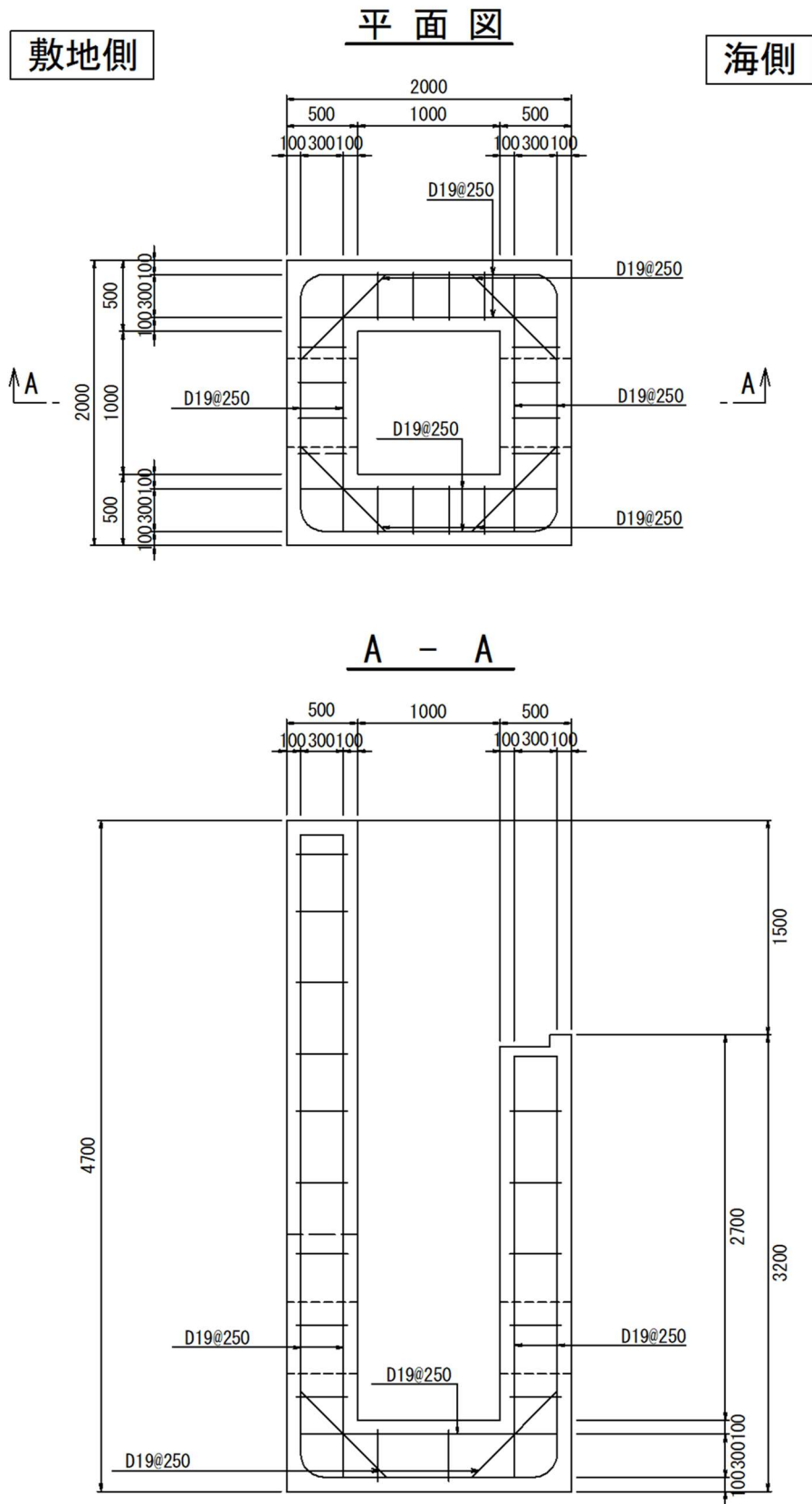


図 9-1(2) 概略配筋図 (集水柵 (屋外排水路逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥))



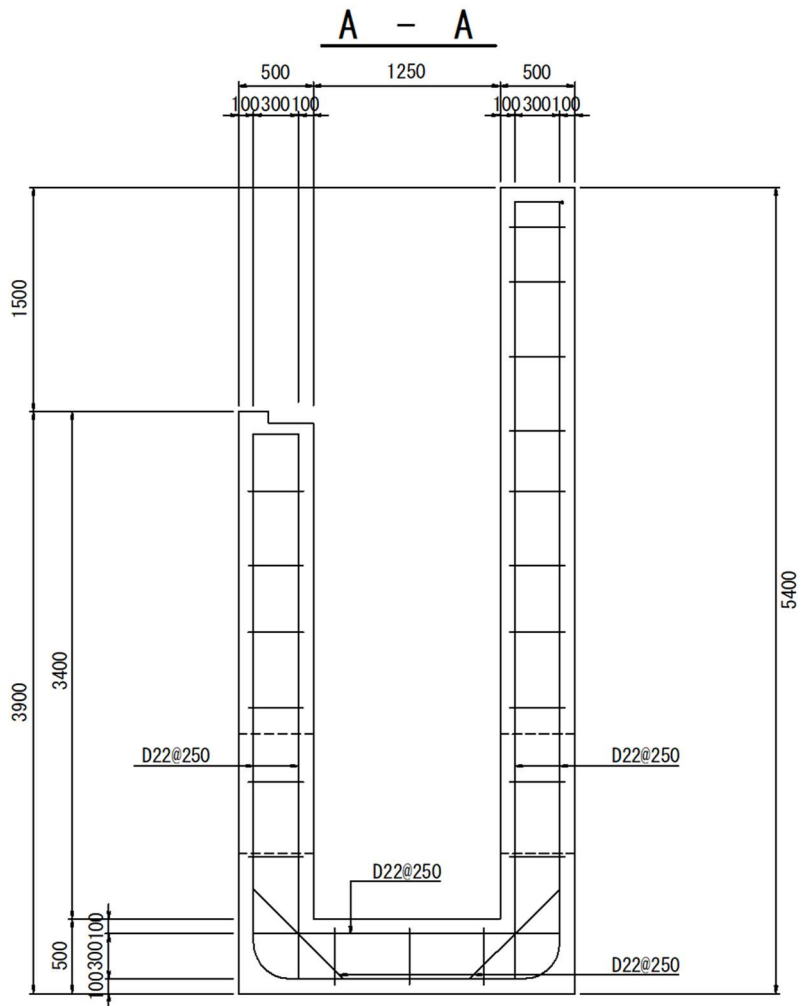
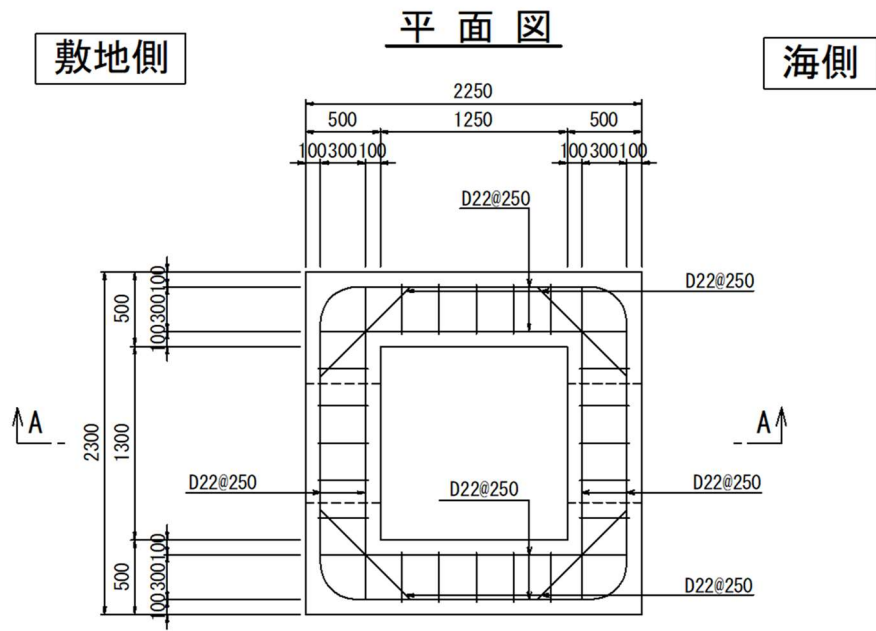
(単位:mm)

図 9-1(3) 概略配筋図 (集水枳 (屋外排水路逆止弁⑦))



(単位: mm)

図 9-1(4) 概略配筋図 (集水柵 (屋外排水路逆止弁⑧-1))



(単位:mm)

図 9-1 (5) 概略配筋図 (集水柵 (屋外排水路逆止弁⑧-2))

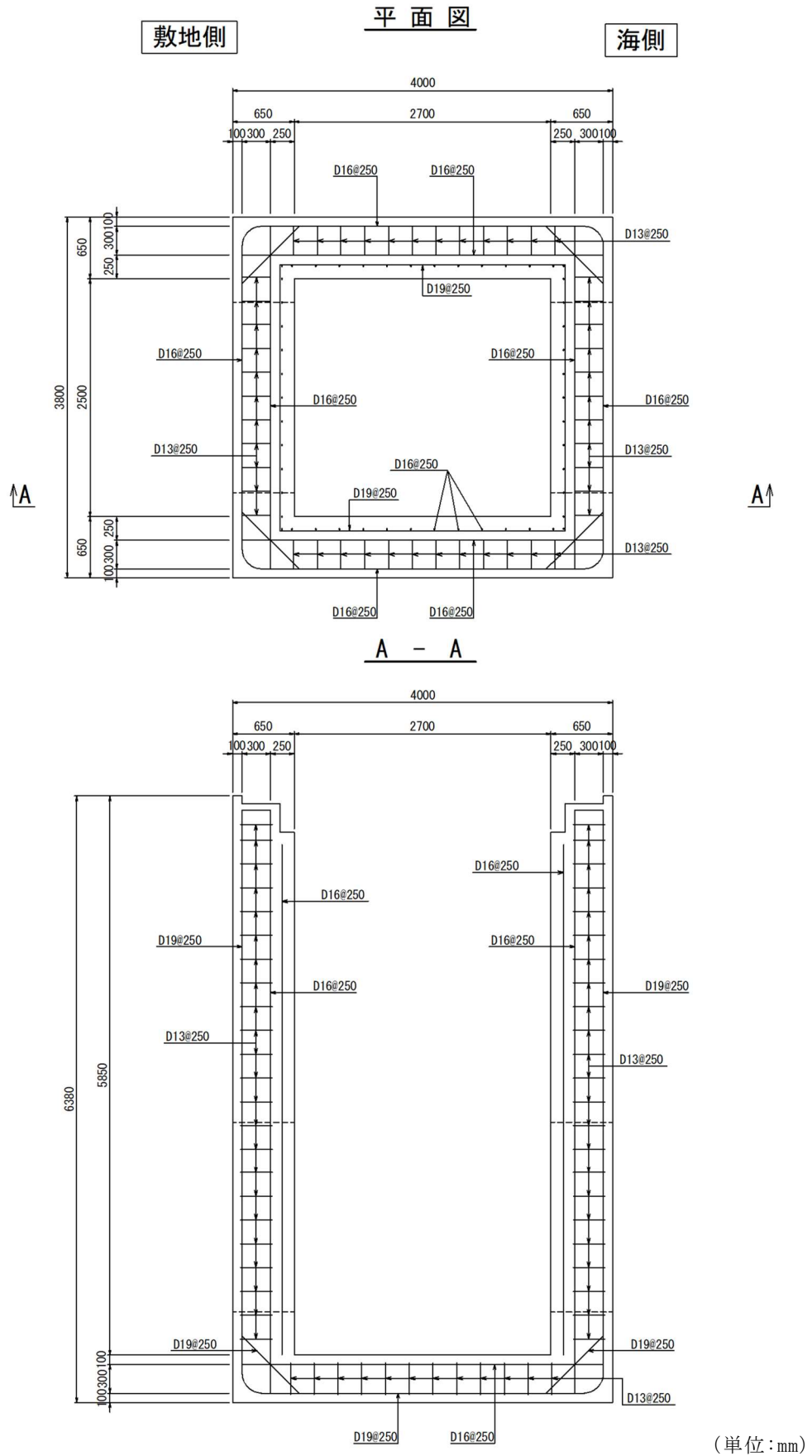
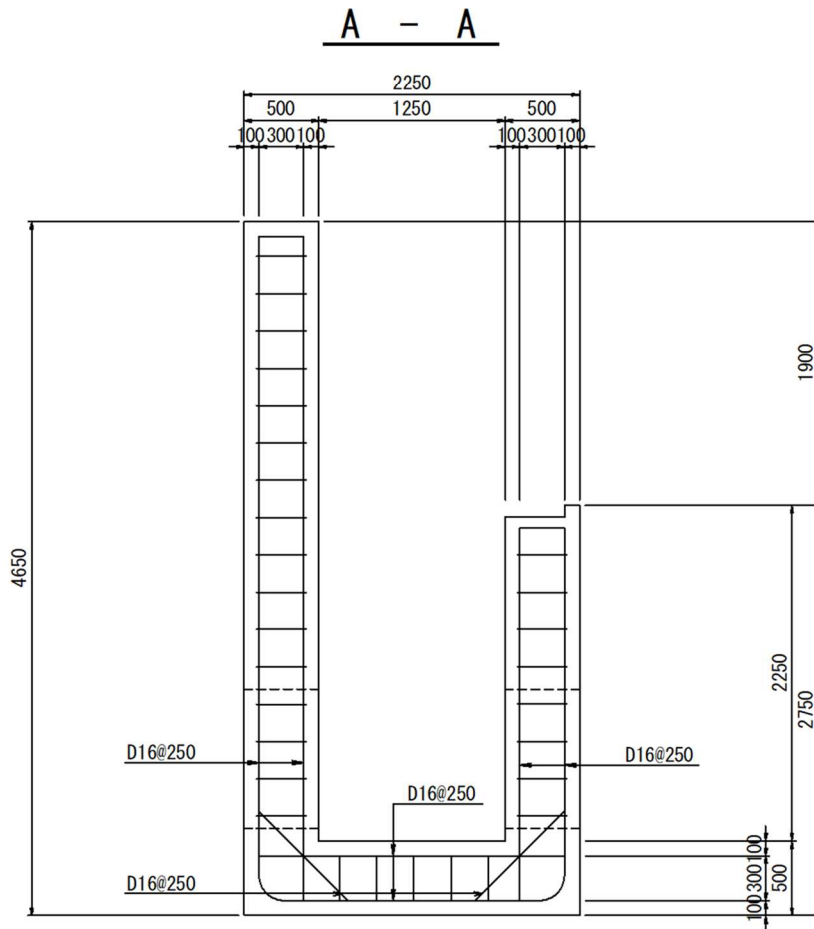
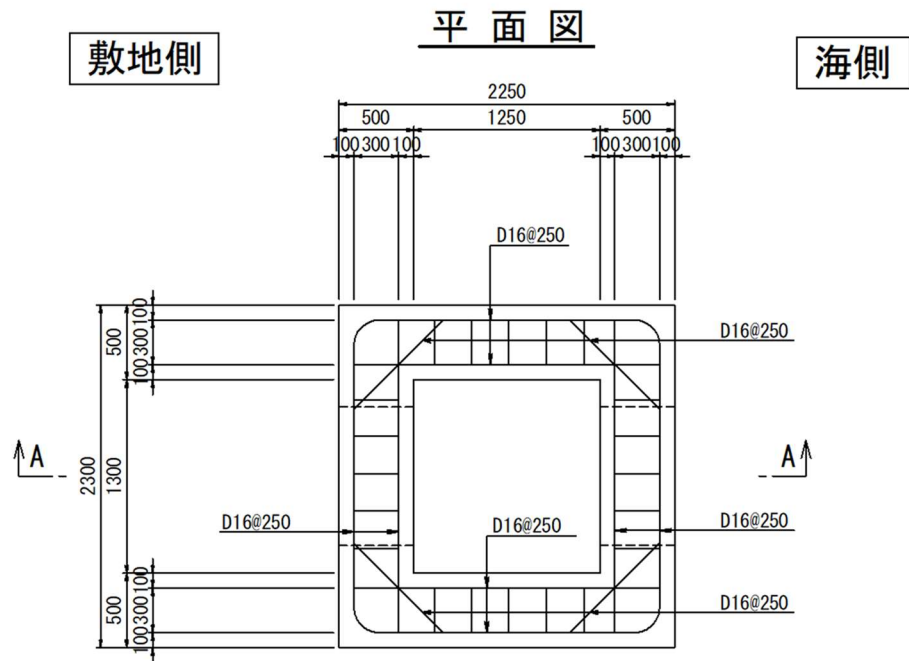


図 9-1(6) 概略配筋図 (集水柵 (屋外排水路逆止弁⑨))



(単位:mm)

図 9-1(7) 概略配筋図 (集水枳 (屋外排水路逆止弁⑩))

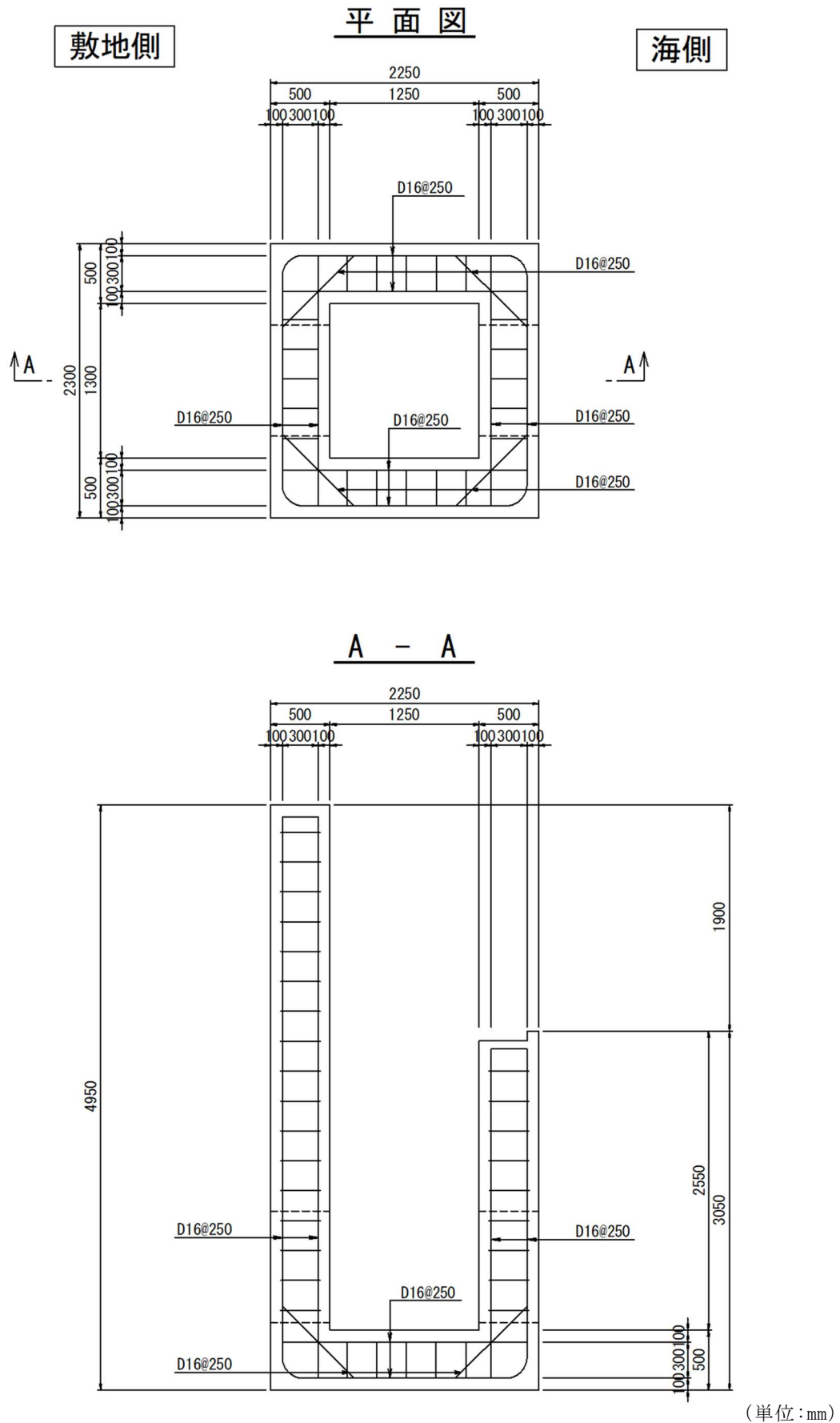


図 9-1(8) 概略配筋図 (集水柵 (屋外排水路逆止弁①))

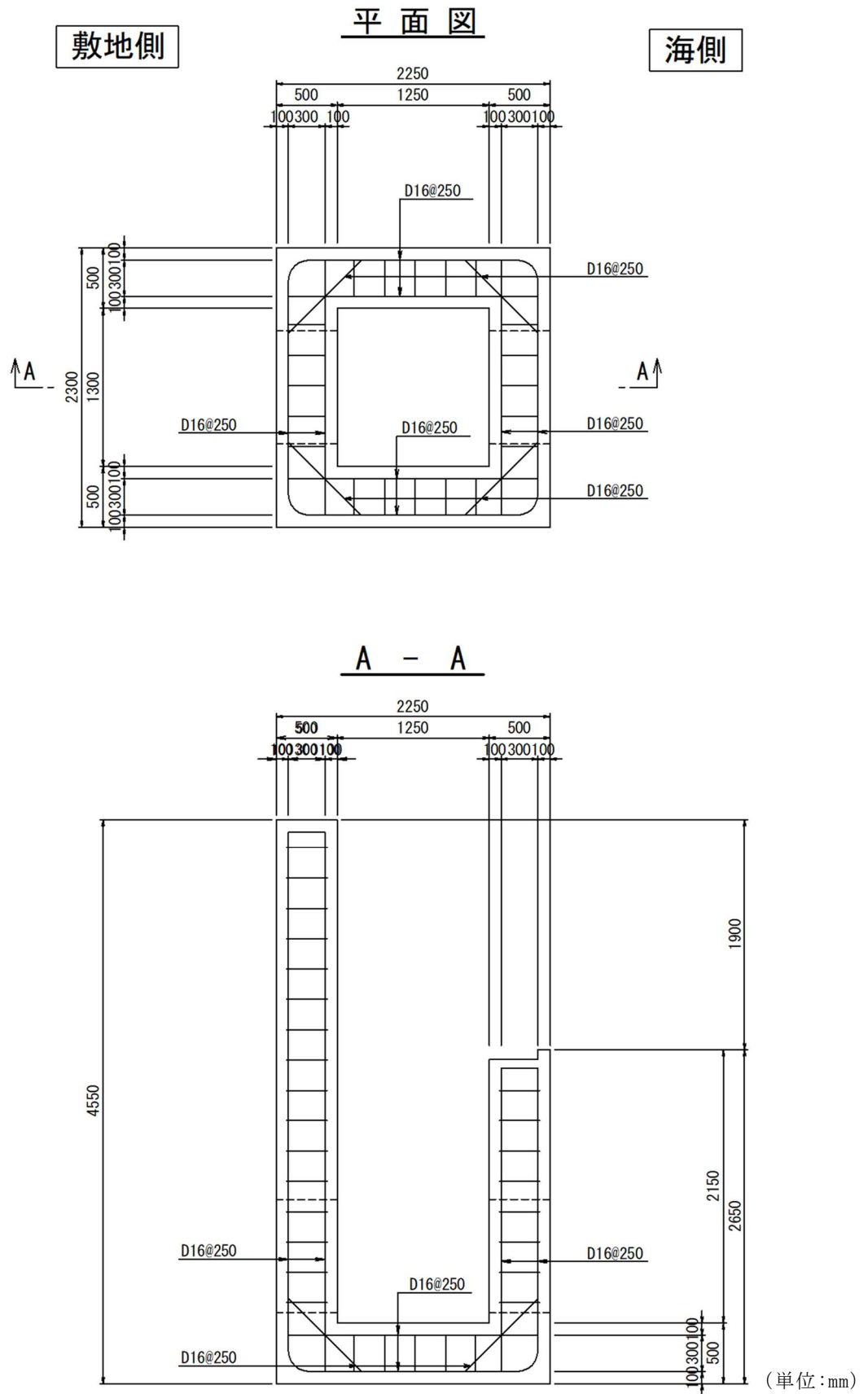
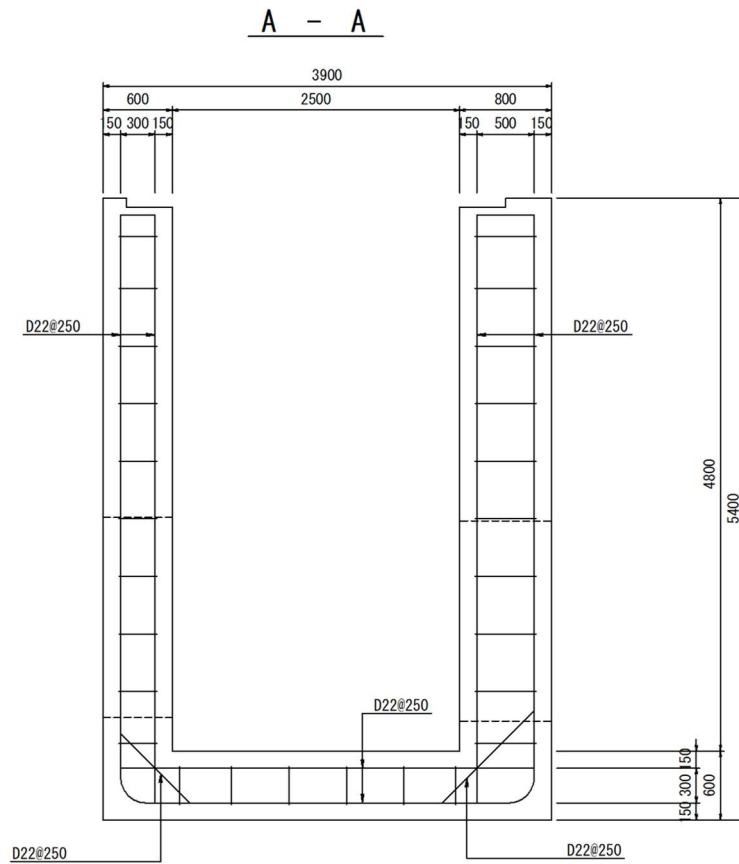
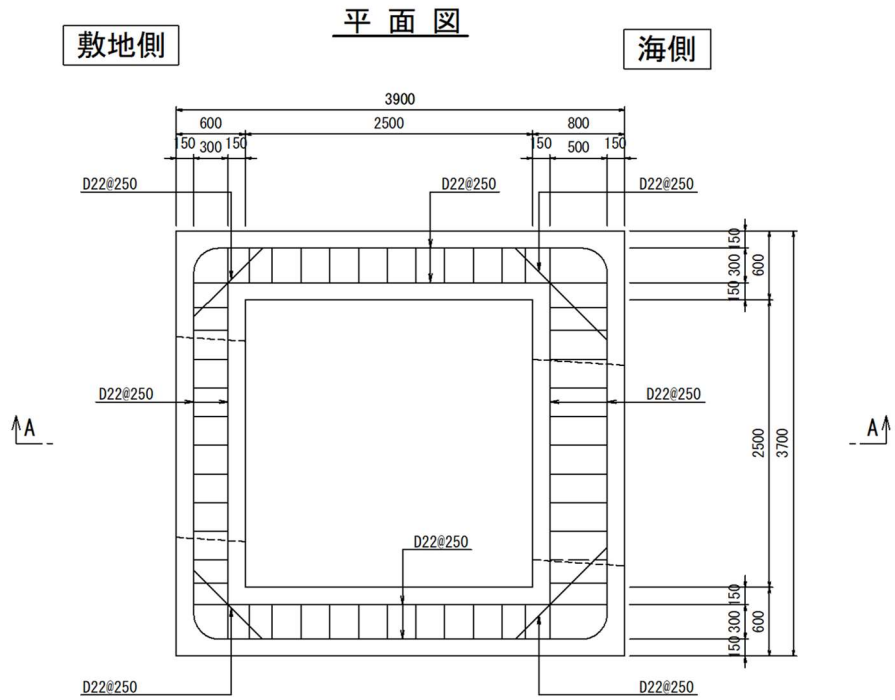


図 9-1(9) 概略配筋図 (集水柵 (屋外排水路逆止弁⑫))



(単位: mm)

図 9-1(10) 概略配筋図 (集水枳 (屋外排水路逆止弁⑬))

表 9-1(1) 曲げ軸力に対する照査結果 (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		
集水榦 (屋外排水路 逆止弁①)	4600×3900	312.24 153.74	4.47	272.88	13.5	294	0.34	0.93
集水榦 (屋外排水路 逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥)	3900×3300	223.36	4.90	240.69	13.5	294	0.37	0.82
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑦)	2200×2150	19.89	4.85	44.17	13.5	294	0.36	0.16
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑧-1)	2000×2000	19.38	1.04	46.19	13.5	294	0.08	0.16
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑧-2)	2300×2250	30.47	1.46	54.40	13.5	294	0.11	0.19
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑨)	3800×4000	117.79	6.34	280.68	13.5	294	0.47	0.96
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑩)	2300×2250	16.61	1.03	56.32	13.5	294	0.08	0.20
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑪)	2300×2250	17.97	1.12	60.96	13.5	294	0.09	0.21
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑫)	2300×2250	16.15	1.01	54.78	13.5	294	0.08	0.19
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑬)	3700×3900	71.10	2.82	112.29	13.5	294	0.21	0.39

注記* : 集水榦 (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, その他の集水榦については, 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 9-1(2) 曲げ軸力に対する照査結果 (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		
集水榦 (屋外排水路 逆止弁①)	5250×4600	74.46 34.07	1.07	60.48	13.5	294	0.08	0.21
集水榦 (屋外排水路 逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥)	5000×3900	51.93	1.03	43.20	13.5	294	0.08	0.15
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑦)	3200×2200	39.38	2.12	93.85	13.5	294	0.16	0.32
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑧-1)	3200×2000	31.78	1.71	75.73	13.5	294	0.13	0.26
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑧-2)	3900×2300	45.79	2.20	81.77	13.5	294	0.17	0.28
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑨)	6380×4000	171.56	5.76	212.20	13.5	294	0.43	0.73
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑩)	2750×2300	27.14	1.69	92.06	13.5	294	0.13	0.32
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑪)	3050×2300	27.32	1.70	92.66	13.5	294	0.13	0.32
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑫)	2650×2300	27.10	1.69	91.90	13.5	294	0.13	0.32
集水榦 (屋外排水路 逆止弁⑬)	5400×3700	102.55	4.07	161.96	13.5	294	0.31	0.56

注記* : 集水榦 (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, その他の集水榦については, 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。

9.2 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 9-2 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，発生応力は各地震動において最大となる値を示している。

表 9-2(1) せん断力に対する照査結果 (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	59.70	294	0.21
集水桝 (屋外排水路 逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥)	24	SD345	57.97	294	0.20
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑦)	24	SD345	0.25	0.675	0.38
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑧-1)	24	SD345	0.28	0.675	0.42
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑧-2)	24	SD345	0.36	0.675	0.54
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑨)	24	SD345	246.85	294	0.84
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑩)	24	SD345	0.20	0.675	0.30
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑪)	24	SD345	0.22	0.675	0.33
集水桝 (屋外排水路 逆止弁⑫)	24	SD345	0.19	0.675	0.29
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①~⑥, 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 9-2(2) せん断力に対する照査結果 (側壁)

設備名称	設計基準強度 (N/mm ²)	発生せん断 応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	照査値
集水樹 (屋外排水路 逆止弁①)	24	0.17	0.675	0.26
集水樹 (屋外排水路 逆止弁②, ③, ④, ⑤, ⑥)	24	0.16	0.675	0.24
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑦)	24	0.35	0.675	0.52
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑧-1)	24	0.32	0.675	0.48
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑧-2)	24	0.39	0.675	0.58
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑨)	24	239.19	294	0.82
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑩)	24	0.24	0.675	0.36
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑪)	24	0.24	0.675	0.36
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑫)	24	0.24	0.675	0.36
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑬)	24	0.46	0.675	0.69

9.3 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 9-3 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 9-3(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
集水桝（屋外排水路 逆止弁①）	71.28	88.80	0.81
集水桝（屋外排水路 逆止弁②，③，④， ⑤，⑥）	53.73	91.80	0.59
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑦）	64.46	105.40	0.62
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-1）	59.59	105.40	0.57
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-2）	69.12	105.40	0.66
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑩）	40.22	108.80	0.37
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑪）	44.35	108.80	0.41
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑫）	38.99	108.80	0.36

表 9-3(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）	88.56	155.10	0.58
集水桝（屋外排水路 逆止弁②，③，④， ⑤，⑥）	65.63	155.10	0.43
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑦）	33.29	98.10	0.34
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-1）	32.02	98.10	0.33
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑧-2）	33.01	98.10	0.34
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑩）	23.15	95.50	0.25
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑪）	25.29	95.50	0.27
集水桝（屋外排水路 逆止弁⑫）	23.41	95.50	0.25

9.4 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 9-4 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 9-4 接合鉄筋の引張応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)	220.72	294	0.76

9.5 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照査結果を表 9-5 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 9-5 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

設備名称	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
集水樹 (屋外排水路 逆止弁⑨)	S s - N 2 (E W)	0.19	2.5	0.08

9.6 集水桝蓋の応力評価結果

集水桝蓋の曲げ応力度及びせん断応力度に対する照査結果を表 9-6 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 9-6(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)	4.80	210	0.03
集水桝（屋外排水 路逆止弁②，③， ④，⑤，⑥）	集水桝蓋 (t=25mm)	4.80	210	0.03
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑦）	集水桝蓋 (t=25mm)	3.30	210	0.02
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑧-1）	集水桝蓋 (t=25mm)	3.30	210	0.02
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑧-2）	集水桝蓋 (t=25mm)	3.30	210	0.02
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑨）	集水桝蓋 (t=25mm)	3.50	210	0.02
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑩）	集水桝蓋 (t=25mm)	2.60	210	0.02
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑪）	集水桝蓋 (t=25mm)	2.60	210	0.02
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑫）	集水桝蓋 (t=25mm)	2.60	210	0.02
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑬）	集水桝蓋 (t=25mm)	2.60	210	0.02

表 9-6(2) 集水枳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
集水枳（屋外排水 路逆止弁①）	集水枳蓋 (t=25mm)	0.86	120	0.01
集水枳（屋外排水 路逆止弁②，③， ④，⑤，⑥）	集水枳蓋 (t=25mm)	0.71	120	0.01
集水枳（屋外排水 路逆止弁⑦）	集水枳蓋 (t=25mm)	0.25	120	0.01
集水枳（屋外排水 路逆止弁⑧-1）	集水枳蓋 (t=25mm)	0.21	120	0.01
集水枳（屋外排水 路逆止弁⑧-2）	集水枳蓋 (t=25mm)	0.27	120	0.01
集水枳（屋外排水 路逆止弁⑨）	集水枳蓋 (t=25mm)	0.54	120	0.01
集水枳（屋外排水 路逆止弁⑩）	集水枳蓋 (t=25mm)	0.22	120	0.01
集水枳（屋外排水 路逆止弁⑪）	集水枳蓋 (t=25mm)	0.22	120	0.01
集水枳（屋外排水 路逆止弁⑫）	集水枳蓋 (t=25mm)	0.22	120	0.01
集水枳（屋外排水 路逆止弁⑬）	集水枳蓋 (t=25mm)	0.42	120	0.01

9.7 アンカーボルト（集水桝蓋）のせん断力評価結果

集水桝蓋のアンカーボルトの許容せん断力に対する照査結果を表 9-7 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 9-7 アンカーボルト（集水桝蓋）のせん断力に対する照査結果

設備名称	評価部位	発生せん断力 (kN/本)	許容限界 (kN/本)	照査値
集水桝（屋外排水 路逆止弁①）	アンカーボルト （集水桝蓋）	6.91	35.34	0.20
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）	4.93	35.34	0.14
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑦）	アンカーボルト （集水桝蓋）	3.06	35.34	0.09
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑧-1）	アンカーボルト （集水桝蓋）	2.26	35.34	0.07
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑧-2）	アンカーボルト （集水桝蓋）	3.42	35.34	0.10
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑨）	アンカーボルト （集水桝蓋）	5.96	35.34	0.17
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑩）	アンカーボルト （集水桝蓋）	3.53	35.34	0.10
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑪）	アンカーボルト （集水桝蓋）	3.53	35.34	0.10
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑫）	アンカーボルト （集水桝蓋）	3.53	35.34	0.10
集水桝（屋外排水 路逆止弁⑬）	アンカーボルト （集水桝蓋）	4.63	35.34	0.14

VI-2-10-2-8 防水壁の耐震性についての計算書

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	5
2.2.1	タービン建物復水器エリア防水壁	5
2.2.2	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁	9
2.2.3	取水槽除じん機エリア防水壁	11
2.2.4	取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁	13
2.3	評価方針	16
2.4	適用規格・基準等	17
3.	タービン建物地下1階復水系配管室防水壁	18
3.1	固有振動数及び設計用地震力	18
3.1.1	固有振動数の算出	18
3.1.2	設計用地震力	21
3.2	耐震評価方法	22
3.2.1	記号の説明	22
3.2.2	評価対象部位	24
3.2.3	荷重及び荷重の組合せ	25
3.2.4	許容限界	26
3.2.5	評価方法	28
3.2.6	評価条件	34
4.	タービン建物地下1階復水器室北西側防水壁	35
4.1	固有振動数及び設計用地震力	35
4.1.1	固有振動数の算出	35
4.1.2	設計用地震力	39
4.2	耐震評価方法	40
4.2.1	記号の説明	40
4.2.2	評価対象部位	43
4.2.3	荷重及び荷重の組合せ	45
4.2.4	許容限界	46
4.2.5	評価方法	48
4.2.6	評価条件	59
5.	タービン建物地下1階復水器室北側防水壁	61
5.1	固有振動数及び設計用地震力	61

5.1.1	固有振動数の算出方法	61
5.1.2	設計用地震力	65
5.2	耐震評価方法	66
5.2.1	記号の説明	66
5.2.2	評価対象部位	69
5.2.3	荷重及び荷重の組合せ	71
5.2.4	許容限界	72
5.2.5	評価方法	74
5.2.6	評価条件	86
6.	タービン建物地下1階復水器室北東側防水壁	88
6.1	固有振動数及び設計用地震力	88
6.1.1	固有振動数の算出方法	88
6.1.2	設計用地震力	92
6.2	耐震評価方法	93
6.2.1	記号の説明	93
6.2.2	評価対象部位	98
6.2.3	荷重及び荷重の組合せ	100
6.2.4	許容限界	101
6.2.5	評価方法	103
6.2.6	評価条件	119
7.	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁	121
7.1	固有振動数及び設計用地震力	121
7.1.1	固有振動数の算出方法	121
7.1.2	固有振動数の算出結果	127
7.1.3	設計用地震力	129
7.2	耐震評価方法	130
7.2.1	記号の説明	130
7.2.2	評価対象部位	133
7.2.3	荷重及び荷重の組合せ	134
7.2.4	許容限界	137
7.2.5	評価方法	139
7.2.6	評価条件	149
8.	取水槽除じん機エリア防水壁	153
8.1	固有振動数及び設計用地震力	153
8.1.1	固有振動数の算出方法	153
8.1.2	固有振動数の計算条件	155

8.1.3	固有振動数の算出結果	156
8.1.4	設計用地震力	156
8.2	耐震評価方法	157
8.2.1	記号の説明	157
8.2.2	評価対象部位	159
8.2.3	荷重及び荷重の組合せ	161
8.2.4	許容限界	163
8.2.5	評価方法	165
8.2.6	評価条件	174
9.	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））	176
10.	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））	176
11.	取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁（区間-2）	176
12.	評価結果	177

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の構造強度及び機能維持の設計方針並びにVI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に基づき、タービン建物復水器エリア防水壁、ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁、取水槽除じん機エリア防水壁及び取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁（以下「防水壁」という。）が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説明するものである。

その耐震評価は、防水壁に要求される機能の維持を確認するために、応力評価に基づく、構造部材の健全性評価により行う。

防水壁は、設計基準対象施設においては耐震設計上の重要度分類Sクラス、C-1*クラス及びC-2*クラスに分類される。

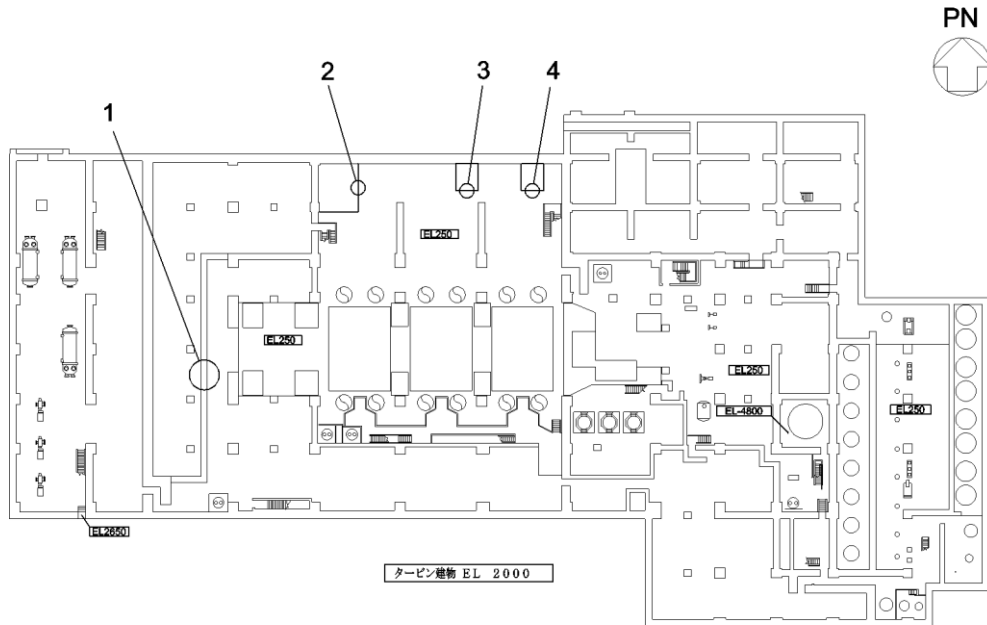
以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

注記*：工事計画の基本方針に示す原子炉本体の主要設備リストに記載される略語のうち、C-1クラスは波及的影響によって、耐震重要施設がその安全性を損なわないように設計するもの、また、C-2クラスは基準地震動による地震力に対して火災感知及び消火の機能又は溢水伝播を防止する機能を保持できる設計とするもの。

2. 一般事項

2.1 配置概要

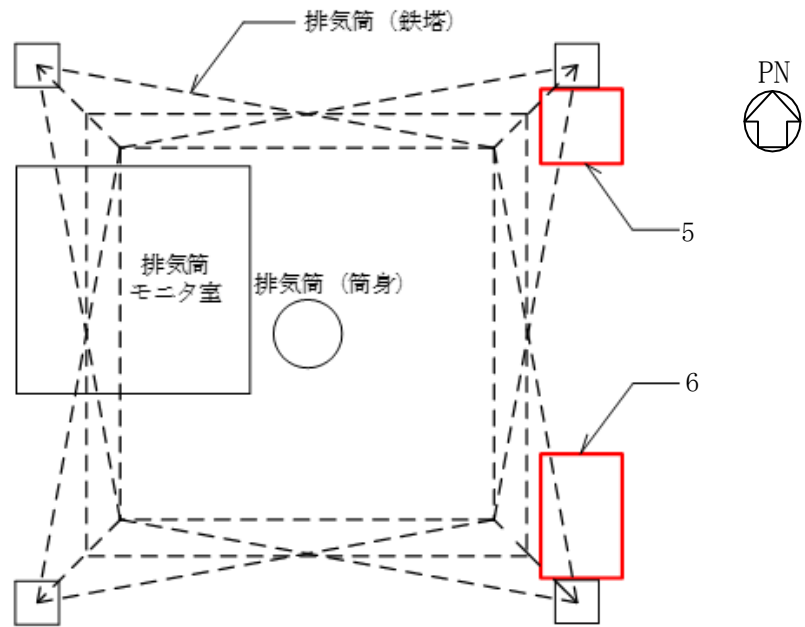
防水壁の一覧及び設置位置図を図 2-1 に示す。



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*

注記*：耐震設計上の重要度分類 S クラス施設を示す。

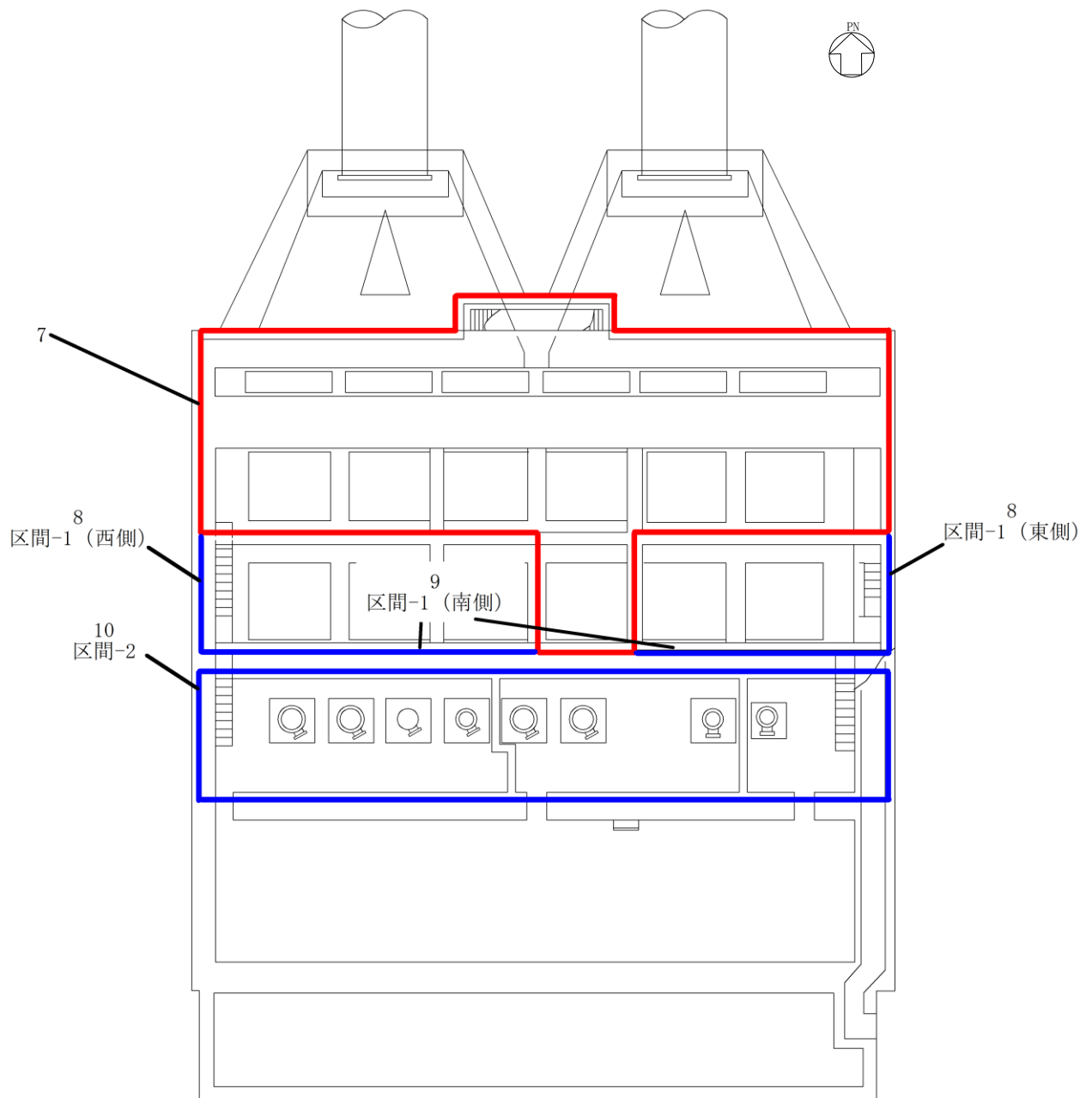
図 2-1(1) 防水壁の設置位置図 (タービン建物復水器エリア)



5	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*
6	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*

注記*：耐震設計上の重要度分類C-1，C-2クラス施設を示す。

図 2-1(2) 防水壁の設置位置図 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア)



7	取水槽除じん機エリア防水壁* ¹
8	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)) * ²
9	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)) * ²
10	取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁 (区間-2) * ²

注記*1：耐震設計上の重要度分類Sクラス施設を示す。

*2：耐震設計上の重要度分類C-1, C-2クラス施設を示す。

図 2-1(3) 防水壁の設置位置図
(取水槽除じん機エリア, 取水槽海水ポンプエリア)

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>柱 胴縁 A/A</p> <p>平面図 (はり伏図) 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-2-10-2-8 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>

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>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>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>

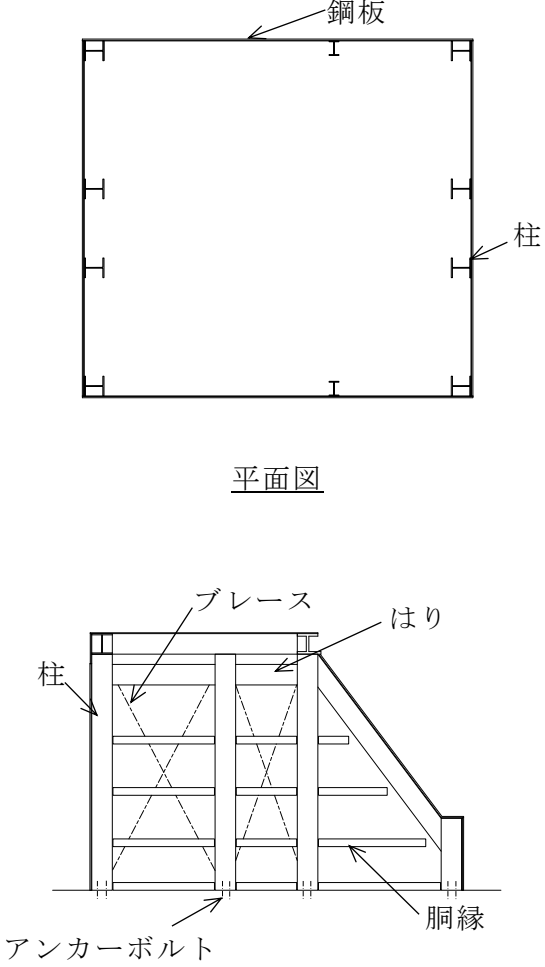
2.2.2 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁

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、はり、柱、胴縁、ブレース及びアンカーボルトにより構成され、既設コンクリートを基礎として、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 2-2 に示す。

表 2-2(1) 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
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

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<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>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>	<div style="text-align: center;"> <p>鋼板</p> <p>柱</p> <p>平面図</p> <p>ブレース</p> <p>はり</p> <p>柱</p> <p>胴縁</p> <p>アンカーボルト</p> <p>軸組図</p> </div>

表 2-2(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構造計画
 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

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
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。	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。	<div style="text-align: center;">  <p>平面図</p> <p>軸組図</p> </div> <p>平面図: 鋼板、柱</p> <p>軸組図: ブレース、はり、柱、アンカーボルト、胴縁</p>

S2 補 VI-2-10-2-8 R1

2.2.3 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、取水槽にアンカーボルトで固定する構造とする。

取水槽除じん機エリア防水壁の構造計画を表 2-3 に示す。

表 2-3 取水槽除じん機エリア防水壁の構造計画 (1/2)

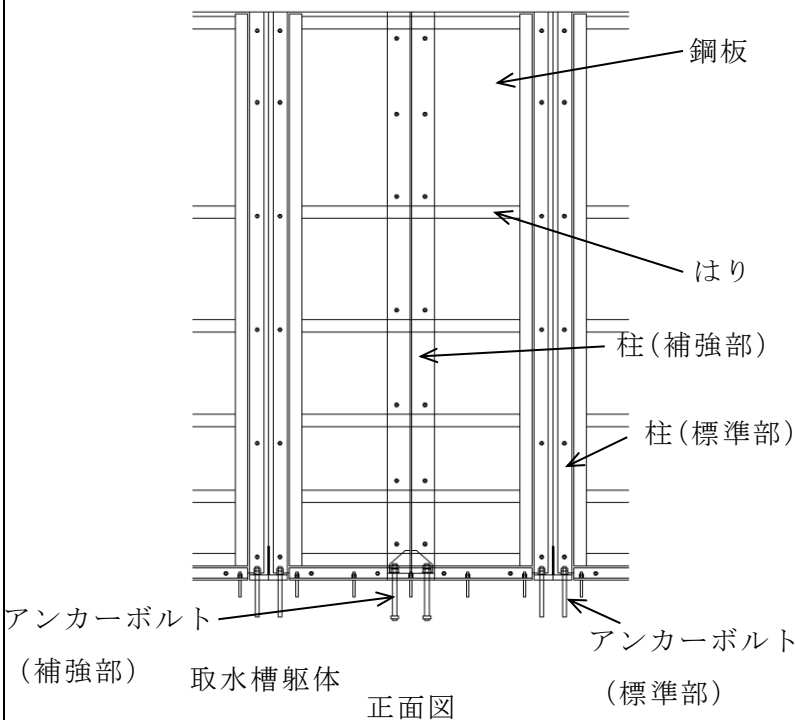
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
はり、柱で補強した鋼板を取水槽にアンカーボルトにて固定する。	鋼板、柱、はり、アンカーボルトにより構成する。	

表 2-3 取水槽除じん機エリア防水壁の構造計画 (2/2)

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。	

S2 補 VI-2-10-2-8 R1

2.2.4 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁

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 2-4 に示す。

表 2-4(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	
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 style="text-align: center;">正面図</p> <p style="text-align: center;">断面図</p>

表 2-4(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	
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>

表 2-4(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	
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>

2.3 評価方針

防水壁の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す防水壁の構造を踏まえ、第3章～第8章の各章において、「評価対象部位」にて設定する評価対象部位について、「固有振動数及び設計用地震力」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界以下であることを、「3.2 耐震評価方法」、「4.2 耐震評価方法」、「5.2 耐震評価方法」、「6.2 耐震評価方法」、「7.2 耐震評価方法」及び「8.2 耐震評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「12. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図2-2に示す。

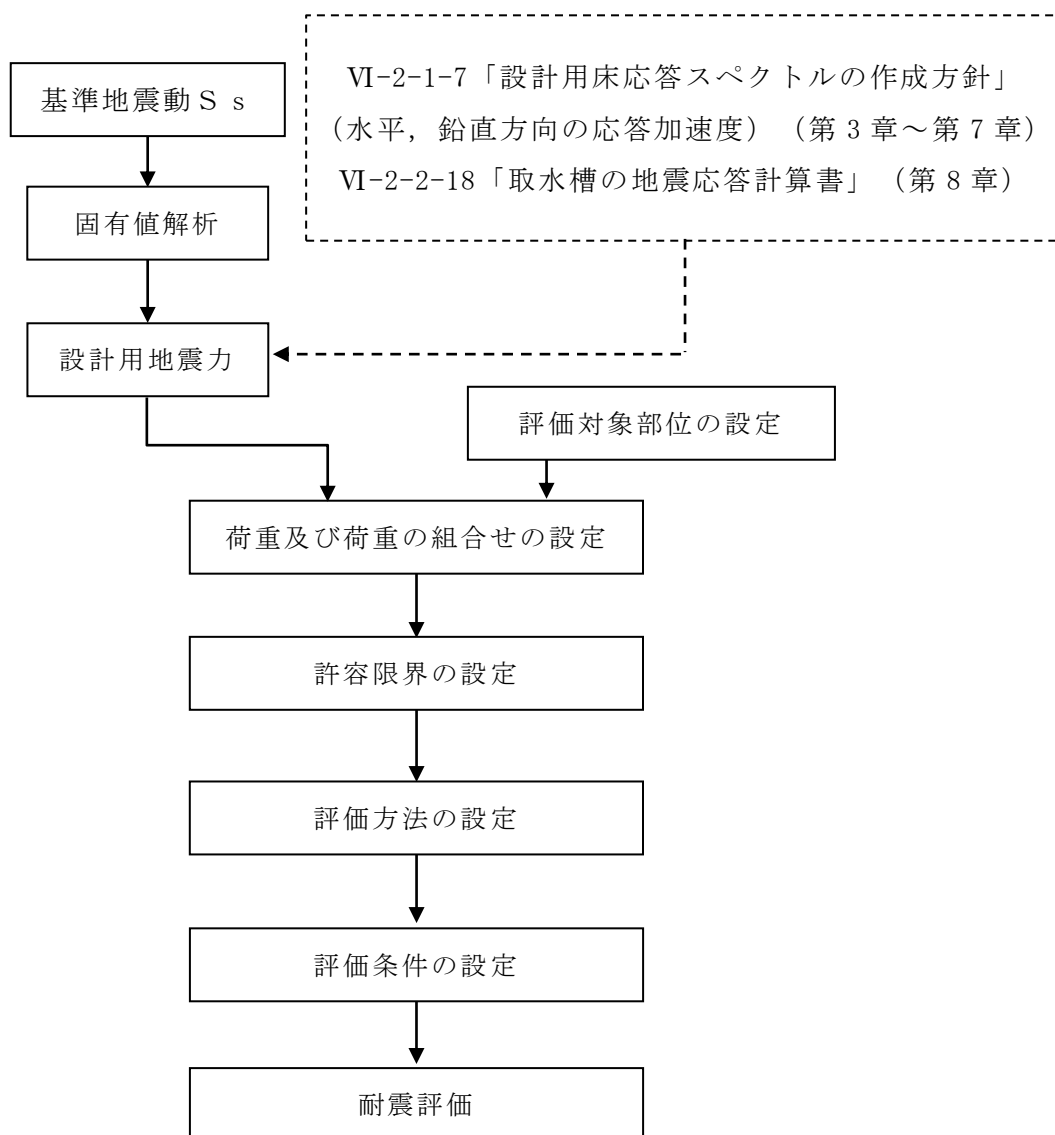


図2-2 防水壁の耐震評価フロー

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）
- ・ 構造力学公式集（（社）土木学会）
- ・ 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. タービン建物地下1階復水系配管室防水壁

3.1 固有振動数及び設計用地震力

3.1.1 固有振動数の算出

タービン建物地下1階復水系配管室防水壁の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防水壁は、鋼板、胴縁及び柱により構成しており、アンカーボルトにて躯体に固定する構造であることから、当該防水壁の柱及び胴縁を両端ピンばりに単純化したモデルとし、モデル化に用いるはり長さは、柱及び胴縁の全長とする。

図3-1に解析モデル図を示す。

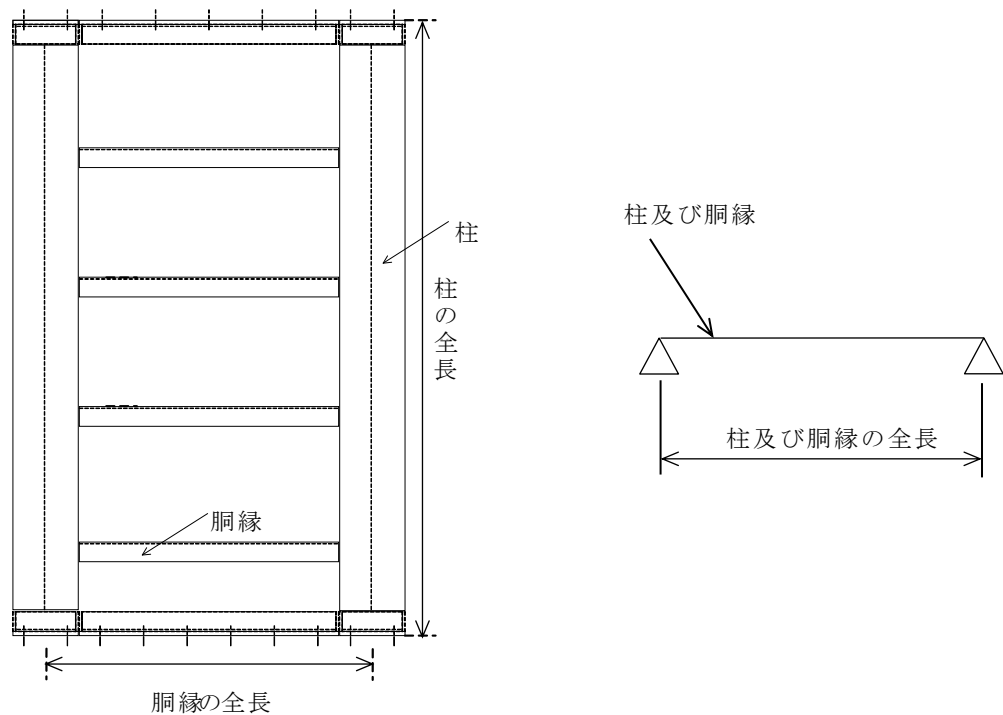


図3-1 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防水壁の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
L	mm	モデル化に用いる胴縁及び柱の全長
E	N/m ²	ヤング係数
I	mm ⁴	断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布

(3) 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「構造力学公式集（（社）土木学会）」（以下「構造力学公式集」という。）に基づき以下の式より算出する。

ここで、固有振動数は水平方向（防水壁面外方向）について算出するものとし、鉛直方向（防水壁面内方向）については、防水壁に配された鉛直方向の部材等の軸剛性が十分に大きいため、固有振動数の算出を省略する。

a. 両端ピンばりモデル（柱及び胴縁をモデル化）

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

(4) 固有振動数の算出結果

固有振動数の算出条件及び算出結果を表 3-2 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-2 固有振動数 (柱, 胴縁)

項目	記号	単位	数値	
			柱	胴縁
モデル化に用いる胴縁及び柱の全長	L	mm	2816	1500
ヤング係数	E	N/m ²	2.05×10 ¹¹	2.05×10 ¹¹
断面二次モーメント	I	mm ⁴	20.20×10 ⁷	24.90×10 ⁶
質量分布	m	kg/m	533.9	157.2
固有振動数	f	Hz	55.167	125.802

3.1.2 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、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。

設計震度は当該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。

当該防水壁の設計震度を表3-3に示す。

表3-3 設計震度

建物	設置場所	基準地震動 S_s の 設計震度*	
		水平 k_H	鉛直 k_V
タービン建物	EL 2.0m	1.28	0.60

注記*：設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

3.2 耐震評価方法

3.2.1 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 3-4 に示す。

表 3-4 タービン建物地下 1 階復水系配管室防水壁の耐震評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
w_1	kN/m	鋼板に作用する地震荷重による等分布荷重
S_s	kN/m	水平地震荷重
t	mm	鋼板の厚さ
α_H	—	水平方向の設計震度
ρ_s	t/m ³	鋼板の密度
g	m/s ²	重力加速度
b_1	mm	鋼板の幅
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
L_1	mm	鋼板の短辺長さ
Z_1	mm ³	鋼板の断面係数
w_2	kN/m	胴縁に作用する地震荷重による等分布荷重
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
L_2	mm	胴縁全長
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
Q_2	kN	胴縁のせん断力
A_{s2}	mm ²	胴縁のせん断断面積
$s f_{t2}$	N/mm ²	胴縁の短期許容引張応力度

表 3-4 タービン建物地下 1 階復水系配管室防水壁の耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
w_3	kN/m	柱に作用する地震荷重による等分布荷重
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・m	柱の曲げモーメント
L_3	mm	柱全長
Z_3	mm ³	柱の断面係数
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
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 本あたりのせん断力
Q_4	kN	柱のせん断力
n	本	柱に取り付くアンカーボルトの本数

3.2.2 評価対象部位

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

基準地震動 S_s による地震動により当該防水壁に生じる慣性力は鋼板、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3-2に示す。

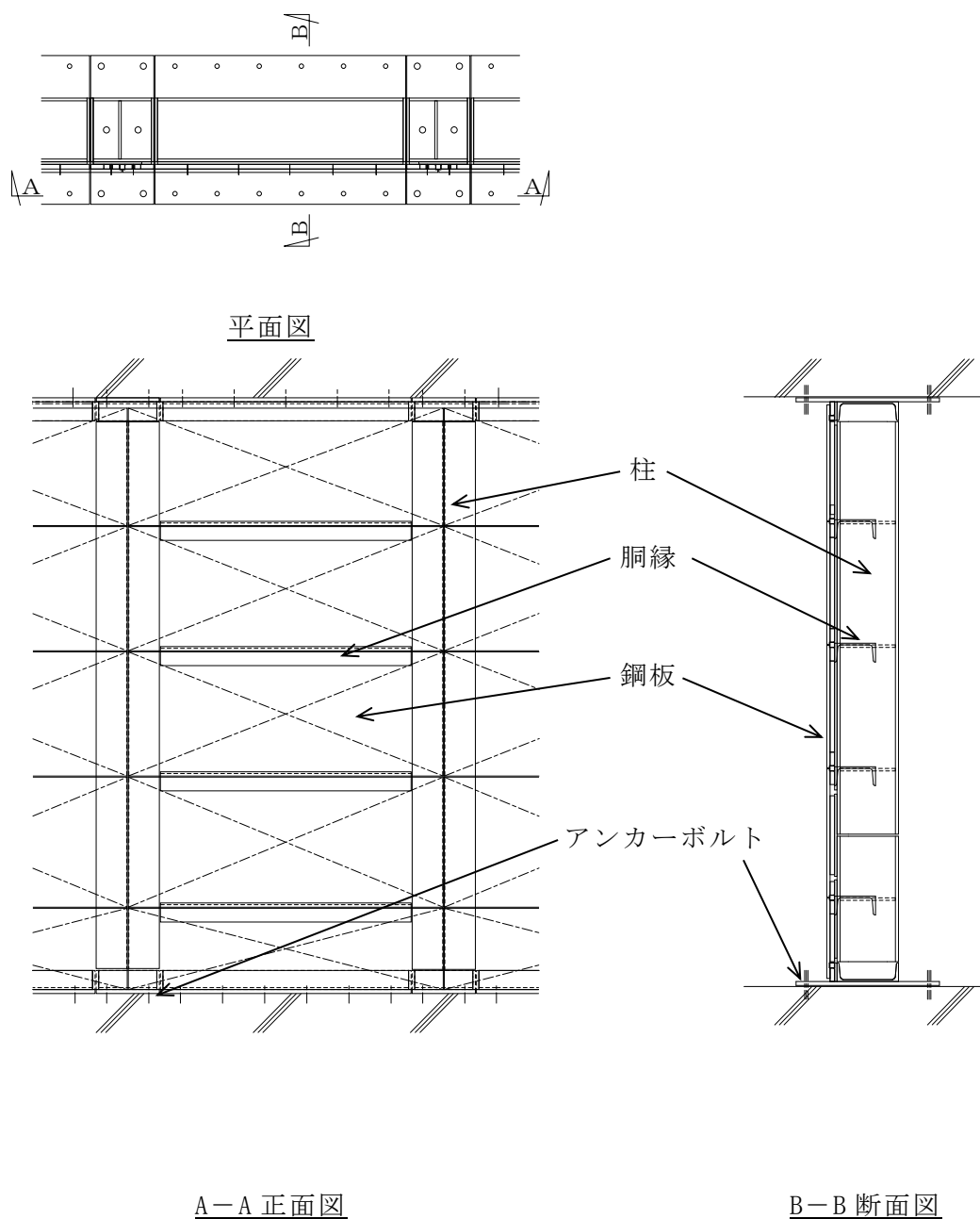


図3-2 評価対象部位

3.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$G + S_s$

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防水壁の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「3.1.2 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

3.2.4 許容限界

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

(1) 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

3.2.5 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算出する。鋼板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

$$w_1 = S_s$$

w_1 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

b_1 : 鋼板の幅 (単位幅 : 1000mm)

S_s : 水平地震荷重 ($t \cdot b_1 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$) (kN/m)

t : 鋼板の厚さ (mm)

α_H : 水平方向の設計震度

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)

L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

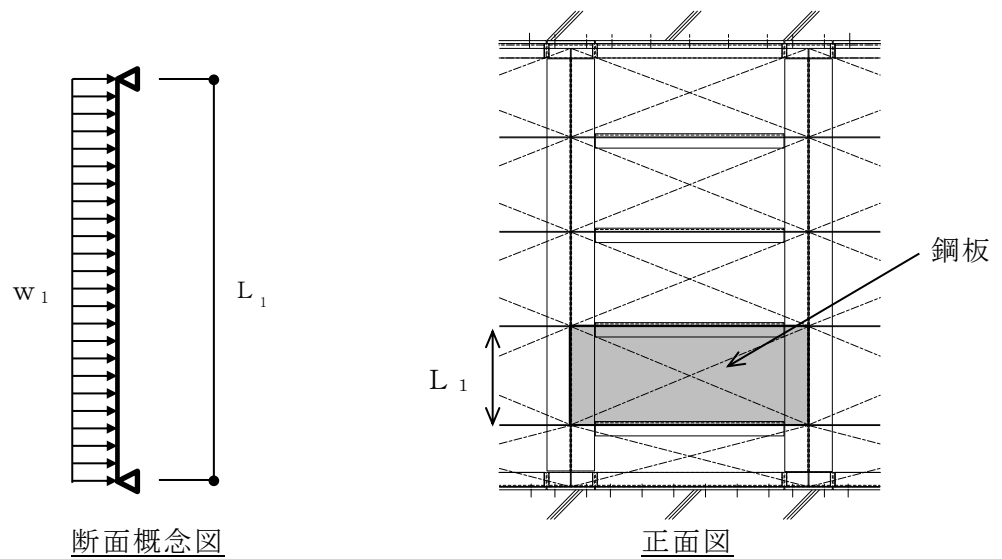


図 3-3 鋼板に作用する荷重の例

(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算出する。胴縁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

$$w_2 = S_s$$

w_2 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

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

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m^3)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_2 : 胴縁の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s^2)

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/mm^2)

M_2 : 胴縁の曲げモーメント ($kN \cdot m$)

- L_2 : 洞縁全長 (mm)
 Z_2 : 洞縁の断面係数 (mm³)

c. 洞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 : 洞縁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : 洞縁のせん断力 (kN)

L_2 : 洞縁全長 (mm)

A_{s2} : 洞縁のせん断断面積 (mm²)

d. 洞縁に生じる組合せ応力度

洞縁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、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 : 洞縁に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_2 : 洞縁に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_{t2} : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

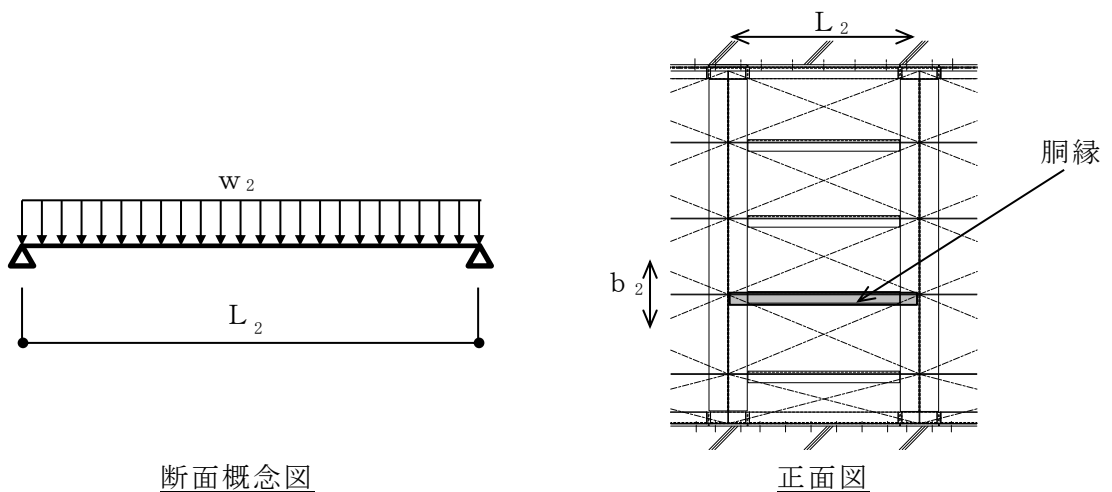


図 3-4 洞縁に作用する荷重の例

(3) 柱

柱に生じる応力は、柱を両端ピンの単純ばりとして算出する。柱に作用する荷重の例を図 3-5 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_3 = S_s$$

w_3 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

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

b_3 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

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 : 水平方向の設計震度

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)

L_3 : 柱全長 (mm)

Z_3 : 柱の断面係数 (mm³)

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)

L_3 : 柱全長 (mm)

A_{s3} : 柱のせん断断面積 (mm^2)

d. 柱に生じる組合せ応力度

柱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、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/mm^2)

τ_3 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm^2)

f_{t3} : 短期許容引張応力度 (N/mm^2)

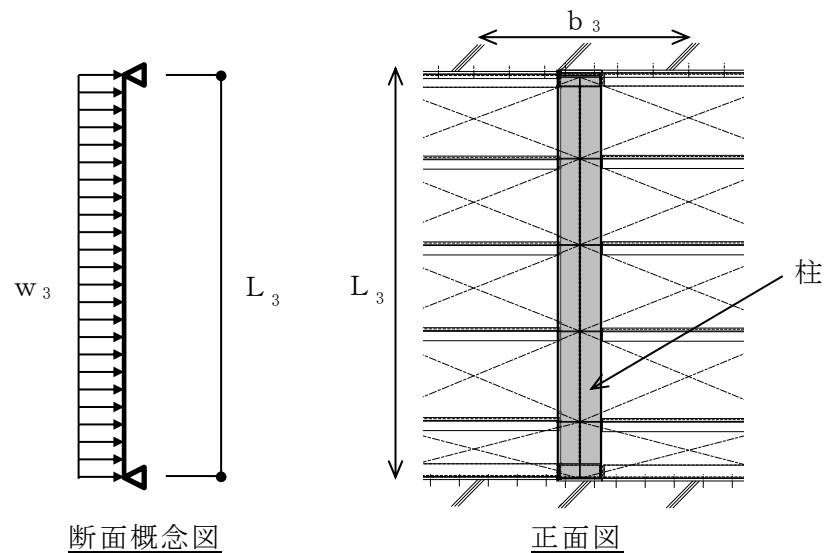


図 3-5 柱に作用する荷重の例

(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 3-6 に示す。

$$Q_d = Q_4 / n$$

Q_d : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_4 : 柱のせん断力 (kN)

n : 柱に取り付くアンカーボルトの本数 (本)

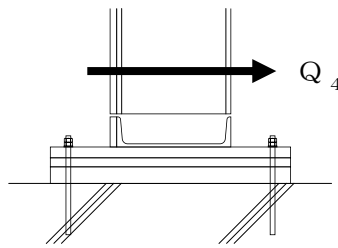


図 3-6 アンカーボルトに生じる荷重の例

3.2.6 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 3-8 に示す。

表 3-8 耐震評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	g	m/s^2	重力加速度	9.80665
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.28
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	6.400×10^4
	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	46.9
	L_2	mm	胴縁全長	1500
	Z_2	mm^3	胴縁の断面係数	2490×10^2
	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 固有振動数及び設計用地震力

4.1.1 固有振動数の算出

タービン建物地下1階復水器室北西側防水壁の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防水壁は、各部位の寸法や形状を踏まえ、胴縁を両端ピンばりに、柱及びはりをはり要素でモデル化し、実情に合わせて境界条件を定めた解析モデルとする。解析モデル図を図4-1に示す。

解析に用いる部材の物性値は以下する。

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

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

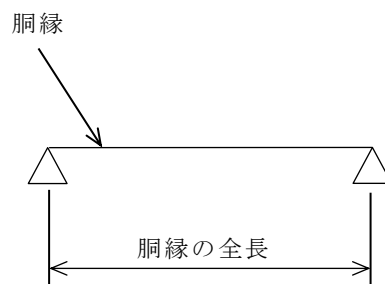


図4-1 固有値解析モデル(1/2)

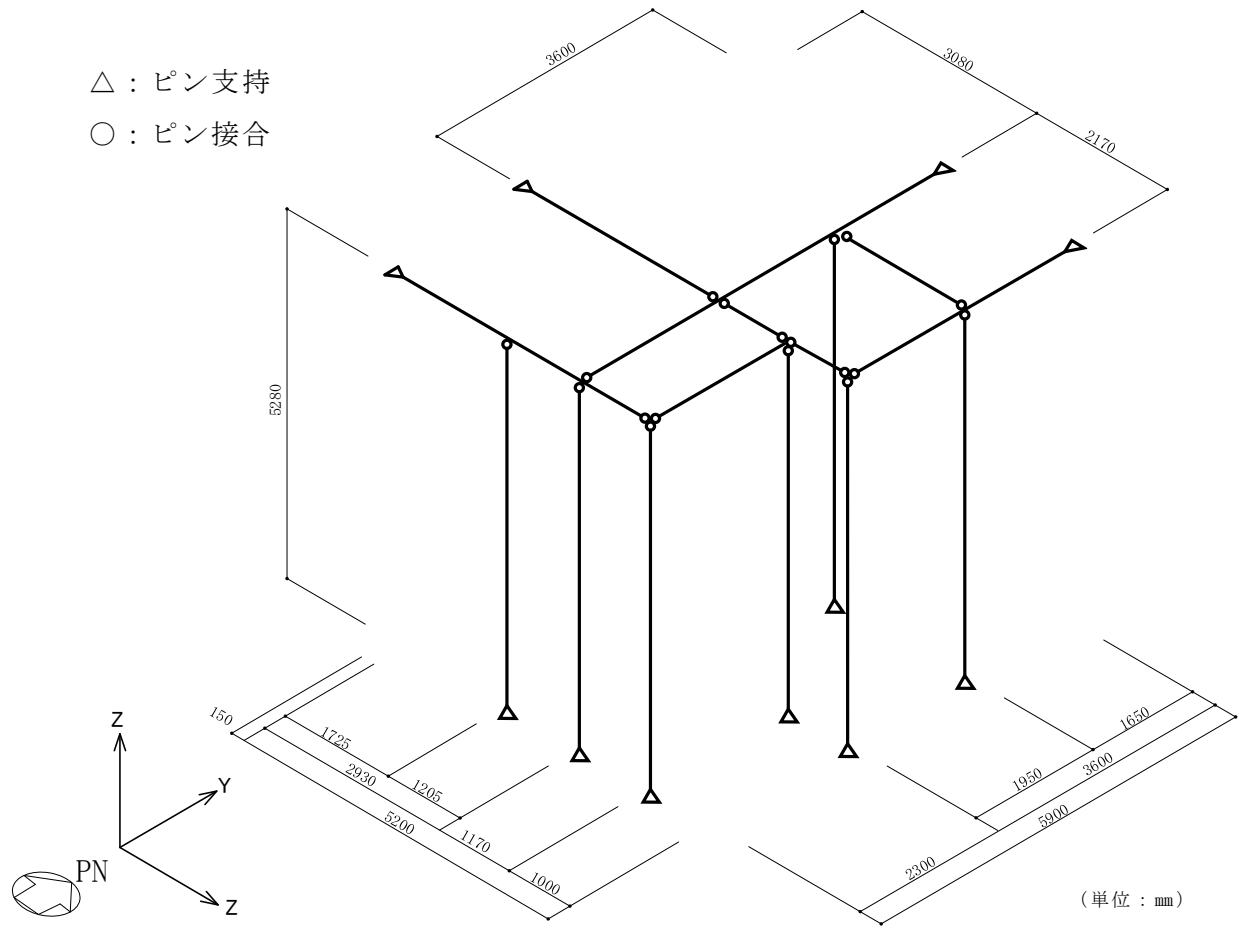


図 4-1 固有値解析モデル (2/2)

(2) 記号の説明

当該防水壁の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
L	mm	モデル化に用いる胴縁の長さ及び鋼板の短辺長さ
E	N/m ²	ヤング係数
I	mm ⁴	断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布

(3) 固有振動数の算出方法

胴縁については、「構造力学公式集」に基づき以下の式より固有振動数を算出する。

a. 両端ピンばりモデル（胴縁をモデル化）

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

柱及びはりは、「(1) 解析モデルの設定」にて設定した解析モデルを用いて、固有値解析により算出する。解析に使用するコードは、「KANSAS2」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) 固有振動数の算出結果

胴縁の固有振動数の算出条件及び算出結果を表 4-2 に、柱及びはりの固有振動数の算出結果を表 4-3 に示す。

表 4-2 固有振動数（胴縁）

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる胴縁の長さ	L	mm	2300
ヤング係数	E	N/m ²	2.05×10 ¹¹
断面二次モーメント	I	mm ⁴	29000×10 ⁴
質量分布	m	kg/m	344.2
固有振動数	f	Hz	123.406

表 4-3 固有振動数（柱及びはり）

設備名称	方向		固有振動数	固有周期
			f (Hz)	T (s)
タービン建物地下1階 復水器室北西側防水壁	水平方向	N S 方向	19.780	0.0506
		E W 方向	30.391	0.0329
	鉛直方向		55.263	0.0181

4.1.2 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、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、設計震度は当該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。当該防水壁の設計震度を表 4-4 に示す。

表 4-4 設計震度

設置場所		タービン建物 EL 0.25m		
固有周期 (s)		NS 方向 : 0.0506 EW 方向 : 0.0329 鉛直 : 0.0181		
減衰定数 (%)		NS 方向 : 2.0 EW 方向 : - 鉛直 : -		
地震力		基準地震動 S_s		
モード	固有周期 (s)	水平震度		鉛直震度
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.0506	3.93 ^{*1}	-	-
動的地震力 ^{*2}		-	1.21	0.60

注記*1 : 設計用床応答スペクトル I (S_s) に基づき設定した震度

*2 : 設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

4.2 耐震評価方法

4.2.1 記号の説明

当該防水壁の評価に用いる記号を表 4-5 に示す。

表 4-5 タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁の耐震評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
w_1	kN/m	鋼板に作用する地震荷重による等分布荷重
g	m/s^2	重力加速度
b_1	mm	鋼板の幅
α_H	—	水平方向の設計震度
α_V	—	鉛直方向の設計震度
S_s	kN/m	水平地震荷重
S_{sv}	kN/m	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	$kN \cdot m$	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	胴縁に作用する水平地震荷重による等分布荷重
w_{y2}	kN/m	胴縁に作用する鉛直地震荷重による等分布荷重
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}	$kN \cdot m$	胴縁の強軸回りの曲げモーメント
M_{y2}	$kN \cdot m$	胴縁の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
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

表 4-5 タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁の耐震評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
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地震荷重による等分布荷重
w_{y3}	kN/m	柱の弱軸方向に作用する地震荷重による等分布荷重
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}	$\text{kN} \cdot \text{m}$	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
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
$s f_{t3}$	N/mm^2	柱の短期許容引張応力度
w_{x4}	kN/m	はりに作用する水平地震荷重による等分布荷重
w_{y4}	kN/m	はりに作用する鉛直地震荷重による等分布荷重
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}	$\text{kN} \cdot \text{m}$	はりの強軸回りの曲げモーメント

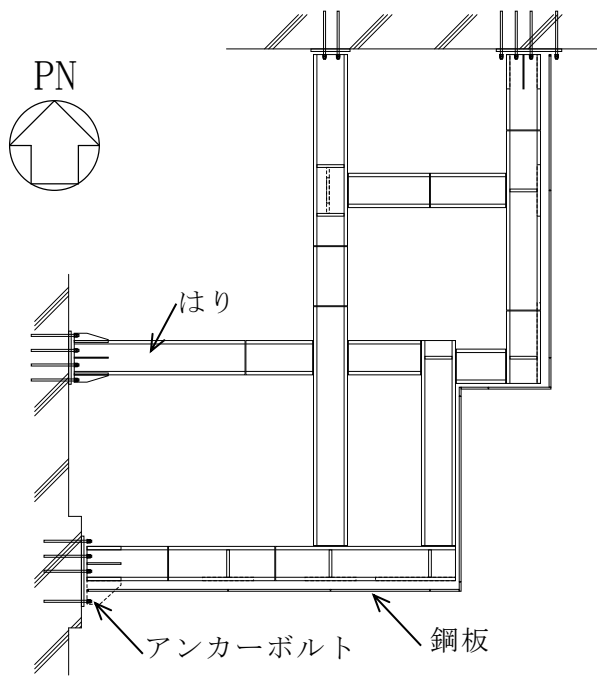
表 4-5 タービン建物地下 1 階復水器室北西側防水壁の耐震評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
b_4	mm	はりに作用する荷重の負担幅
m_4	kg/m	はりの質量分布
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
P_4	kN	柱の反力
L_a	mm	はり支点間距離のうち長い方
L_b	mm	はり支点間距離のうち短い方
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
Q_4	kN	柱の反力
N_4	kN	はりの軸力
$s f_{bx4}$	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	柱又ははりの引張力
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 本あたりの引張力
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 本あたりのせん断力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

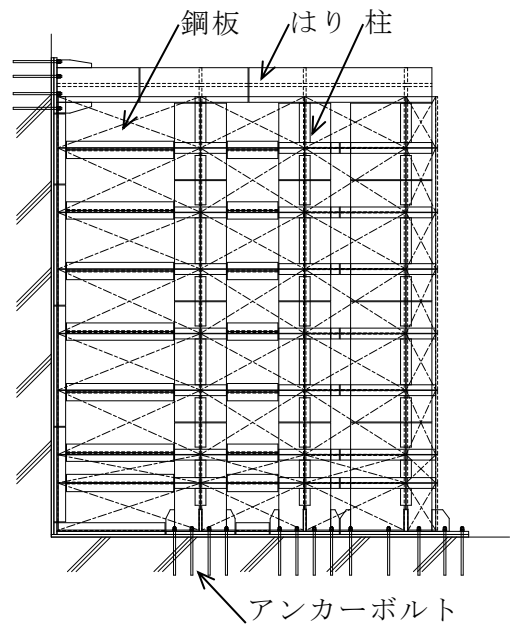
4.2.2 評価対象部位

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

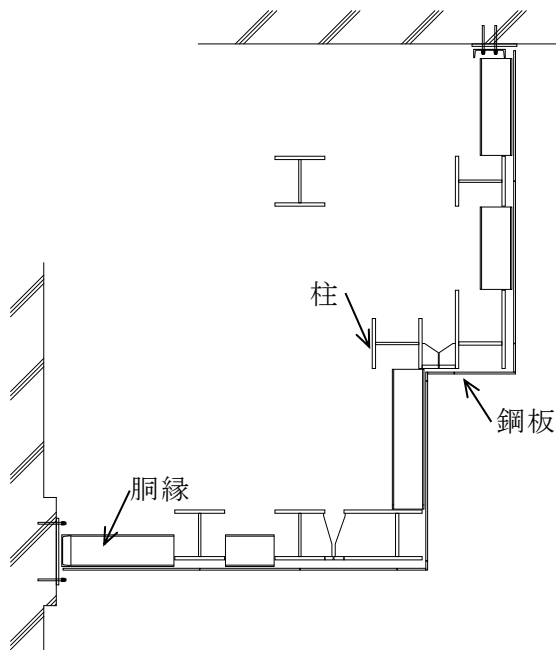
基準地震動 S_s による地震力により当該防水壁に生じる慣性力は鋼板、胴縁、はり及び柱に伝わり、はり及び柱を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、胴縁、柱、はり及びアンカーボルトとする。評価対象部位を図 4-2 に示す。



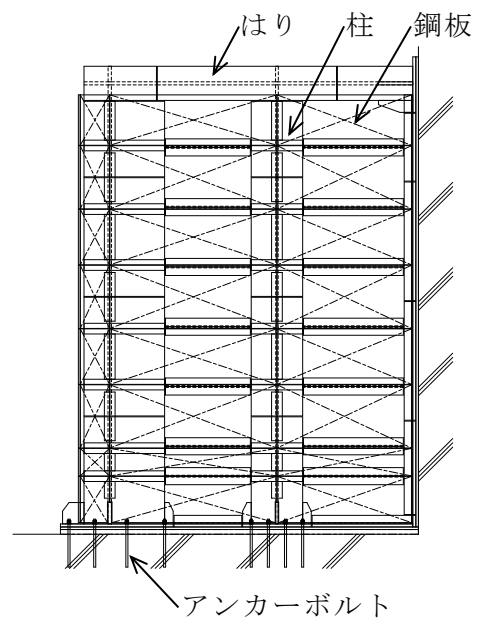
平面図 (はり伏図)



正面図 (南面)



平面図



正面図 (東面)

図 4—2 評価対象部位

4.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$G + S_s$

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防水壁の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「4.1.2 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.2.4 許容限界

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

(1) 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4-6に示す。

表4-6 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4-7の値とする。

表4-7 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
SN490B	325	325	325	187

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 4-8 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、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 4-8 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

4.2.5 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算出する。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

$$w_1 = S_s$$

w_1 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

b_1 : 鋼板の幅 (単位幅: 1000mm)

S_s : 水平地震荷重 ($t \cdot b_1 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$) (kN/m)

t : 鋼板の厚さ (mm)

α_H : 水平方向の設計震度

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)

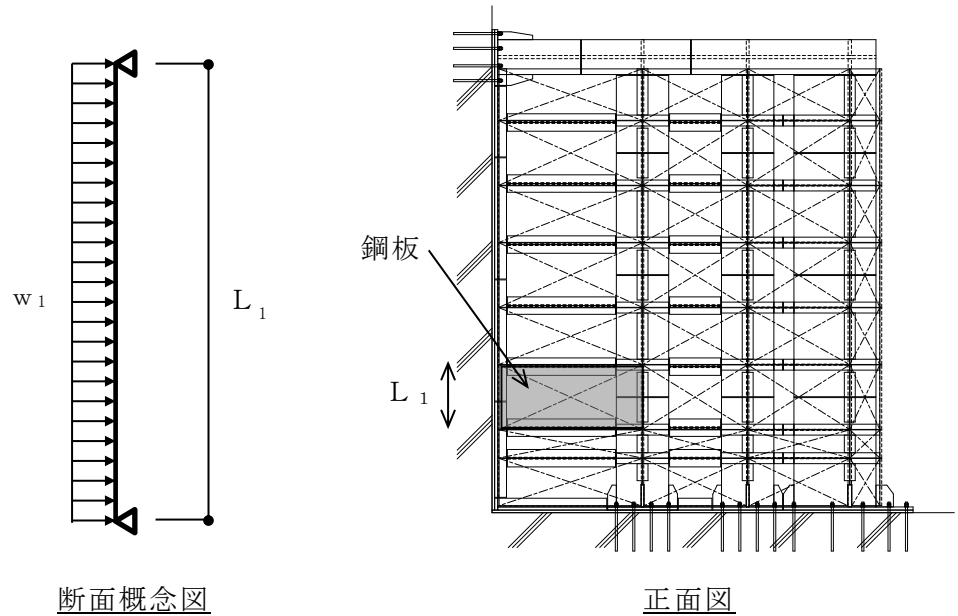


図 4-3 鋼板に作用する荷重の例

(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算出する。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

$$w_{x2} = S s$$

$$w_{y2} = S s v$$

w_{x2} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y2} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

$S s$: 水平地震荷重 (kN/m)

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

$S s v$: 鉛直地震荷重 (kN/m)

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

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

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 : 水平方向の設計震度

α_V : 鉛直方向の設計震度

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

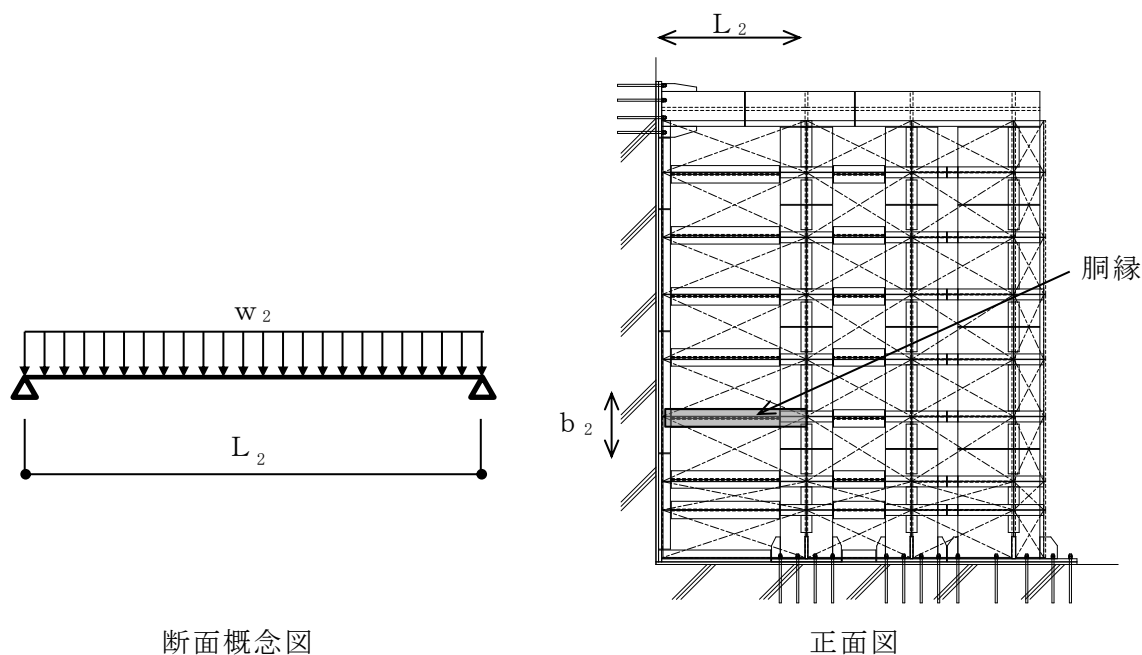
胴縁に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

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

$\sigma_{bx2}, \sigma_{by2}$: 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 4-4 洞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算出する。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

$$w_{x3} = S s$$

$$w_{y3} = S s$$

w_{x3} : 強軸方向に作用する地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y3} : 弱軸方向に作用する地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

$S s$: 水平地震荷重 (kN/m)

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

b_3 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

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)

b_2 : 洞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 : 水平方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

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/mm²)

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

$Z_{x 3}, Z_{y 3}$: 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

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

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

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

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

$\tau_{x 3}, \tau_{y 3}$: 柱に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

$Q_{x 3}, Q_{y 3}$: 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 (mm²)

L_3 : 柱全長 (mm)

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/mm²)

$N_{c (t) 3}$: 柱の圧縮又は引張軸力 (kN)

$A_{g 3}$: 柱の断面積 (mm²)

N_3 : 柱の軸力 (kN)

α_v : 鉛直方向の設計震度

e. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度及び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)

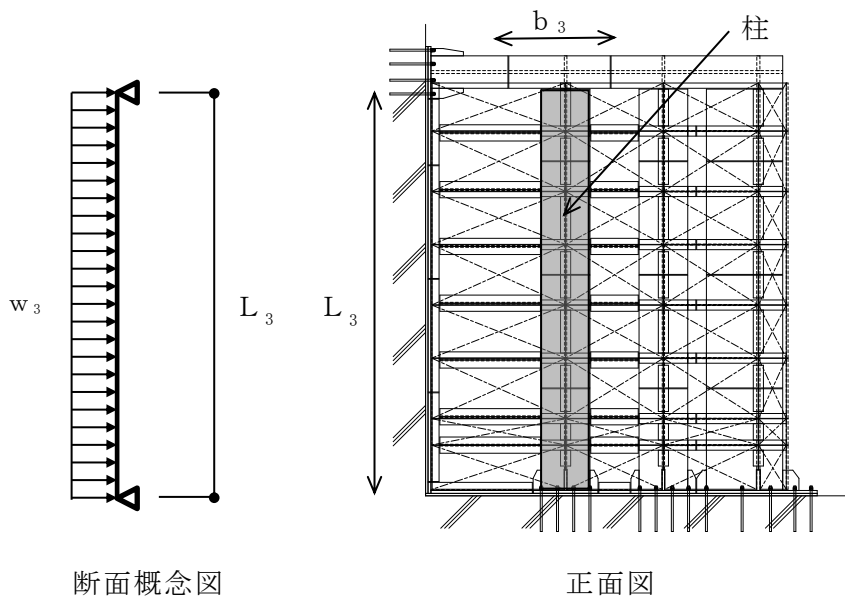


図 4-5 柱に作用する荷重の例

(4) はり

はりに生じる応力は、はりを両端ピンの単純ばりとして算出する。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

$$w_{x4} = S_s$$

$$w_{y4} = S_{sv}$$

w_{x4} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y4} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_4 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 / b_2 \cdot b_4 \cdot 10^{-3} + m_4 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

S_{sv} : 鉛直地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_4 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 / b_2 \cdot b_4 \cdot 10^{-3} + m_4 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_V \cdot g \right)$$

b_4 : はりに作用する荷重の負担幅 (mm)

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)

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

m_4 : はりの質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

α_V : 鉛直方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. はりに生じる曲げ応力度

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

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

$$M_{x4} = w_{x4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2 / 8 + P_4 \cdot L_a \cdot L_b / L_4$$

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

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: 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)

P_4 : 柱の反力 (kN)

L_a : はり支点間距離のうち長い方 (mm)

L_b : はり支点間距離のうち短い方 (mm)

c. はりに生じるせん断応力度

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

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

$$Q_{x4} = w_{x4} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3}) / 2 + P_4 \cdot L_a / L_4$$

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

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)

L_4 : はり全長 (mm)

P_4 : 柱の反力 (kN)

L_a : はり支点間距離のうち長い方 (mm)

d. はりに生じる軸応力度

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

$$N_{c(t)4} = Q_4 + N_4 \cdot \alpha_H$$

$\sigma_{c(t)4}$: 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)

Q_4 : 柱の反力 (kN)

N_4 : はりの軸力 (kN)

α_H : 水平方向の設計震度

e. はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度及び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。

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

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: 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)

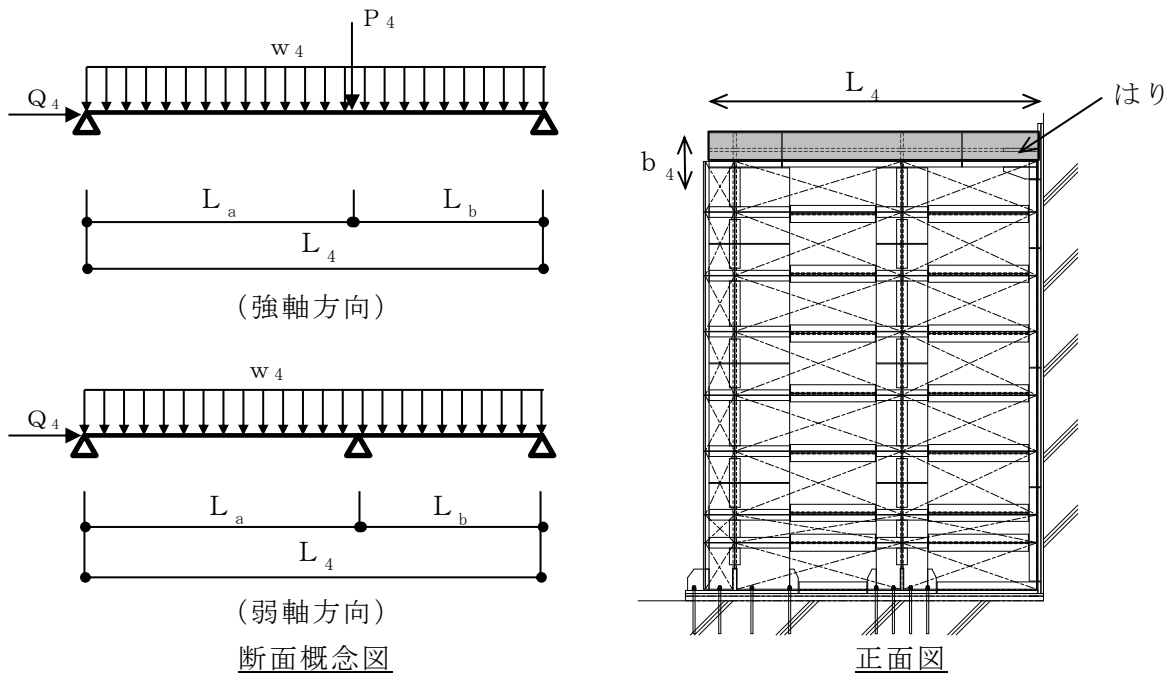


図 4-6 はりに作用する荷重の例

(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_{d5} : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

T_5 : 柱又ははりの引張力 (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_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_{d5} : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

Q_5 : 柱又ははりのせん断力 (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)

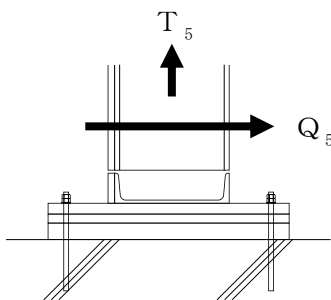


図 4-7 アンカーボルトに生じる荷重の例

4.2.6 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 4-9 に示す。

表 4-9 耐震評価に用いる条件(1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	g	m/s^2	重力加速度	9.80665
	α_H	—	水平方向の設計震度	3.93
	α_V	—	鉛直方向の設計震度	0.60
鋼板	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	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	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 4-9 耐震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	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
	L_4	mm	はり全長	3600
	L_a	mm	はり支点間距離のうち長い方	1950
	L_b	mm	はり支点間距離のうち短い方	1650
	P_4	kN	はりの強軸方向における柱からの反力	150.48
	Q_4	kN	はりの軸方向における柱からの反力	76.03
	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	14

5. タービン建物地下1階復水器室北側防水壁

5.1 固有振動数及び設計用地震力

5.1.1 固有振動数の算出方法

タービン建物地下1階復水器室北側防水壁の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防水壁は、各部位の寸法や形状を踏まえ、胴縁を両端ピンばりに、柱及びはりをはり要素でモデル化し、実情に合わせて境界条件を定めた解析モデルとする。解析モデル図を図5-1に示す。

解析の用いる部材の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 : $G = 0.79 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

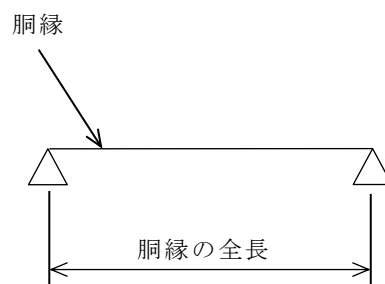


図5-1 固有値解析モデル(1/2)

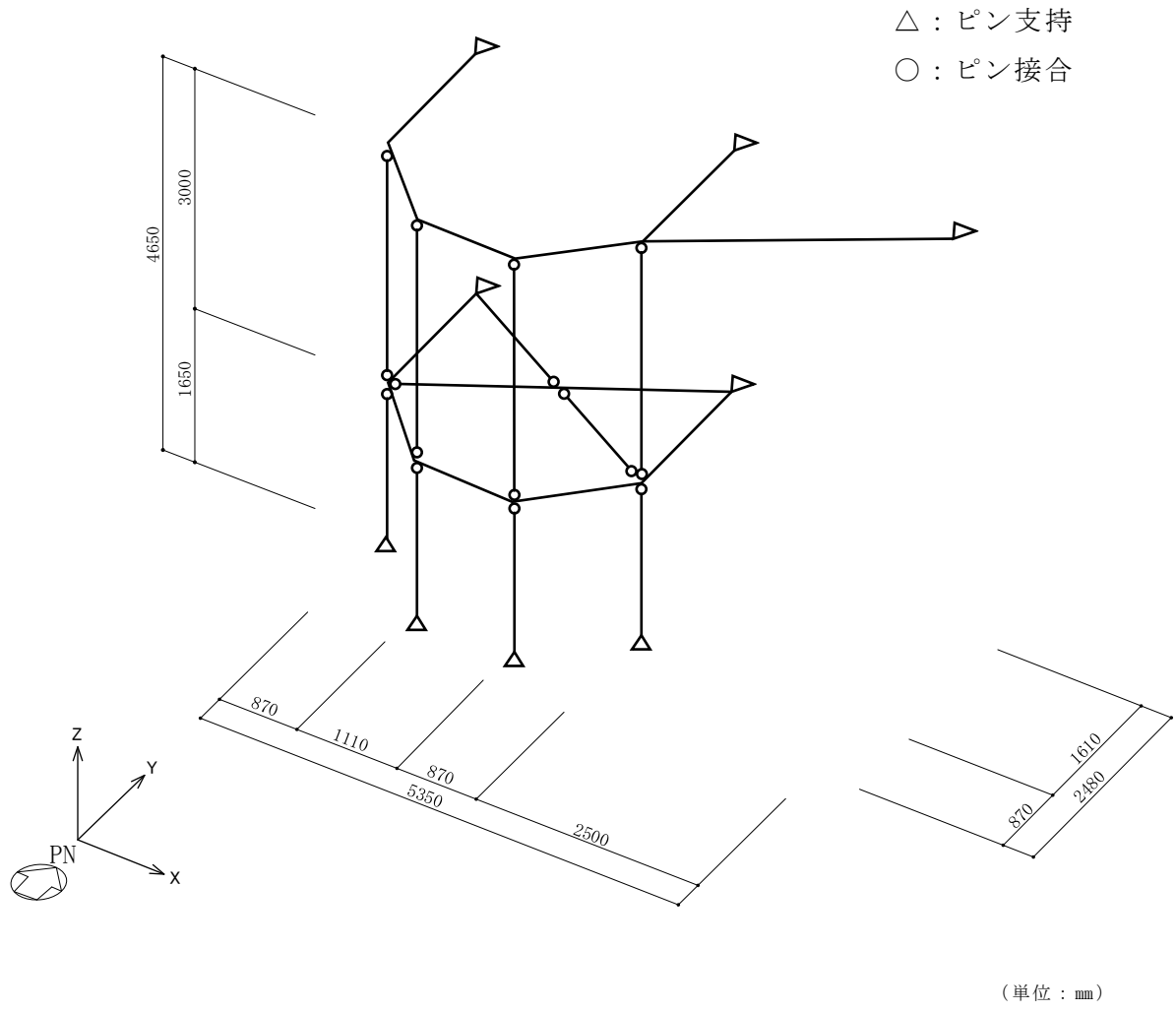


図 5-1 固有値解析モデル (2/2)

(2) 記号の説明

当該防水壁の固有振動数算出に用いる記号を表 5-1 に示す。

表 5-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
L	mm	モデル化に用いる胴縁の長さ
E	N/m ²	ヤング係数
I	mm ⁴	断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布

(3) 固有振動数の算出方法

胴縁については、「構造力学公式集」に基づき以下の式より固有振動数を算出する。

a. 両端ピンばりモデル（胴縁をモデル化）

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

柱及びはりは、「(1) 解析モデルの設定」にて設定した解析モデルを用いて、固有値解析により算出する。解析に使用するコードは、「KANSAS2」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) 固有振動数の算出結果

胴縁の固有周期の算出条件及び算出結果を表 5-2 に、柱及びはりの固有周期の算出結果を表 5-3 に示す。

表 5-2 固有振動数（胴縁）

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる胴縁の長さ	L	mm	1560
ヤング係数	E	N/m ²	2.05×10 ¹¹
断面二次モーメント	I	mm ⁴	29000×10 ⁴
質量分布	m	kg/m	386.5
固有振動数	f	Hz	253.146

表 5-3 固有振動数（柱及びはり）

設備名称	方向		固有振動数	固有周期
			f (Hz)	T (s)
タービン建物地下 1 階 復水器室北側防水壁	水平方向	N S 方向	65.040	0.0154
		E W 方向	48.321	0.0207
	鉛直方向		16.854	0.0593

5.1.2 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、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、設計震度は当該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。当該防水壁の設計震度を表 5-4 に示す。

表 5-4 設計震度

設置場所		タービン建物 EL 0.25m		
固有周期 (s)		NS 方向 : 0.0154 EW 方向 : 0.0207 鉛直 : 0.0593		
減衰定数 (%)		NS 方向 : - EW 方向 : - 鉛直 : 2.0		
地震力		基準地震動 S_s		
モード	固有周期 (s)	水平震度		鉛直震度
		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.0593	-	-	3.38* ¹
動的地震力* ²		1.28	1.21	-

注記*1 : 設計用床応答スペクトル I (S_s) に基づき設定した震度

*2 : 設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

5.2 耐震評価方法

5.2.1 記号の説明

当該防水壁の評価に用いる記号を表 5-5 に示す。

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

記号	単位	定義
w_1	kN/m	鋼板に作用する地震荷重による等分布荷重
α_H	—	水平方向の設計震度
α_V	—	鉛直方向の設計震度
g	m/s ²	重力加速度
b_1	mm	鋼板の幅
S_s	kN/m	水平地震荷重
S_{sv}	kN/m	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	胴縁に作用する水平地震荷重による等分布荷重
w_{y2}	kN/m	胴縁に作用する鉛直地震荷重による等分布荷重
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	胴縁の強軸回りの曲げモーメント
M_{y2}	kN・m	胴縁の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
Z_{y2}	mm ³	胴縁の弱軸回りの断面係数

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

記号	単位	定義
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地震荷重による等分布荷重
w_{y3}	kN/m	柱の弱軸方向に作用する地震荷重による等分布荷重
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
$s f_{t3}$	N/mm ²	柱の短期許容引張応力度

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

記号	単位	定義
w_{x4}	kN/m	はりに作用する水平地震荷重による等分布荷重
w_{y4}	kN/m	はりに作用する鉛直地震荷重による等分布荷重
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 本あたりの引張力
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	柱又ははりのせん断力
Q_{d6}	kN	アンカーボルト 1 本あたりのせん断力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

5.2.2 評価対象部位

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

基準地震動 S_s による地震力により当該防水壁に生じる慣性力は鋼板、胴縁、はり、柱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 5-2 に示す。

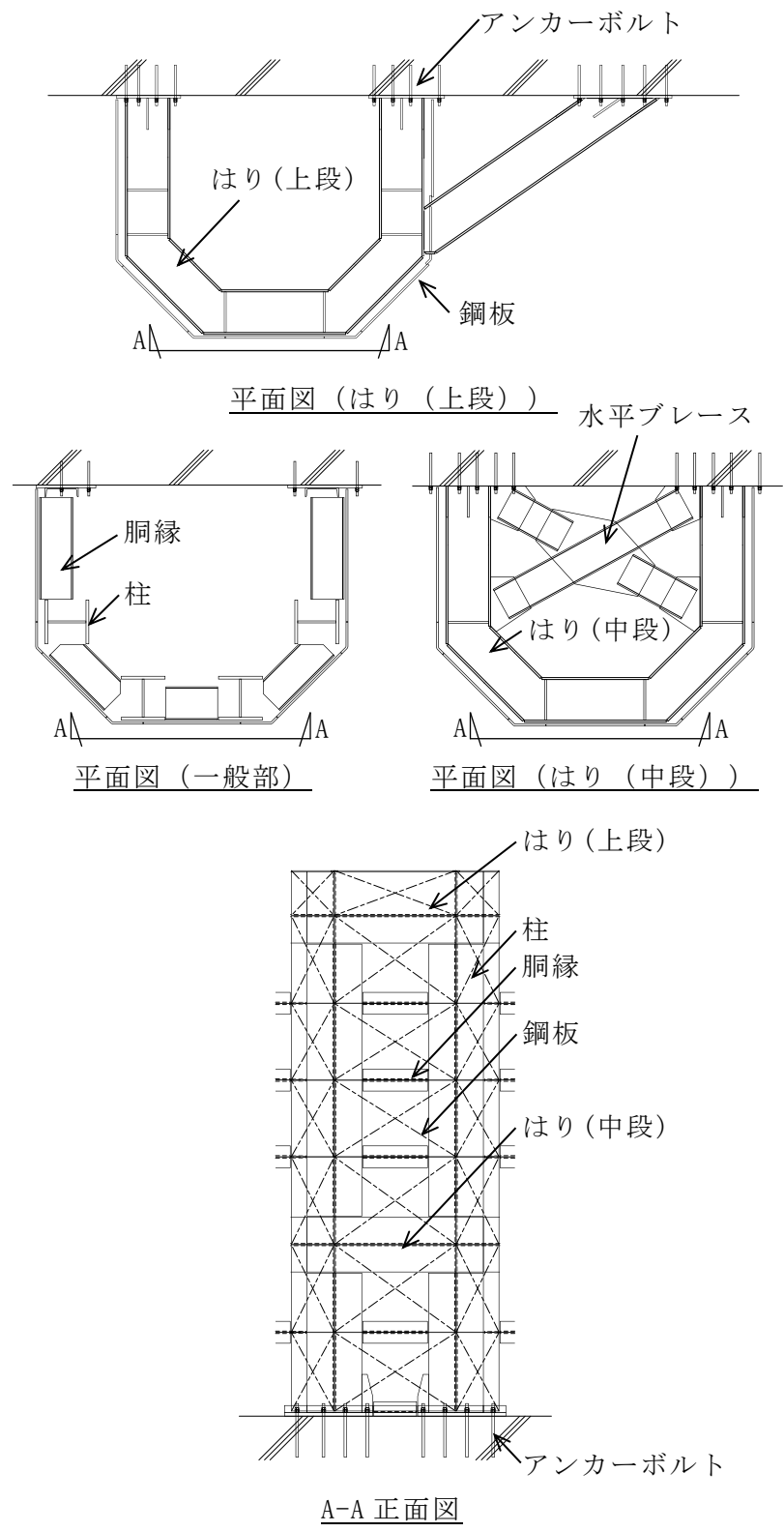


図 5—2 評価対象部位

5.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$G + S_s$

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防水壁の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「5.1.2 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

5.2.4 許容限界

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

(1) 使用材料

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の使用材料を表5-6に示す。

表5-6 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
胴縁	SS400	2-[-380×100×10.5×16
水平ブレース	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5-7の値とする。

表5-7 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	曲げ*	せん断
SS400	$t \leq 40$	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5-8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、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5-8 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)	64	58

5.2.5 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ばりとして算出する。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

$$w_1 = S_s$$

- w_1 : 地震荷重による等分布荷重
 b_1 : 鋼板の幅 (単位幅: 1000mm)
 S_s : 水平地震荷重 ($t \cdot b_1 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$) (kN/m)
 t : 鋼板の厚さ (mm)
 ρ_s : 鋼板の密度 (t/m^3)
 α_H : 水平方向の設計震度
 g : 重力加速度 (m/s^2)

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/mm^2)
 M_1 : 鋼板の曲げモーメント ($kN \cdot m$)
 Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm^3)
 L_1 : 鋼板の短辺長さ (mm)

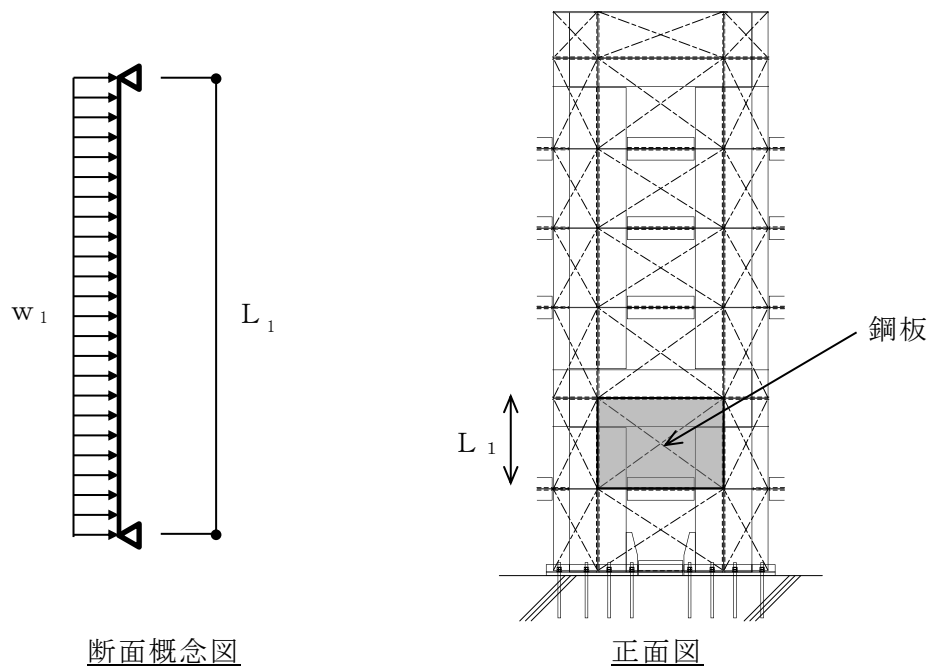


図 5-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 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算出する。胴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

$$w_{x2} = S_s$$

$$w_{y2} = S_{sv}$$

w_{x2} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y2} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 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_{sv} : 鉛直地震荷重 (kN/m)

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

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

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 : 水平方向の設計震度

α_V : 鉛直方向の設計震度

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

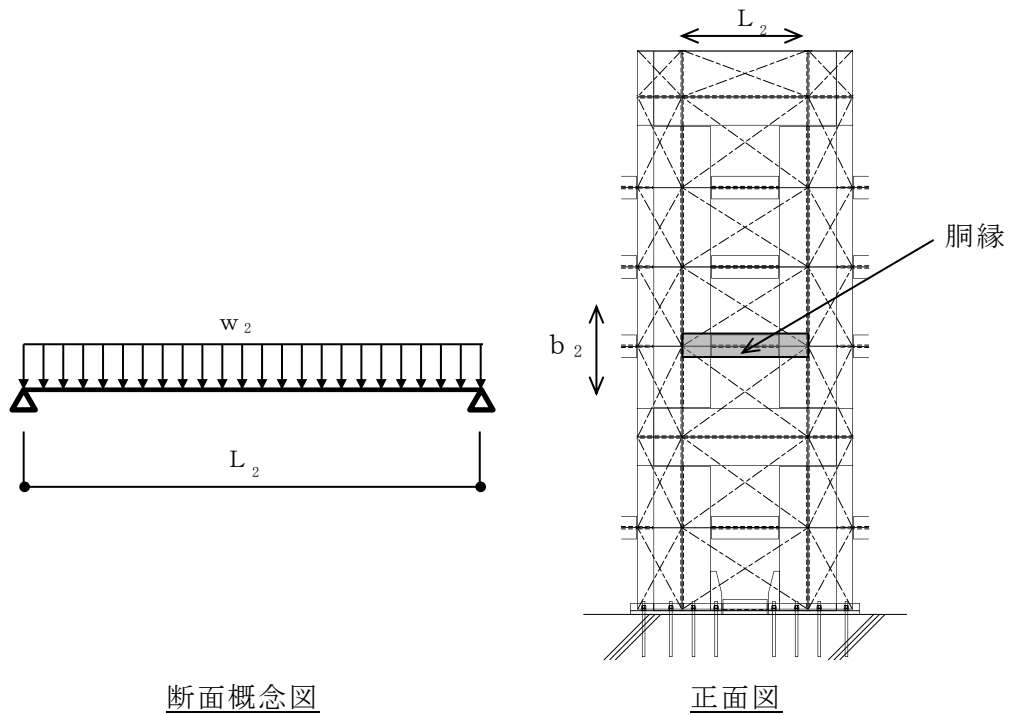
胴縁に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

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

$\sigma_{bx2}, \sigma_{by2}$: 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算出する。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

$$w_{x3} = S_s$$

$$w_{y3} = S_s$$

w_{x3} : 強軸方向に作用する地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y3} : 弱軸方向に作用する地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

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

b_3 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

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)

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 : 水平方向の設計震度

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 : 鉛直方向の設計震度

e. 柱に作用する組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度及び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)

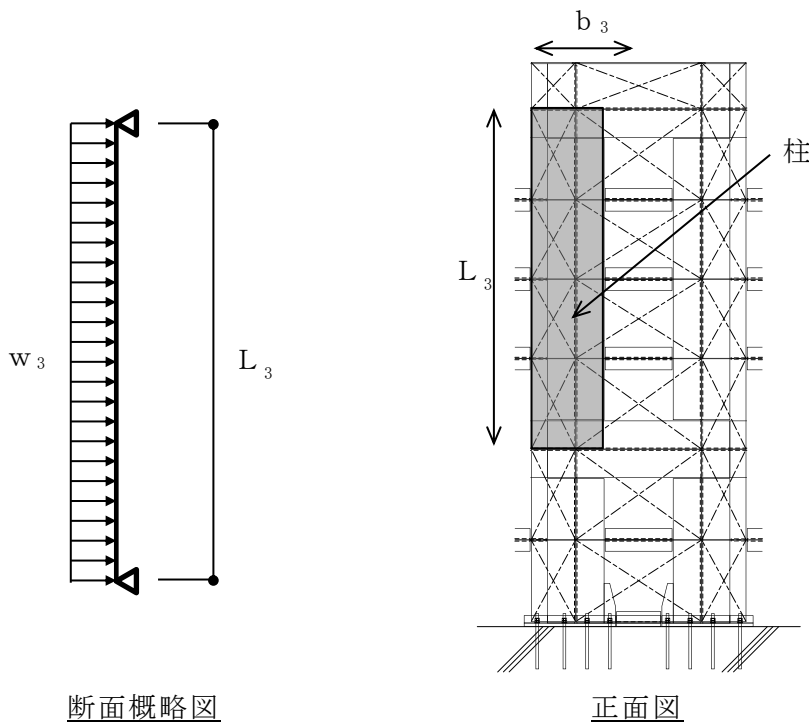


図 5-5 柱に作用する荷重の例

(4) はり及び水平ブレース

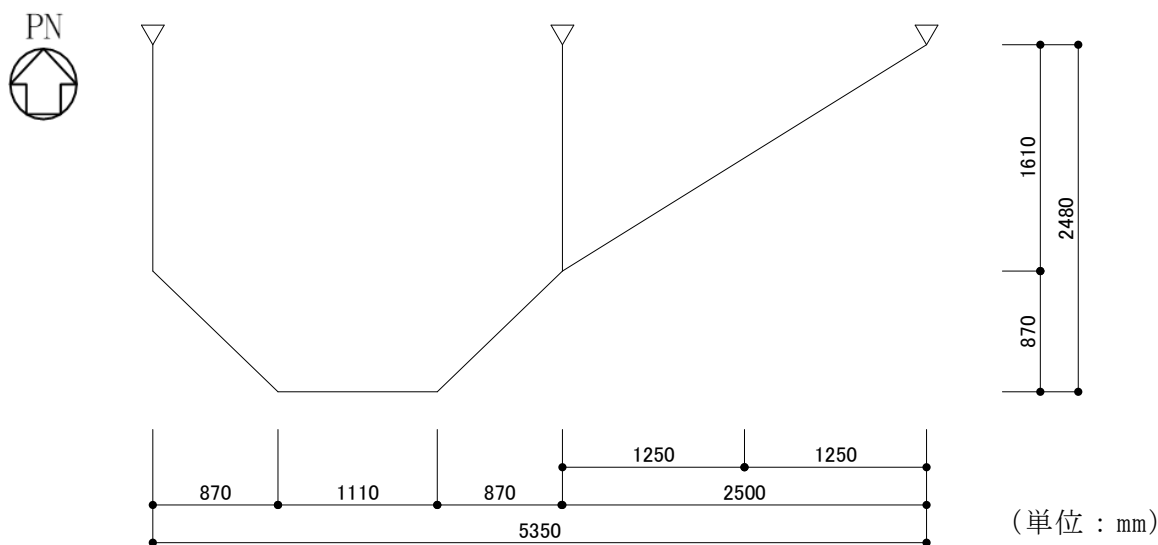
はり及び水平ブレースは、2次元フレームモデルにモデル化し、はり及び水平ブレースに生じる応力がはり及び水平ブレースの短期許容応力度以下であることを確認する。

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

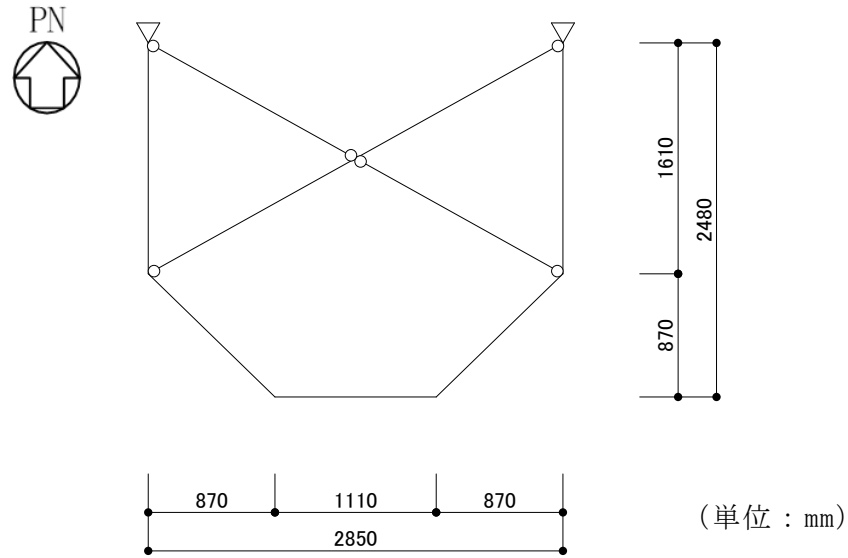
せん断弾性係数 : $G = 0.79 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$



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

$$w_{x4} = S_s$$

$$w_{y4} = S_{sv}$$

w_{x4} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y4} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

S_{sv} : 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及び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)

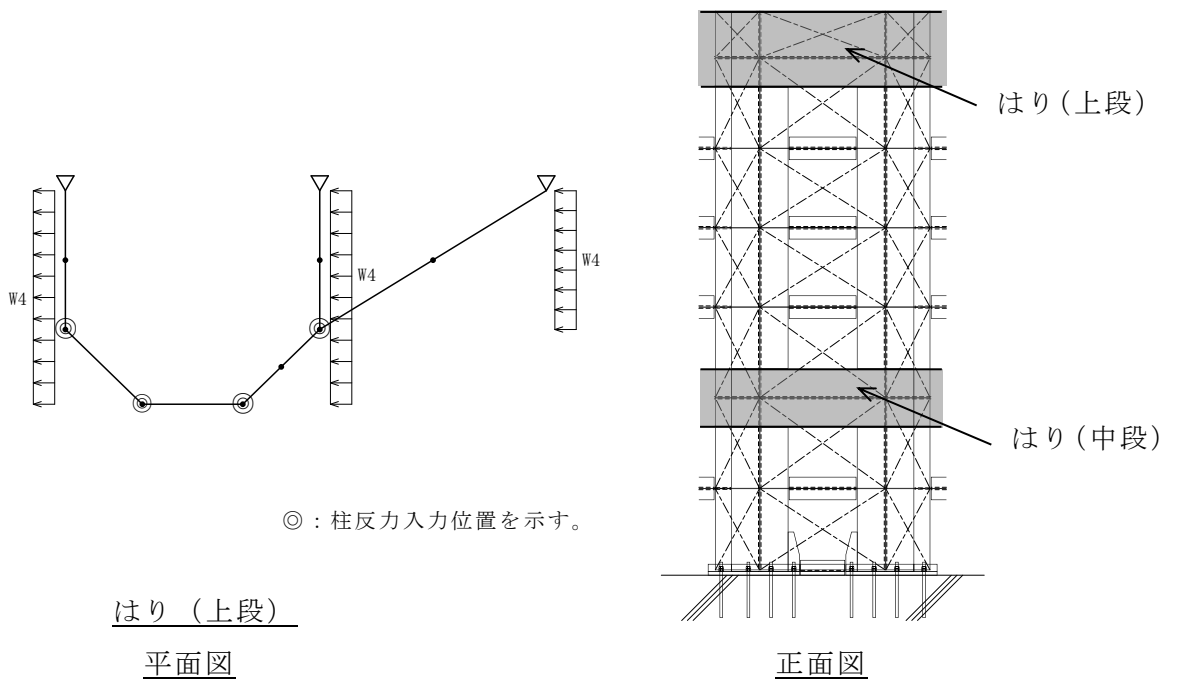


図 5-7 はりに作用する荷重の例

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 : 柱又ははりの引張力 (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 本あたりの引張力 (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 : 柱又ははりのせん断力 (kN)

Q_{d6} : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (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)

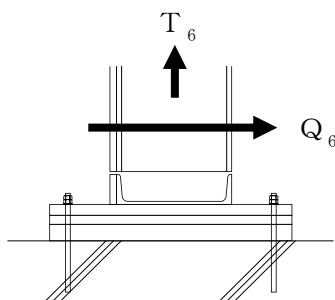


図 5-8 アンカーボルトに生じる荷重の例

5.2.6 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 5-9 に示す。

表 5-9 耐震評価に用いる条件(1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	g	m/s^2	重力加速度	9.80665
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.28
	α_V	—	鉛直方向の設計震度	3.38
鋼板	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	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	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	3000
	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 5-9 耐震評価に用いる条件 (2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
はり	M_{x4}	kN・m	はりの強軸回りの曲げモーメント	39.2
	M_{y4}	kN・m	はりの弱軸回りの曲げモーメント	4.73
	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	44.3
	Q_{y4}	kN	はりの弱軸方向のせん断力	14.69
	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	92.20
	A_{g4}	mm ²	はりの断面積	30664
水平ブレース	$N_{c(t)5}$	kN	水平ブレースの圧縮又は引張軸力	107.05
	A_{g5}	mm ²	水平ブレースの断面積	13880
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	15

6. タービン建物地下1階復水器室北東側防水壁

6.1 固有振動数及び設計用地震力

6.1.1 固有振動数の算出方法

タービン建物地下1階復水器室北東側防水壁の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防水壁は、各部位の寸法や形状を踏まえ、胴縁及び根太を両端ピンばりに、柱、はり及び斜材を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とする。解析モデル図を図6-1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 : $E = 2.05 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

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

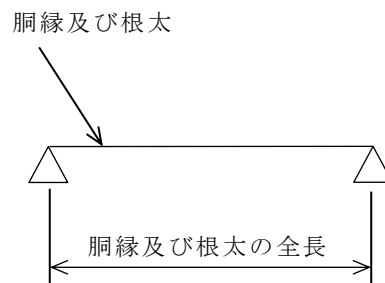


図6-1 固有値解析モデル(1/2)

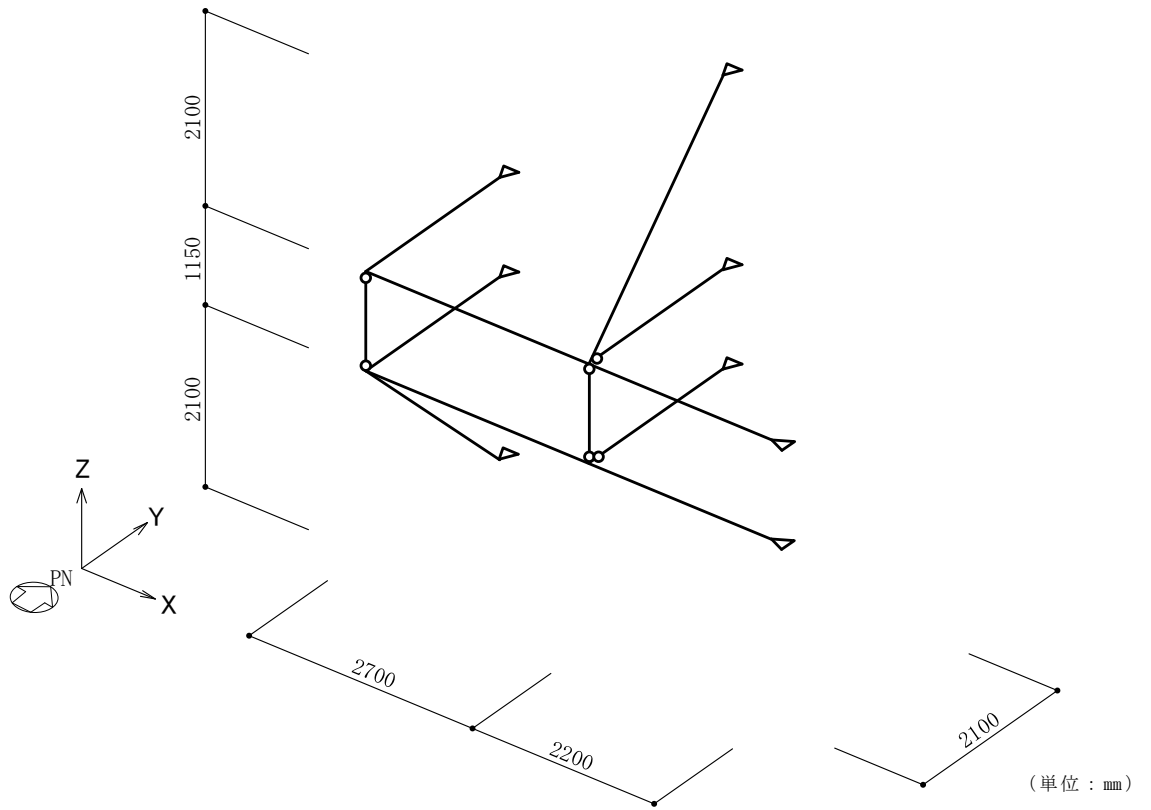


図 6-1 固有値解析モデル (2/2)

(2) 記号の説明

当該防水壁の固有振動数算出に用いる記号を表 6-1 に示す。

表 6-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	防水壁の 1 次固有振動数
L	mm	モデル化に用いる胴縁及び根太の長さ
E	N/m ²	ヤング係数
I	mm ⁴	断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布

(3) 固有振動数の算出方法

胴縁及び根太については、「構造力学公式集」に基づき以下の式より固有振動数を算出する。

- a. 両端ピンばりモデル（胴縁及び根太をモデル化）

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

柱、はり及び斜材は、「(1) 解析モデルの設定」にて設定した解析モデルを用いて、固有値解析により算出する。解析に使用するコードは、「KANSAS2」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) 固有振動数の算出結果

胴縁及び根太の固有振動数の算出条件及び算出結果を表 6-2 に、柱、はり及び斜材の固有振動数の算出結果を表 6-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 6-2 固有振動数（胴縁及び根太）

項目	記号	単位	数値	
			胴縁	根太
モデル化に用いる胴縁及び根太の長さ	L	mm	1150	2100
ヤング係数	E	N/m ²	2.05×10 ¹¹	2.05×10 ¹¹
断面二次モーメント	I	mm ⁴	7410×10 ⁴	7410×10 ⁴
質量分布	m	kg/m	266.3	227.3
固有振動数	f	Hz	401.180	434.236

表 6-3 固有振動数（柱、はり及び斜材）

設備名称	方向		固有振動数 f (Hz)
タービン建物地下1階 復水器室北東側防水壁	水平方向	N S 方向	83.333
		E W 方向	90.909
	鉛直方向		45.455

6.1.2 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、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、設計震度は当該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。当該防水壁の設計震度を表6-4に示す。

表6-4 設計震度

建物	設置場所	基準地震動 S_s の 設計震度*	
		水平 k_H	鉛直 k_V
タービン建物	EL 0.250m	1.28	0.60

注記*：設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

6.2 耐震評価方法

6.2.1 記号の説明

当該防水壁の評価に用いる記号を表 6-5 に示す。

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

記号	単位	定義
w_1	kN/m	鋼板に作用する地震荷重による等分布荷重
g	m/s^2	重力加速度
b_1	mm	鋼板の幅
α_H	—	水平方向の設計震度
α_V	—	鉛直方向の設計震度
S_s	kN/m	水平地震荷重
S_{sv}	kN/m	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	$kN \cdot m$	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	胴縁に作用する水平地震荷重による等分布荷重
w_{y2}	kN/m	胴縁に作用する鉛直地震荷重による等分布荷重
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}	$kN \cdot m$	胴縁の強軸回りの曲げモーメント
M_{y2}	$kN \cdot m$	胴縁の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
Z_{y2}	mm^3	胴縁の弱軸回りの断面係数

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

記号	単位	定義
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
$\sigma_{c(t)2}$	N/mm ²	胴縁に生じる軸応力度
$N_{c(t)2}$	kN	胴縁の圧縮又は引張軸力
A_{g2}	mm ²	胴縁の断面積
N_2	kN	胴縁の軸力
$s f_{bx2}$	N/mm ²	胴縁の強軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{by2}$	N/mm ²	胴縁の弱軸方向の短期許容曲げ応力度
$s f_{c(t)2}$	N/mm ²	胴縁の短期許容圧縮又は許容引張応力度
$s f_{t2}$	N/mm ²	胴縁の短期許容引張応力度
w_{x3}	kN/m	根太に作用する鉛直地震荷重による等分布荷重
w_{y3}	kN/m	根太に作用する水平地震荷重による等分布荷重
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	根太の強軸回りの曲げモーメント
M_{y3}	kN・m	根太の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
$s f_{t3}$	N/mm ²	根太の短期許容引張応力度

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

記号	単位	定義
w_{x4}	kN/m	柱の強軸方向に作用する地震荷重による等分布荷重
w_{y4}	kN/m	柱の弱軸方向に作用する地震荷重による等分布荷重
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	はりに作用する水平地震荷重による等分布荷重
w_{y5}	kN/m	はりに作用する鉛直地震荷重による等分布荷重
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
b_5	mm	はりに作用する荷重の負担幅
m_5	kg/m	はりの質量分布
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
Z_{y5}	mm ³	はりの弱軸回りの断面係数

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

記号	単位	定義
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
N_5	kN	はりの軸力
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	斜材に作用する水平地震荷重による等分布荷重
w_{y6}	kN/m	斜材に作用する鉛直地震荷重による等分布荷重
m_6	kg/m	斜材の質量分布
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
$\sigma_{c(t)6}$	N/mm ²	斜材に生じる軸応力度

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

記号	単位	定義
$s f_{b x 6}$	N/mm^2	斜材の強軸回りの短期許容曲げ応力度
$s f_{b y 6}$	N/mm^2	斜材の弱軸回り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
$N_{c (t) 6}$	kN	斜材の圧縮又は引張軸力
N_6	kN	斜材の軸力
$A_{g 6}$	mm^2	斜材の断面積
$s f_{t 6}$	N/mm^2	斜材の短期許容引張応力度
T_7	kN	斜材の引張力
n_7	本	斜材に取り付くアンカーボルトの本数
$T_{d 7}$	kN	アンカーボルト 1 本あたりの引張力
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	斜材のせん断力
$Q_{d 7}$	kN	アンカーボルト 1 本あたりのせん断力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

6.2.2 評価対象部位

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

基準地震動 S_s による地震力により当該防水壁に生じる慣性力は鋼板、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 6-2 に示す。

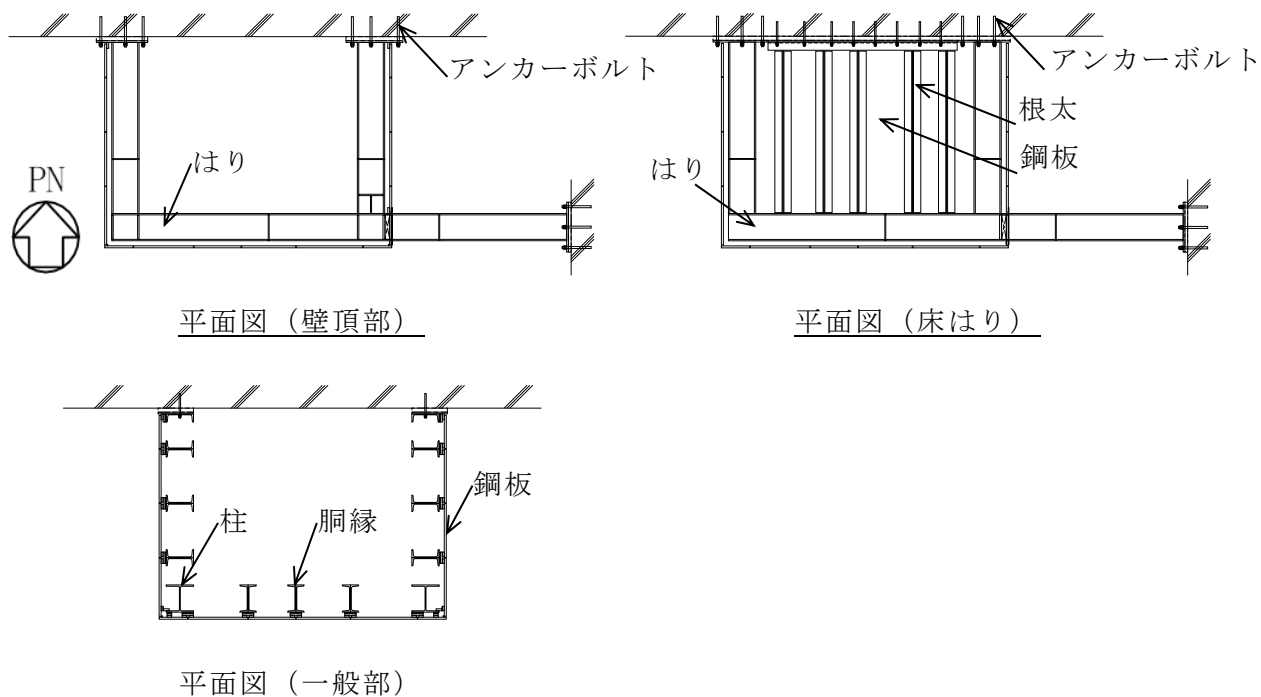
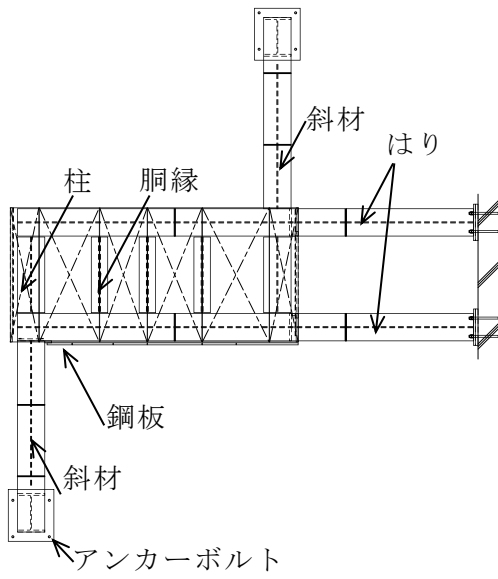
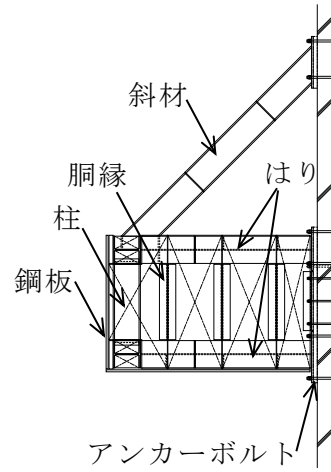


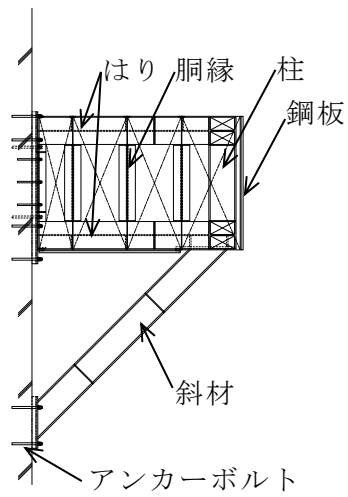
図 6-2 評価対象部位 (1/2)



正面図



東側正面図



西側正面図

図 6—2 評価対象部位 (2/2)

6.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$G + S_s$

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防水壁の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「6.1.2 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

6.2.4 許容限界

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

(1) 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6-6に示す。

表6-6 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6-7の値とする。

表6-7 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 6-8 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、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 6-8 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 (M22)	71	49

6.2.5 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ばりとして算出する。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

$$w_1 = S_s$$

w_1 : 地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

b_1 : 鋼板の幅 (単位幅 : 1000mm)

S_s : 水平地震荷重 ($t \cdot b_1 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha_H \cdot \rho_s \cdot g$) (kN/m)

t : 鋼板の厚さ (mm)

α_H : 水平方向の設計震度

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)

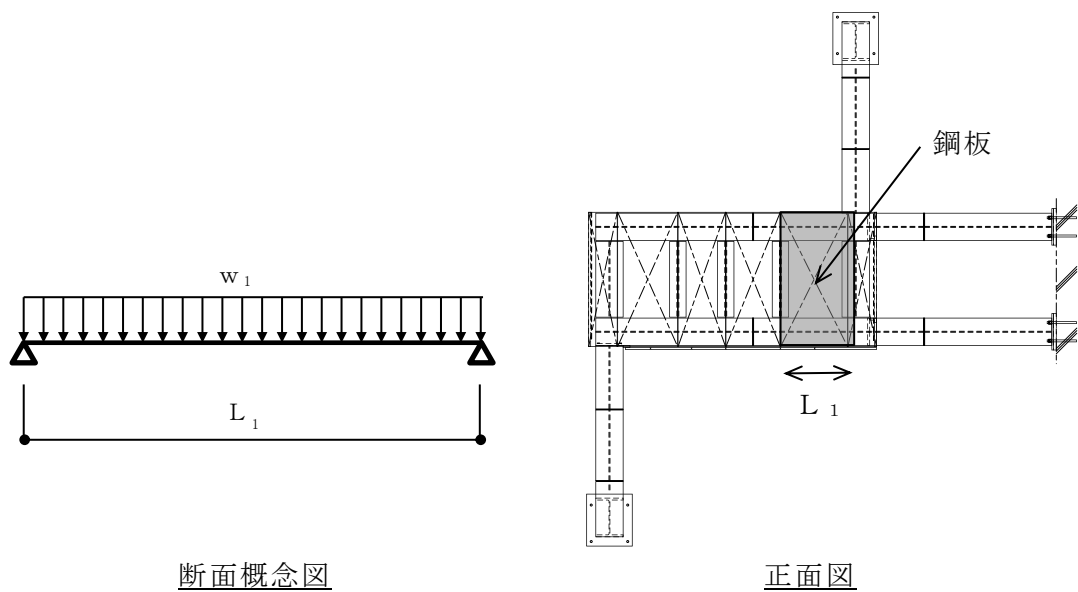


図 6-3 鋼板に作用する荷重の例

(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算出する。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

$$w_{x2} = S_s$$

$$w_{y2} = S_{sv}$$

w_{x2} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y2} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 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_{sv} : 鉛直地震荷重 (kN/m)

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

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

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 : 水平方向の設計震度

α_V : 鉛直方向の設計震度

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/mm²)

$N_{c(t)2}$: 胴縁の圧縮又は引張軸力 (kN)

A_{g2} : 胴縁の断面積 (mm²)

N_2 : 胴縁の軸力 (kN)

α_v : 鉛直方向の設計震度

e. 胴縁に生じる組合せ応力度

胴縁に生じる曲げ応力度及び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)

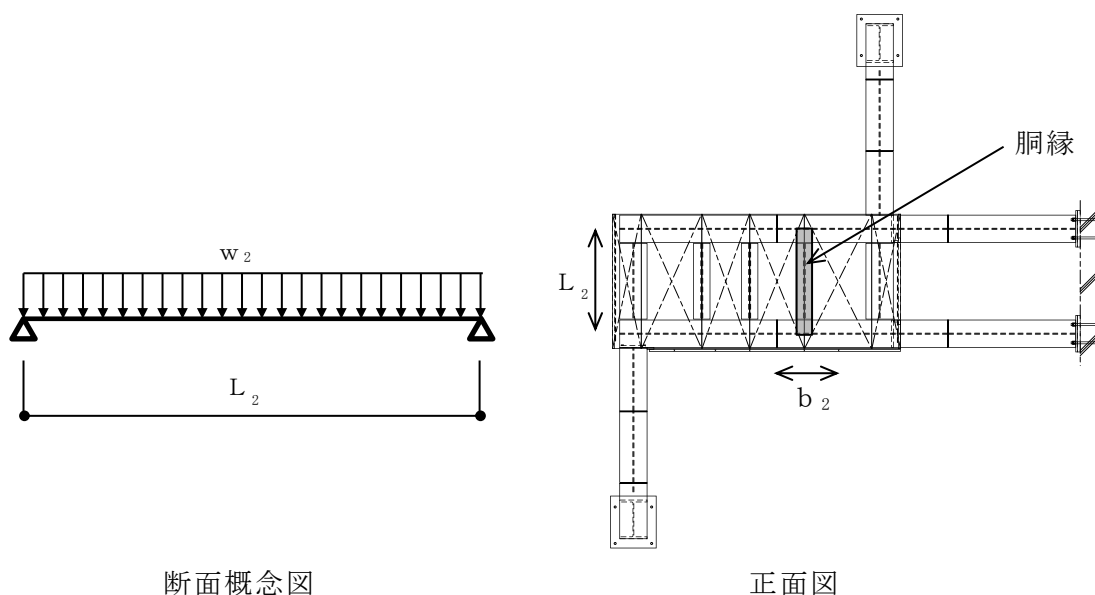


図 6-4 胴縁に作用する荷重の例

(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算出する。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

$$w_{x3} = S_{sv}$$

$$w_{y3} = S_s$$

w_{x3} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y3} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

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

S_{sv} : 鉛直地震荷重 (kN/m)

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

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

b_3 : 根太に作用する荷重の負担幅 (mm)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_3 : 根太の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

α_V : 鉛直方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

b. 根太に生じる曲げ応力度

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

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

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

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

$\sigma_{bx3}, \sigma_{by3}$: 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

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

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

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

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

τ_{x3}, τ_{y3} : 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)

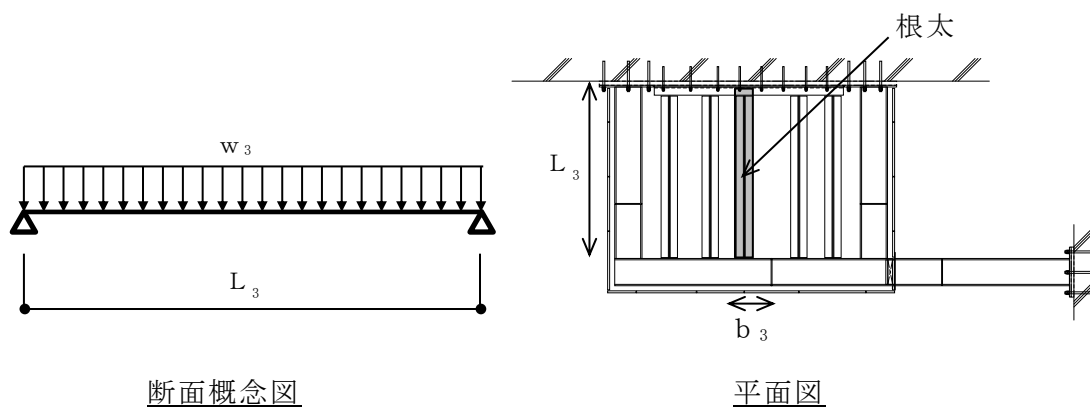


図 6-5 根太に作用する荷重の例

(4) 柱

柱に生じる応力は、柱を両端ピンの単純ばりとして算出する。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

$$w_{x4} = S_s$$

$$w_{y4} = S_s$$

w_{x4} : 強軸方向に作用する地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y4} : 弱軸方向に作用する地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_4 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_4 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

b_4 : 柱に作用する荷重の負担幅 (mm)

ρ_s : 鋼板の密度 (t/m³)

t : 鋼板の厚さ (mm)

m_4 : 柱の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

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 : 鉛直方向の設計震度

e. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度及び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。

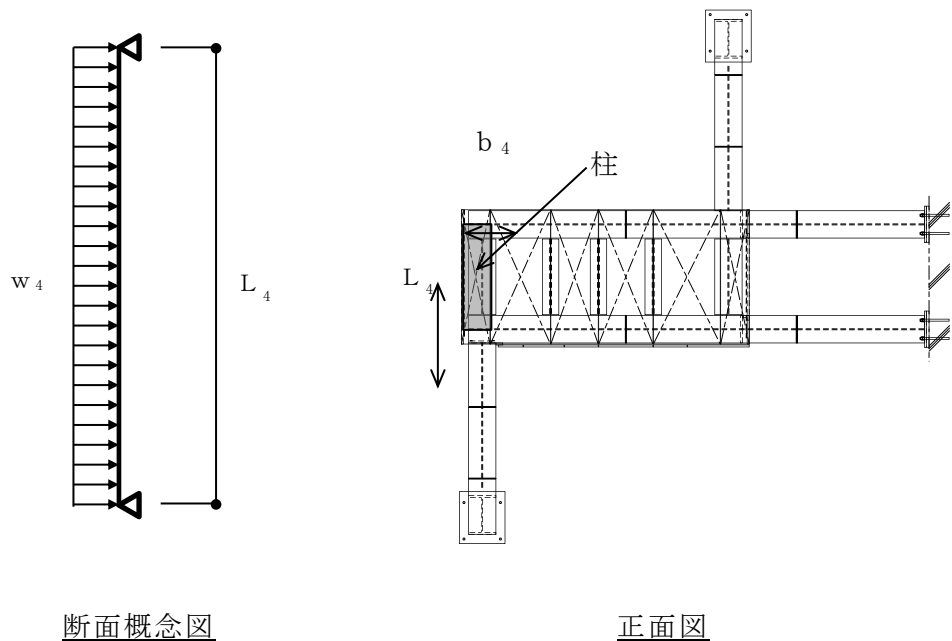
$$\sqrt{(\sigma_{bx4} + \sigma_{by4} + \sigma_{c(t)4})^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq s f_{t4}$$

$\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: 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算出する。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

$$w_{x5} = S_s$$

$$w_{y5} = S_{sv}$$

w_{x5} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y5} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_5 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 / b_2 \cdot b_3 \cdot 10^{-3} + m_5 \cdot 10^{-3}) \cdot \alpha_H \cdot g \right)$$

S_{sv} : 鉛直地震荷重 (kN/m)

$$\left((\rho_s \cdot b_5 \cdot t \cdot 10^{-6} + m_2 / b_2 \cdot b_3 \cdot 10^{-3} + m_5 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 \pm \alpha_V) \cdot g \right)$$

b_5 : はりに作用する荷重の負担幅 (mm)

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)

b_2 : 胴縁に作用する荷重の負担幅 (mm)

b_3 : 根太に作用する荷重の負担幅 (mm)

- m_5 : はりの質量分布 (kg/m)
 α_H : 水平方向の設計震度
 α_V : 鉛直方向の設計震度
 g : 重力加速度 (m/s²)

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

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

$$N_{c(t)5} = N_5 \cdot (1 \pm \alpha_H)$$

- $\sigma_{c(t)5}$: 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)
 N_5 : はりの軸力 (kN)
 α_H : 水平方向の設計震度

e. はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度及び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。

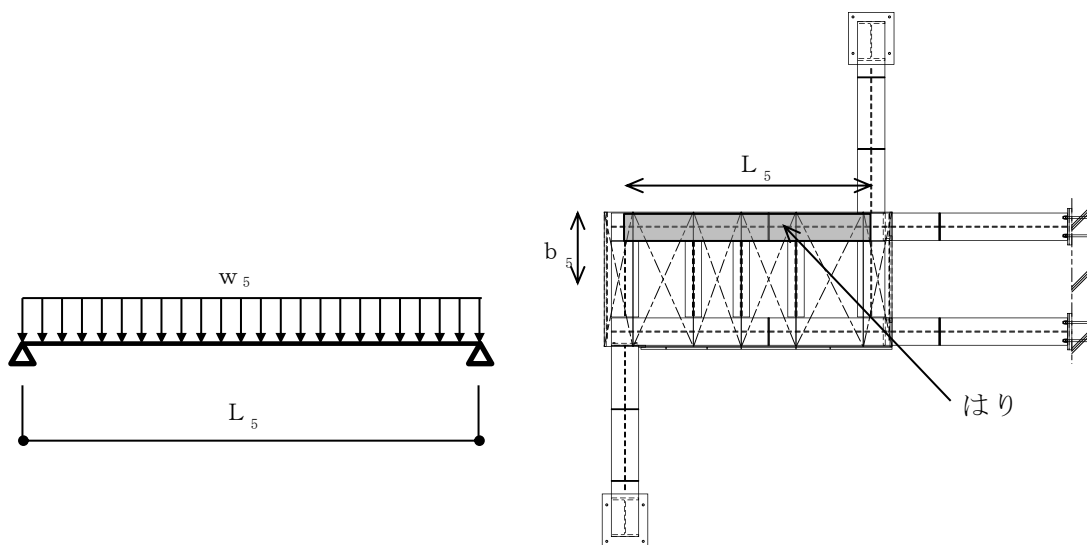
$$\sigma_{bx5}/s f_{bx5} + \sigma_{by5}/s f_{by5} + \sigma_{c(t)5}/s f_{c(t)5} \leq 1.0$$

- $\sigma_{bx5}, \sigma_{by5}$: 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)
- $s f_{t5}$: 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算出する。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

$$w_{x6} = S_s$$

$$w_{y6} = S_{sv}$$

w_{x6} : 水平地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

w_{y6} : 鉛直地震荷重による等分布荷重 (kN/m)

S_s : 水平地震荷重 (kN/m)
 $(m_6 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_H \cdot g)$

S_{sv} : 鉛直地震荷重 (kN/m)
 $(m_6 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm \alpha_V) \cdot g)$

m_6 : 斜材の質量分布 (kg/m)

α_H : 水平方向の設計震度

α_V : 鉛直方向の設計震度

g : 重力加速度 (m/s²)

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

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

$$N_{c(t)6} = N_6 \cdot (1 \pm \alpha_v)$$

- $\sigma_{c(t)6}$: 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)
 N_6 : 斜材の軸力 (kN)
 α_v : 鉛直方向の設計震度

e. 斜材に生じる組合せ応力度

斜材に生じる曲げ応力度及び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。

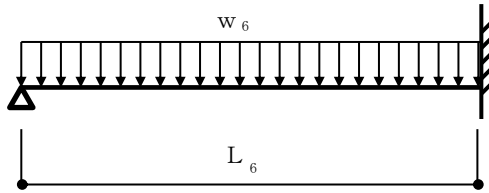
$$\sigma_{bx6}/s f_{bx6} + \sigma_{by6}/s f_{by6} + \sigma_{c(t)6}/s f_{c(t)6} \leq 1.0$$

- $\sigma_{bx6}, \sigma_{by6}$: 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)

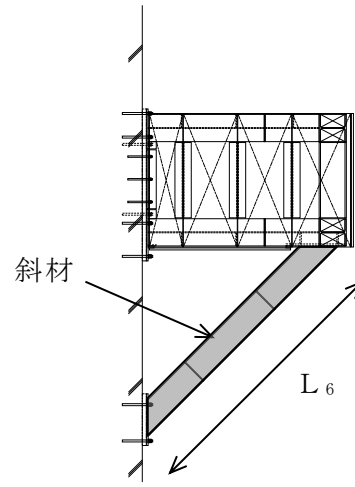
斜材に生じる曲げ応力度，軸応力度及びせん断応力度の組合せに対する応力度は、次式により算出し、短期許容引張応力度以下であることを確認する。

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

- $\sigma_{bx6}, \sigma_{by6}$: 斜材に生じる強軸及び弱軸回りの曲げ応力度 (N/mm²)
 $\sigma_{c(t)6}$: 斜材に生じる軸応力度 (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)



断面概念図



正面図

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 : 斜材の引張力 (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 本あたりの引張力 (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 : 斜材のせん断力 (kN)

Q_{d7} : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (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)

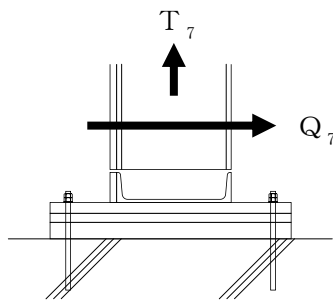


図 6-9 アンカーボルトに生じる荷重の例

6.2.6 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 6-9 に示す。

表 6-9 耐震評価に用いる条件(1/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	g	m/s^2	重力加速度	9.80665
	α_H	—	水平方向の設計震度	1.28
	α_V	—	鉛直方向の設計震度	0.60
鋼板	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	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	142.8
	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
	N_2	kN	胴縁の軸力	3.0
	A_{Sy2}	mm^2	胴縁の弱軸方向のせん断断面積	5580
根太	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	142.8
	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
	柱	b_4	mm	柱に作用する荷重の負担幅
Z_{x4}		mm^3	柱の強軸回りの断面係数	1350×10^3
Z_{y4}		mm^3	柱の弱軸回りの断面係数	450×10^3
L_4		mm	柱全長	1150
N_4		kN	柱の軸力	38.3
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

表 6-9 耐震評価に用いる条件 (2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
柱	A_{g4}	mm^2	柱の断面積	11800
はり	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
	N_5	kN	はりの軸力	44.8
	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	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
	N_6	kN	斜材の軸力	3.0
	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_7	本	斜材に取り付くアンカーボルトの本数	4

7. ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁

7.1 固有振動数及び設計用地震力

7.1.1 固有振動数の算出方法

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に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

(1) 柱、はり及びブレース

当該防水壁の固有振動数は次式により算定する。なお、水平方向は、VI-2-11-2-6-1「燃料移送ポンプエリア竜巻防護対策設備の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルを用い、鉛直方向は層剛性を柱軸剛性とした解析モデルを用いて評価する。固有値解析モデルを図7-1及び図7-2に、固有振動数算定に用いる物性値を表7-1及び表7-2に示す。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

m : 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重量 (kg)

k : 各方向における層剛性 (N/m)

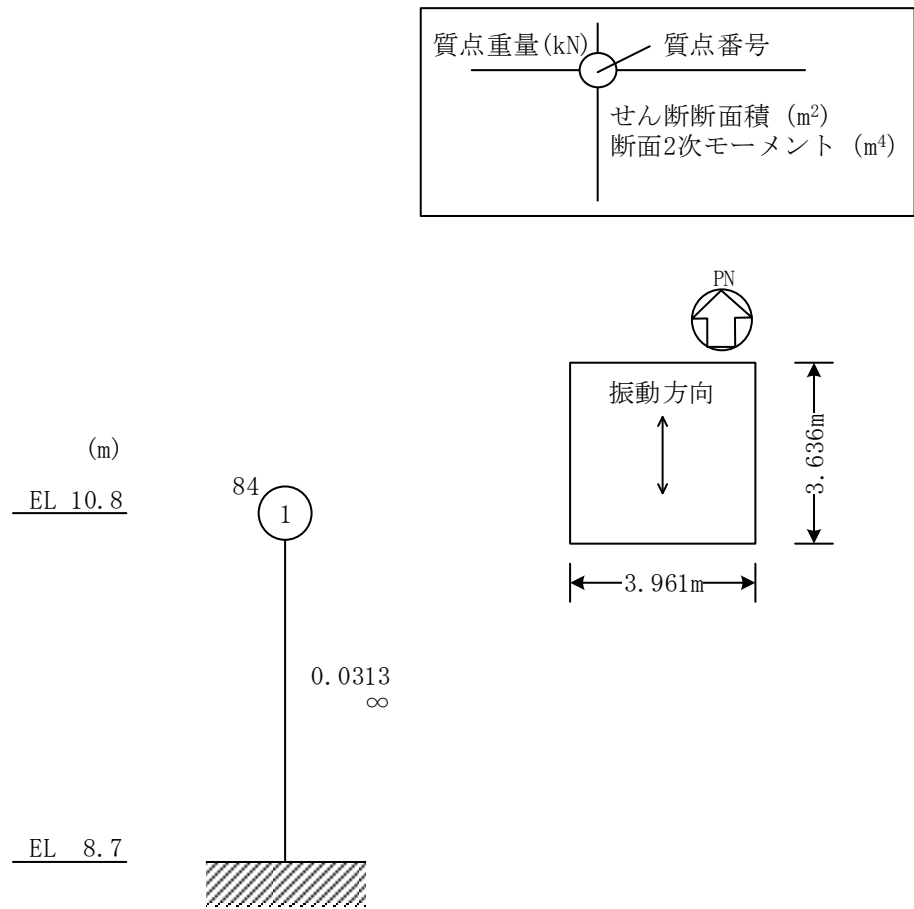


図 7-1(1) 固有値解析モデル (NS 方向)
 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁 (北側)

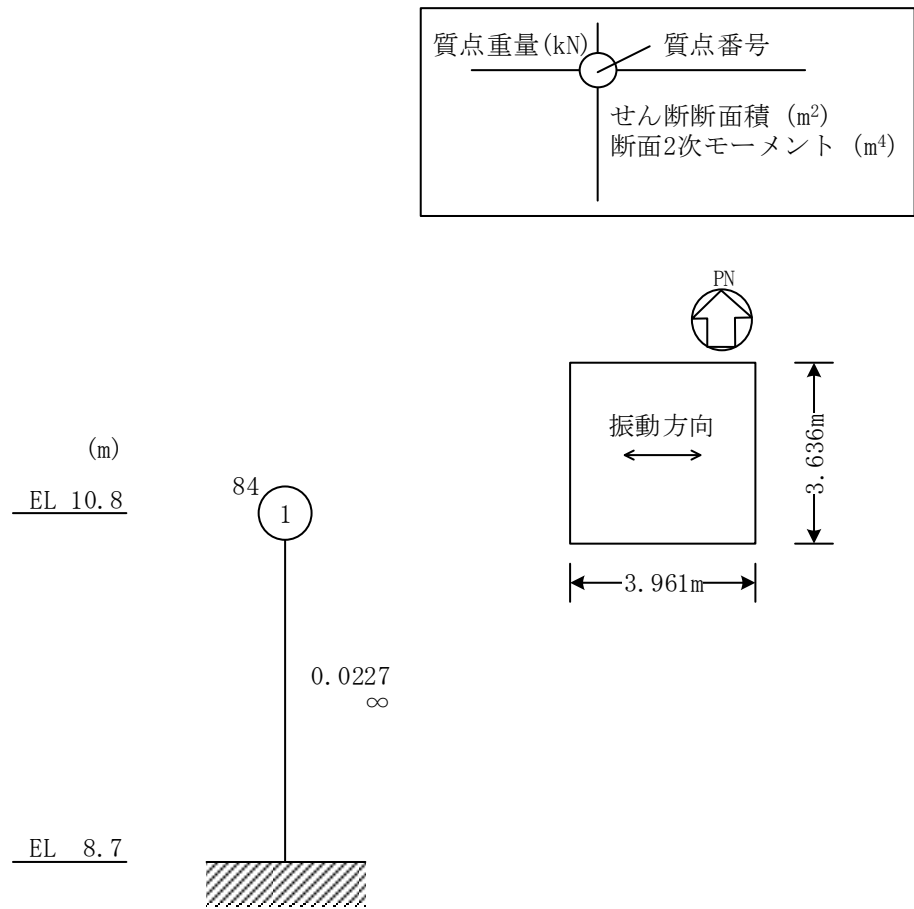


図 7-1(2) 地震応答解析モデル (EW方向)
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁 (北側)

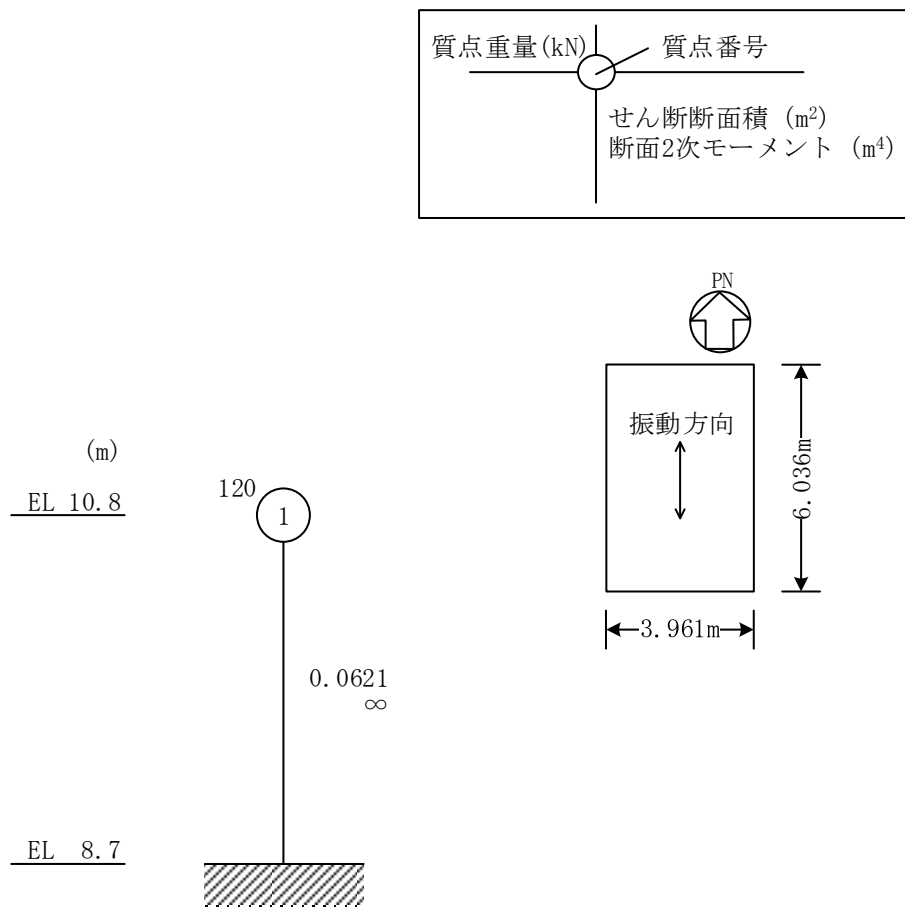


図 7-2(1) 地震応答解析モデル (N S 方向)
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁 (南側)

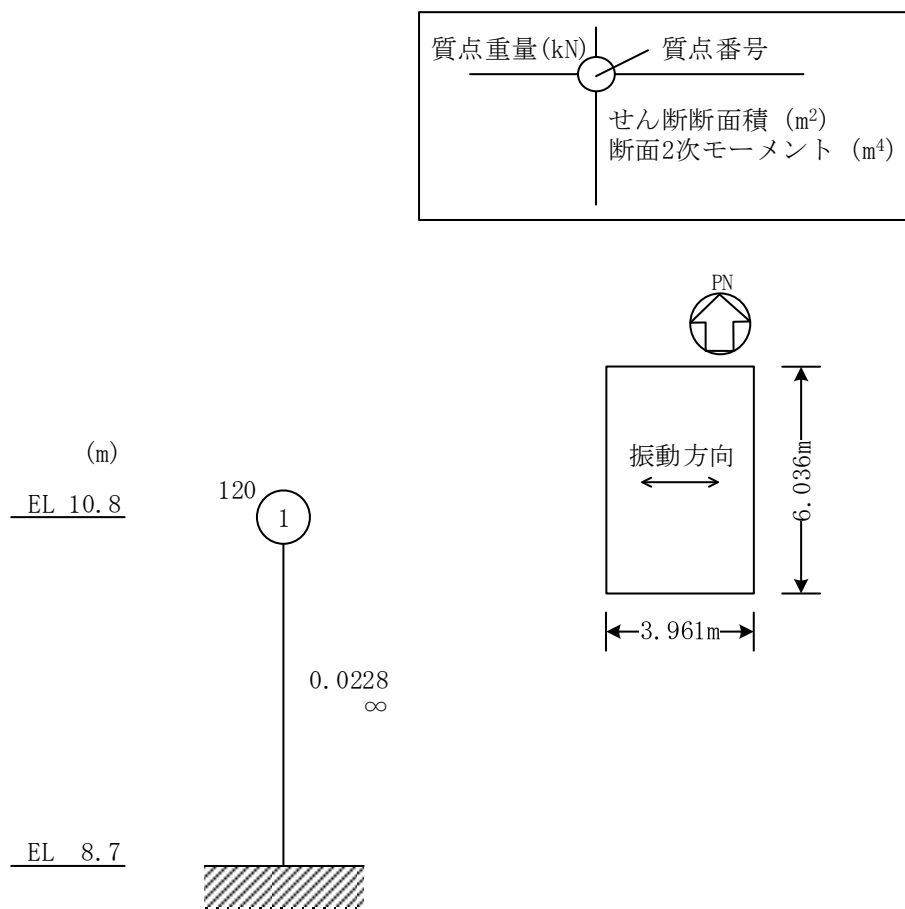


図 7-2(2) 地震応答解析モデル (EW方向)
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備防水壁 (南側)

表 7-1 (1) 水平方向の固有振動数算定に用いる物性値

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

方向		重量	せん断弾性係数	断面積	高さ	層剛性
		m (kg)	G (N/m ²)	A (m ²)	h (m)	k (N/m)
水平 方向	N S	8566	7.9×10^{10}	0.0313	2.1	1177476190
	E W	8566	7.9×10^{10}	0.0227	2.1	853952381

表 7-1 (2) 水平方向の固有振動数算定に用いる物性値

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

方向		重量	せん断弾性係数	断面積	高さ	層剛性
		m (kg)	G (N/m ²)	A (m ²)	h (m)	k (N/m)
水平 方向	N S	12237	7.9×10^{10}	0.0621	2.1	2336142857
	E W	12237	7.9×10^{10}	0.0228	2.1	857714286

表 7-2 (1) 鉛直方向の固有振動数算定に用いる物性値

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

方向		重量	ヤング係数	断面積	高さ	層剛性
		m (kg)	E (N/m ²)	A (m ²)	h (m)	k (N/m)
鉛直 方向	U D	8566	2.05×10^{11}	0.038118	2.1	3721042857

表 7-2 (2) 鉛直方向の固有振動数算定に用いる物性値

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

方向		重量	ヤング係数	断面積	高さ	層剛性
		m (kg)	E (N/m ²)	A (m ²)	h (m)	k (N/m)
鉛直 方向	U D	12237	2.05×10^{11}	0.050824	2.1	4961390476

(2) 胴縁及び鋼板

当該防水壁の胴縁については、「構造力学公式集」に基づき以下の式より固有振動数を算出する。

a. 両端ピンばりモデル（胴縁をモデル化）

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

7.1.2 固有振動数の算出結果

固有振動数の算定結果を表 7-3 及び表 7-4 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 7-3 固有振動数の算定結果（柱，はり及びブレース）

設備名称	方向		固有振動数 f (Hz)
	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	水平 方向	N S 方向
E W 方向			50.25
鉛直方向		104.90	
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	水平 方向	N S 方向	69.54
		E W 方向	42.14
	鉛直方向		101.34

表 7-4(1) 固有振動数 (胴縁)

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

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる胴縁の長さ	L	m	2.265
ヤング係数	E	N/m ²	2.05×10 ¹¹
断面二次モーメント	I	m ⁴	861×10 ⁻⁸
質量分布	m	kg/m	52.9
固有振動数	f	Hz	55.91

表 7-4(2) 固有振動数 (胴縁)

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

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる胴縁の長さ	L	m	2.265
ヤング係数	E	N/m ²	2.05×10 ¹¹
断面二次モーメント	I	m ⁴	861×10 ⁻⁸
質量分布	m	kg/m	52.9
固有振動数	f	Hz	55.91

7.1.3 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、VI-2-1-7「設計用応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

設計震度は当該防水壁設置階とし、水平震度はN S方向とE W方向の大きい方を用いる。

当該防水壁の設計震度を表 7-5 に示す。

表 7-5 設計震度

建物	設置場所	基準地震動 S_s の 設計震度*	
		水平 k_H	鉛直 k_V
ディーゼル燃料移送ポンプエリア 防護対策設備防水壁	EL 8.7m	1.22	0.78

注記*：設計用震度 I (1.0ZPA)を示す。

7.2 耐震評価方法

7.2.1 記号の説明

当該防水壁の耐震評価に用いる記号を表 7-6 に示す。

表 7-6 耐震評価に用いる記号 (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	設計用速度圧
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	建物高さ
α_H	—	水平方向の設計震度
w_1	kN/m	鋼板に作用する地震荷重及び風荷重を考慮した等分布荷重
G_1	kN/m	鋼板の自重
W_1	kN/m	鋼板に作用する風荷重
σ_{b1}	N/mm^2	鋼板に生じる曲げ応力度
M_1	$\text{kN} \cdot \text{m}$	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	胴縁に作用する地震荷重及び風荷重を考慮した等分布荷重
G_2	kN/m	胴縁支配幅の鋼板重量を含む胴縁の自重

表 7-6 耐震評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
W_2	kN/m	胴縁に作用する風荷重
σ_{b2}	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	胴縁全長
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_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}	N・mm	はりの強軸回りの曲げモーメント
M_{y3}	N・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
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
$\sigma_{c(t)3}$	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
$s f_{bx3}$	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度のうち最大値
$s f_{t3}$	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

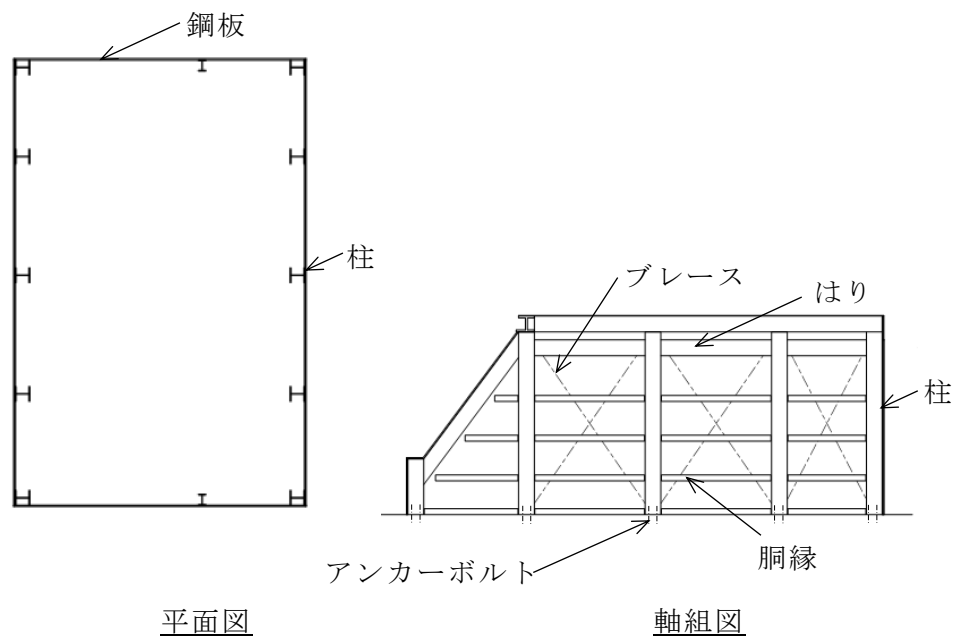
表 7-6 耐震評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
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
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
$\sigma_{c(t)4}$	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
$s f_{bx4}$	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方向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
T_6	kN	鉛直方向の支点反力
n_6	本	アンカーボルトの本数
T_{d6}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの引張力
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	水平方向の支点反力
n_6	本	アンカーボルトの本数
Q_{d6}	kN	アンカーボルト 1 本あたりのせん断力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

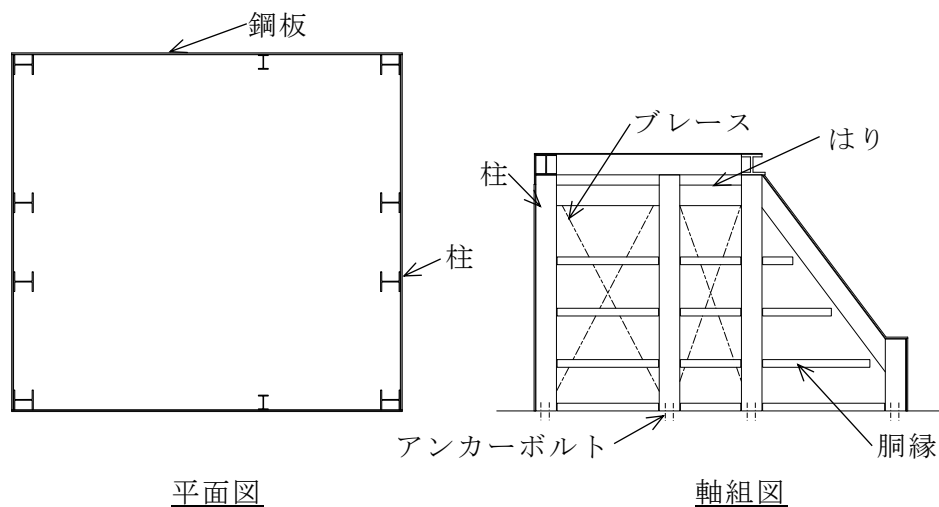
7.2.2 評価対象部位

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

基準地震動 S_s による地震力により当該防水壁に生じる慣性力は、鋼板、胴縁、はり、柱及びブレースに伝わり、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、はり、柱、ブレース及びアンカーボルトとする。評価対象部位を図7-3に示す。



(1) 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



(2) 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7-3 評価対象部位

7.2.3 荷重及び荷重の組合せ

応力解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(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、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。

(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1454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1454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7-7及び7-8に示す。

表 7-7 設計風荷重の条件

施設名称	基準風速 V_D (m/s)	全高 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 7-8(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 7-8(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) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による水平 2 方向 (NS 方向及び EW 方向) と鉛直方向 (UD 方向) の荷重を考慮する。3 方向地震荷重の組合せは、組合せ係数法 (1.0, 0.4, 0.4) による。

(4) 荷重の組合せ

当該防水壁の耐震評価に用いる荷重の組合せは、以下に設定する。

$$F_s + W + S_s$$

F_s : 積雪荷重

W : 風荷重

S_s : 地震荷重

7.2.4 許容限界

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

(1) 使用材料

当該防水壁を構成する鋼板、はり、胴縁、柱、ブレース及びアンカーボルトの使用材料を表7-9に示す。

表7-9 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	
はり	SS400	
胴縁	SS400	
柱	SS400	
ブレース	SS400	
アンカーボルト	SUS304	

(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7-10の値とする。

表7-10 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 7-11 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、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 7-11 アンカーボルトの許容限界

設備名称	材料	許容耐力 (kN)	
		引張	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 	37	16
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 	37	17

7.2.5 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許容限界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7-4に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_1 = G_1 \cdot \alpha_H + W_1$$

w_1 : 地震荷重及び風荷重を考慮した等分布荷重 (kN/m)

G_1 : 鋼板の自重 (kN/m)

W_1 : 風荷重 (kN/m)

α_H : 水平方向の設計震度

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)

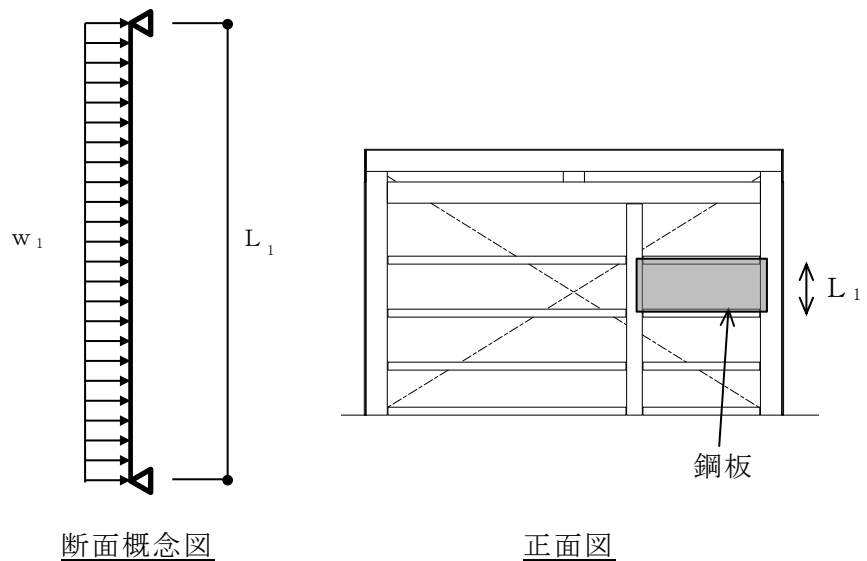


図 7-4 鋼板に作用する荷重の例

(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算出する。胴縁に作用する荷重の例を図 7-5 に示す。

a. 単位長さあたりの等分布荷重

$$w_2 = G_2 \cdot \alpha_H + W_2$$

w_2 : 地震荷重及び風荷重を考慮した等分布荷重 (kN/m)

G_2 : 胴縁支配幅の鋼板重量を含む胴縁の自重 (kN/m)

W_2 : 風荷重 (kN/m)

α_H : 水平方向の設計震度

b. 胴縁に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b2} = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

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

σ_{b2} : 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 : 胴縁全長 (mm)

c. 胴縁に生じるせん断応力度

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

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

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_2 : 胴縁のせん断断面積 (mm^2)
 L_2 : 胴縁全長 (mm)

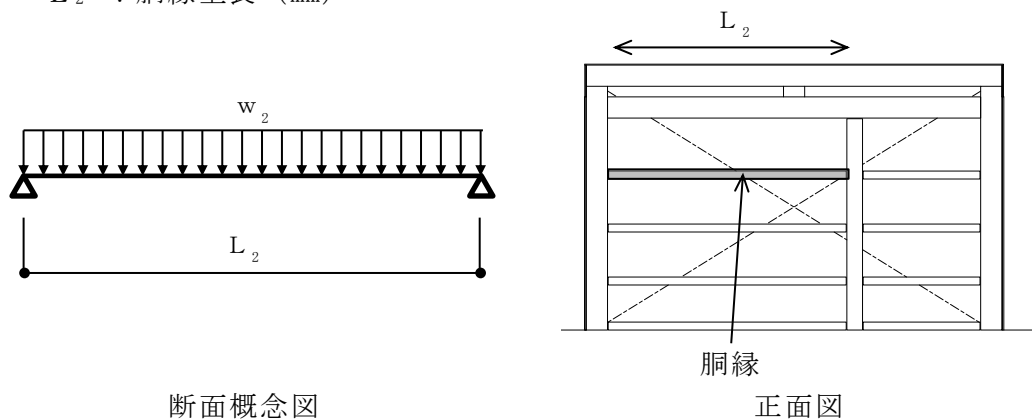
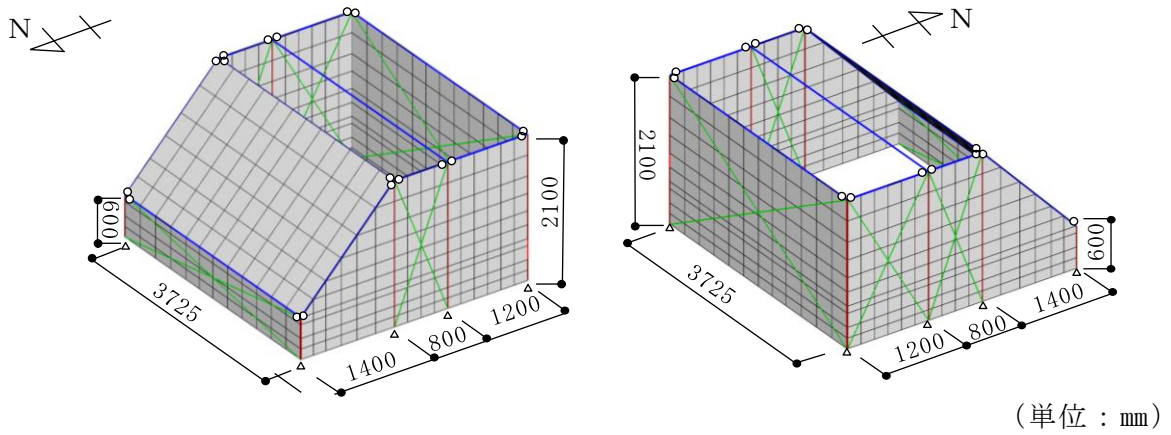


図 7-5 胴縁に作用する荷重の例

(3) 柱, はり及びブレース

柱, はり及びブレースに生じる応力は, 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。応力解析は以下の方針に基づく。

- a. モデルに作用する荷重及び荷重の組合せは, 「7.2.3 荷重及び荷重の組合せ」による。
- b. 地震荷重は, 水平 2 方向 (NS 方向及びEW 方向) と鉛直方向 (UD 方向) を考慮する。3 方向地震荷重の組合せは, 組合せ係数法 (1.0, 0.4, 0.4) による。
- c. 応力解析に使用するコードは, 「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。
- d. 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。3次元静的線形応力解析に用いる解析モデルを図 7-6 及び図 7-7 に示す。
- e. 解析に用いる部材の物性値は以下とする。
 ヤング係数 : $E = 205000 (\text{N}/\text{mm}^2)$
 せん断弾性係数 : $G = 79000 (\text{N}/\text{mm}^2)$

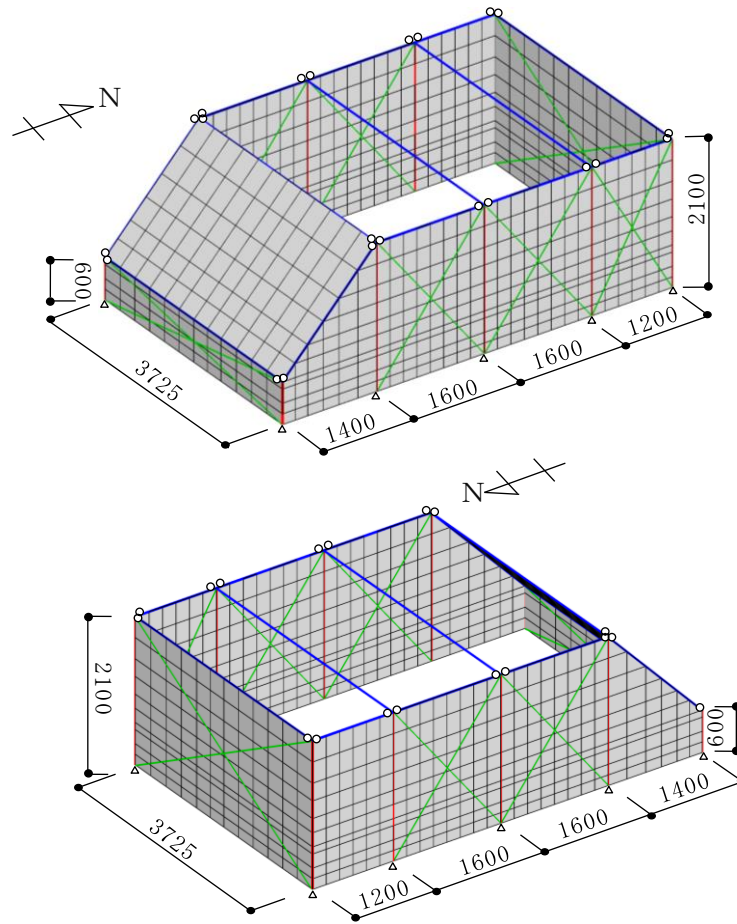


部位	凡例
鋼板	■
はり	—
柱	—
ブレース	—

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 7-6 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）



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 7-7 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）

(a) はり

i. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b x 3} = M_{x 3} / Z_{x 3}$$

$$\sigma_{b y 3} = M_{y 3} / Z_{y 3}$$

$\sigma_{b x 3}$, $\sigma_{b y 3}$: 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)

ii. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_{x 3} = Q_{x 3} / A_{w 3}$$

$$\tau_{y 3} = Q_{y 3} / A_{f 3}$$

$\tau_{x 3}$, $\tau_{y 3}$: はりに生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

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

$A_{w 3}$: はりのウェブ断面積 (mm²)

$A_{f 3}$: はりのフランジ断面積 (mm²)

iii. はりに生じる軸応力度

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

$\sigma_{c(t) 3}$: 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)

iv. はりに生じる組合せ応力度

はりに生じる曲げ応力度及び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。

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

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

$s f_{b_{x3}}, s f_{b_{y3}}$: 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)

$s f_{c(t)3}$: 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。

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

$\sigma_{b_{x3}}, \sigma_{b_{y3}}$: 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方向のせん断応力度のうち最大値 (N/mm²)

$s f_{t3}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

(b) 柱

i. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{bx4} = M_{x4} / Z_{x4}$$

$$\sigma_{by4} = M_{y4} / Z_{y4}$$

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)

ii. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_{x4} = Q_{x4} / A_{w4}$$

$$\tau_{y4} = Q_{y4} / A_{f4}$$

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 (N)

A_{w4} : 柱のウェブ断面積 (mm²)

A_{f4} : 柱のフランジ断面積 (mm²)

iii. 柱に生じる軸応力度

$$\sigma_{c(t)4} = N_{c(t)4} / A_{g4}$$

$\sigma_{c(t)4}$: 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)

iv. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度及び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。

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

- $\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: 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。

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

- $\sigma_{bx4}, \sigma_{by4}$: 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 : 柱に生じる強軸及び弱軸方向のせん断応力度のうち最大値 (N/mm²)
 $s f_{t4}$: 短期許容引張応力度 (N/mm²)

(c) ブレース

i. ブレースに生じる軸応力度

$$\sigma_{t5} = N_{t5} / A_{g5}$$

- σ_{t5} : ブレースに生じる軸応力度 (N/mm²)
 N_{t5} : ブレースの引張軸力 (N)
 A_{g5} : ブレースの断面積 (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。

$$(T_{d6}/T_a)^2 + (Q_{d6}/Q_a)^2 \leq 1.0$$

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

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

T_6 : 鉛直方向の支点反力 (kN)

n_6 : アンカーボルトの本数 (本)

T_{d6} : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (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 : 水平方向の支点反力 (kN)

n_6 : アンカーボルトの本数 (本)

Q_{d6} : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (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)

7.2.6 評価条件

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耐震評価に用いる評価条件を表7-12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耐震評価に用いる評価条件を表7-13に示す。

表7-12 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耐震評価に用いる評価条件(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	—	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	—	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
	α_H	—	水平震度	1.22
鋼板	G_1	kN/m	鋼板の自重	0.462
	W_1	kN/m	鋼板に作用する風荷重	0.453
	Z_1	mm ³	鋼板の断面係数	6000
	L_1	mm	鋼板の短辺長さ	838
胴縁	G_2	kN/m	胴縁の自重	0.519
	W_2	kN/m	胴縁に作用する風荷重	0.330
	Z_2	mm ³	胴縁の断面係数	115000
	L_2	mm	胴縁の長さ	2265
	A_2	mm ²	胴縁のせん断断面積	845

表 7-12 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
の耐震評価に用いる評価条件(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	24930000
	M_{y3}	N・mm	はりの弱軸回りの曲げモーメント	490000
	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
	Q_{x3}	N	はりの強軸方向のせん断力	14160
	Q_{y3}	N	はりの弱軸方向のせん断力	640
	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
	$N_{c(t)3}$	N	はりの圧縮又は引張軸力	3410
	A_{g3}	mm ²	はりの断面積	6353
柱	M_{x4}	N・mm	柱の強軸回りの曲げモーメント	24500000
	M_{y4}	N・mm	柱の弱軸回りの曲げモーメント	410000
	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
	Q_{x4}	N	柱の強軸方向のせん断力	16220
	Q_{y4}	N	柱の弱軸方向のせん断力	2750
	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
	$N_{c(t)4}$	N	柱の圧縮又は引張軸力	20340
	A_{g4}	mm ²	柱の断面積	6353
ブレース	N_{t5}	N	ブレースの引張軸力	43920
	A_{g5}	mm ²	ブレースの断面積	1656
アンカー ボルト	T_6	kN	鉛直方向の支点反力	21.54
	n_6	本	アンカーボルトの本数	4
	Q_6	kN	水平方向の支点反力	48.15

表 7-13 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
の耐震評価に用いる評価条件(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
	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	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1 454号に掲げる数値	350
	Z_b	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1 454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1 454号に掲げる数値	0.15
	α_H	—	水平震度	1.22
鋼板	G_1	kN/m	鋼板の自重	0.462
	W_1	kN/m	風荷重	0.453
	Z_1	mm ³	鋼板の断面係数	6000
	L_1	mm	鋼板の短辺長さ	838
胴縁	G_2	kN/m	胴縁の自重	0.519
	W_2	kN/m	鋼板に作用する風荷重	0.330
	Z_2	mm ³	胴縁の断面係数	115000
	L_2	mm	胴縁の長さ	2265
	A_2	mm ²	胴縁のせん断断面積	845

表 7-13 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
の耐震評価に用いる評価条件(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	36960000
	M_{y3}	N・mm	はりの弱軸回りの曲げモーメント	470000
	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
	Q_{x3}	N	はりの強軸方向のせん断力	20740
	Q_{y3}	N	はりの弱軸方向のせん断力	570
	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
	$N_{c(t)3}$	N	はりの圧縮又は引張軸力	1830
	A_{g3}	mm ²	はりの断面積	6353
柱	M_{x4}	N・mm	柱の強軸回りの曲げモーメント	36970000
	M_{y4}	N・mm	柱の弱軸回りの曲げモーメント	530000
	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
	Q_{x4}	N	柱の強軸方向のせん断力	23220
	Q_{y4}	N	柱の弱軸方向のせん断力	3560
	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
	$N_{c(t)4}$	N	柱の圧縮又は引張軸力	31810
	A_{g4}	mm ²	柱の断面積	6353
ブレース	N_{t5}	N	ブレースの引張軸力	46970
	A_{g5}	mm ²	ブレースの断面積	1656
アンカー ボルト	T_6	kN	鉛直方向の支点反力	4.770
	n_6	本	アンカーボルトの本数	4
	Q_6	kN	水平方向の支点反力	48.50

8. 取水槽除じん機エリア防水壁

8.1 固有振動数及び設計用地震力

8.1.1 固有振動数の算出方法

取水槽除じん機エリア防水壁の構造に応じて解析モデルを設定し，固有振動数を算出する。

(1) 解析モデルの設定

当該防水壁は，はり及び柱の組合せにより剛な断面を有しているとともに，アンカーボルトにて躯体に固定する構造であることから，当該防水壁の柱を片側固定-片側自由はりに，はりを両端ピンばりに単純化したモデルとし，モデル化に用いるはり長さは，柱及びはりの全長とする。図 8-1 に解析モデル図を示す。

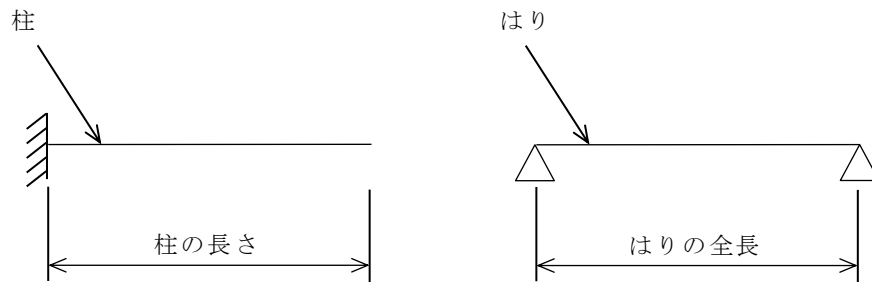


図 8-1 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防水壁の固有振動数算出に用いる記号を表 8-1 に示す。

表 8-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	1 次固有振動数
L	mm	モデル化に用いる柱及びはりの長さ
E	N/m ²	ヤング係数
I	m ⁴	断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布
λ	—	定数

(3) 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

- a. 固定-自由はりモデル（柱をモデル化）

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

- b. 両端ピンはりモデル（はりをモデル化）

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

8.1.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 8-2 に示す。

表 8-2(1) 固有振動数の計算条件 (柱)

項目	記号	単位	数値
定数	λ	—	1.8751
部材長	L	m	3.000
ヤング係数	E	N/m ²	2.05×10^{11}
断面二次モーメント	I	m ⁴	4.72×10^{-5}
質量分布	m	kg/m	49.9

表 8-2(2) 固有振動数の計算条件 (はり)

項目	記号	単位	数値
部材長	L	m	0.650
ヤング係数	E	N/m ²	2.05×10^{11}
断面二次モーメント	I	m ⁴	3.68×10^{-7}
質量分布	m	kg/m	7.66

8.1.3 固有振動数の算出結果

固有振動数の算出結果を表 8-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 8-3 固有振動数

扉名称	対象部位	固有振動数 (Hz)
取水槽除じん機エリア防水壁	はり	368.960
	柱	27.379

8.1.4 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」に基づき設定する。

地震応答解析に基づいて算定された当該防水壁設置床の最大応答加速度から設計震度を設定する。

当該防水壁の設計震度を表 8-4 に示す。

表 8-4 設計震度

構造物	設置場所	基準地震動 S_s の設計震度	
		水平 k_H	鉛直 k_V
取水槽	除じん機エリア	1.8	0.9

8.2 耐震評価方法

8.2.1 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 8-5 に示す。

表 8-5 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
g	m/s^2	重力加速度
k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
k_V	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
G	kN	固定荷重
w_{ss1}	kN/m	鋼板に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重
B	m	支柱間隔
z_1	m	鋼板に作用する風荷重の作用高さ
σ_{b1}	N/mm^2	鋼板に生じる曲げ応力度
M_{max1}	$kN \cdot m$	鋼板の曲げモーメント
Z_1	mm^3	鋼板の断面係数
L_1	m	鋼板の部材長
τ_1	N/mm^2	鋼板に生じるせん断応力度
S_{max1}	kN	鋼板のせん断力
h_1	mm	鋼板のせん断負担幅
t_1	mm	鋼板の厚さ
V_2	kN	柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重
w_{ss2}	kN/m	柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重
W_2	kN	柱に作用する風荷重
L_{21}	m	柱全長
W_{ss2}	kN	柱に作用する水平方向の荷重
σ_{b2}	N/mm^2	柱に生じる曲げ応力度
M_{max2}	$kN \cdot m$	柱の曲げモーメント
Z_2	mm^3	柱の断面係数
L_{22}	m	柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置
σ_{t2}	N/mm^2	柱に生じる引張応力度
V_{tmax2}	kN	柱の引張荷重
A_2	mm^2	柱の断面積
σ_{c2}	N/mm^2	柱に生じる圧縮応力度

表 8-5 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
V_{max2}	kN	柱の鉛直荷重
τ_2	N/mm ²	柱に生じるせん断応力度
S_{max2}	kN	柱のせん断力
h_2	mm	柱のウェブ高
t_2	mm	柱のウェブ厚
f_b	N/mm ²	短期許容曲げ応力度
f_t	N/mm ²	短期許容引張応力度
f_c	N/mm ²	短期許容圧縮応力度
w_{ss3}	kN/m ²	はりに作用する単位面積あたりの水平方向の等分布荷重
A_3	m ²	防水壁の面積
w_3	kN/m ²	はりに作用する風圧力
σ_{b3}	N/mm ²	はりに生じる曲げ応力度
M_{max3}	kN・m	はりの曲げモーメント
Z_3	mm ³	はりの断面係数
B_3	m	はりの荷重載荷幅
L_3	m	はりの部材長
τ_3	N/mm ²	はりに生じるせん断応力度
S_{max3}	kN	はりのせん断力
N	本	柱に取り付くアンカーボルトの総本数
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
P	kN	アンカーボルト 1 本あたりの引張力
P_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q	kN	アンカーボルト 1 本あたりのせん断力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

8.2.2 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。

基準地震動 S_s による地震力により当該防水壁に生じる慣性力及び風荷重は鋼板、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取水槽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。

なお、柱及びアンカーボルトの評価対象部位はそれぞれの仕様を踏まえ、柱（標準部）、アンカーボルト（標準部）とする。

評価対象部位を図 8-2 に示す。

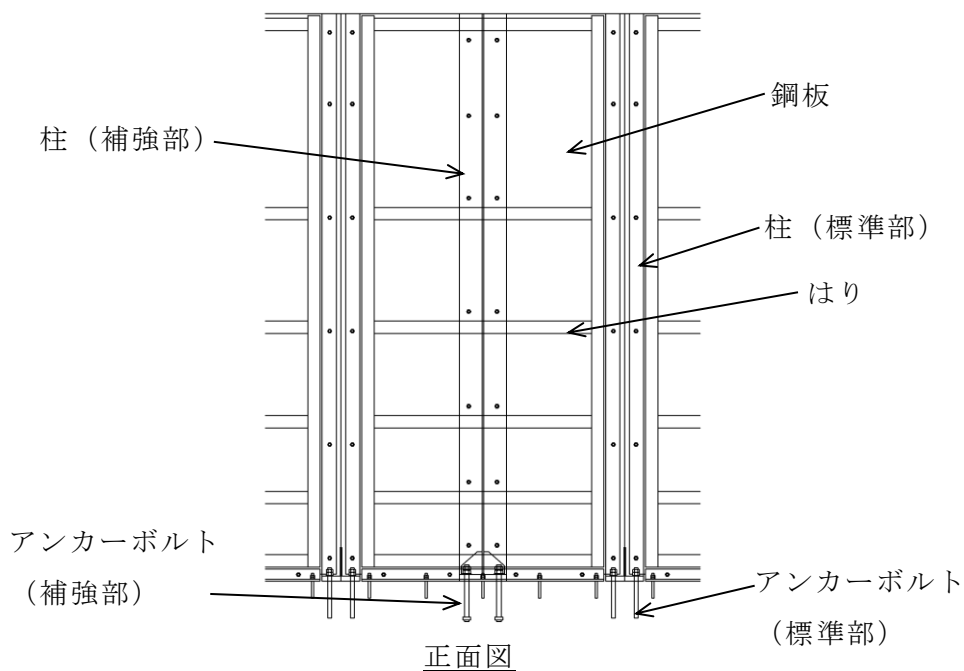
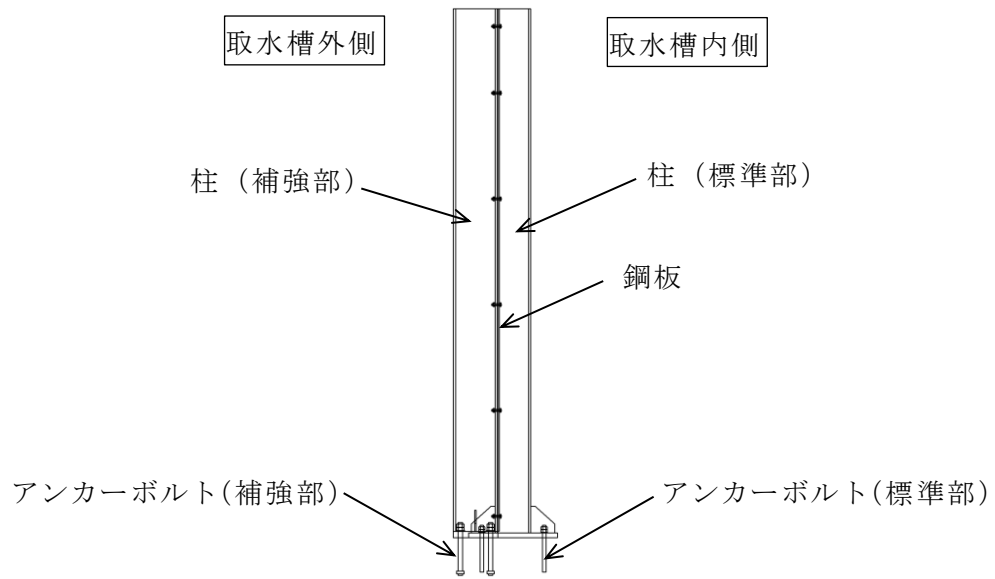
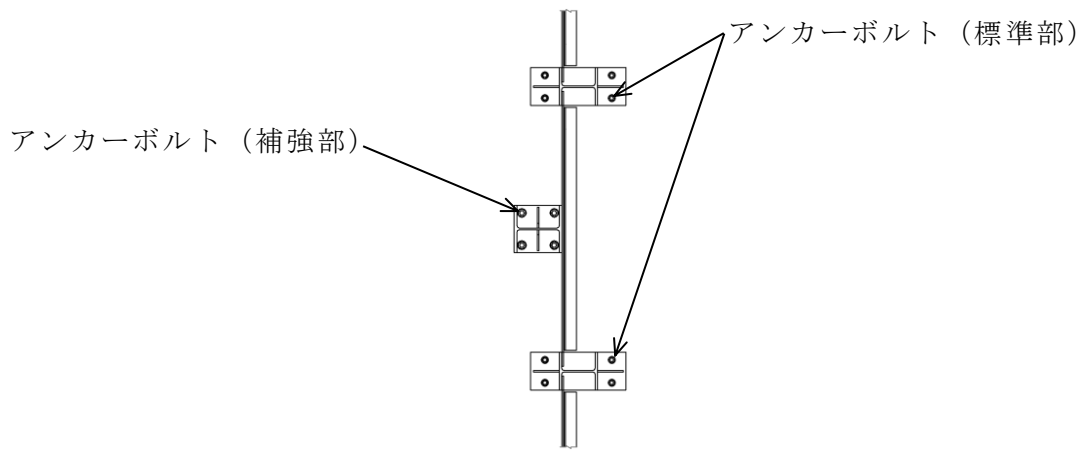


図 8-2(1) 評価対象部位



断面図



平面図

図 8-2(2) 評価対象部位

8.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防水壁の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s + W$$

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

W : 風荷重 (kN)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防水壁の自重を考慮する。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「8.1.4 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

c. 風荷重 (W)

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風の受圧面積を乗じた次式により算出する。風荷重の算定に用いる風圧力を表 8-6 に示す。

$$W = w \cdot A$$

W : 風荷重 (kN)

w : 風圧力 (kN/m²)

A : 風の受圧面積 (m²)

表 8-6 風圧力

風圧力 w (kN/m ²)	1.71
-------------------------------	------

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

8.2.4 許容限界

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

(1) 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 8-7 に示す。

表 8-7 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-9
柱（標準部）	SS400	H-200×200×8×12
柱（補強部）	SS400	H-250×250×9×14
はり	SS400	L-65×65×8
アンカーボルト （標準部）	SUS304	M20
アンカーボルト （補強部）	SUS304	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 8-8 の値とする。

表 8-8 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

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 8-9 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 8-9 アンカーボルト（標準部）の許容限界

評価対象部位	材質	許容耐力 (kN)	
		引張	せん断
アンカーボルト (標準部)	SUS304 (M20)	41	35
アンカーボルト (補強部)	SUS304 (M24)	90	21

8.2.5 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する。鋼板に作用する荷重の例を図 8-3 に示す。

a. 鋼板に作用する基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = G \cdot k_H$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. 鋼板に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重

$$w_{ss1} = (S_s / B) + w \cdot z_1$$

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

S_s : 地震荷重 (kN)

B : 支柱間隔 (m)

w : 風荷重 (kN/m²)

z_1 : 鋼板に作用する風荷重の作用高さ (m)

c. 鋼板に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b1} = (M_{max1} \cdot 10^6) / Z_1$$

$$M_{max1} = w_{ss1} \cdot L_1^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_{max1} : 鋼板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

d. 鋼板に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = (S_{\max 1} \cdot 10^3) / (h_1 \cdot t_1)$$

$$S_{\max 1} = w_{ss1} \cdot L_1 / 2$$

τ_1 : 鋼板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 1}$: 鋼板のせん断力 (kN)

h_1 : 鋼板のせん断負担幅 (mm)

t_1 : 鋼板の厚さ (mm)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

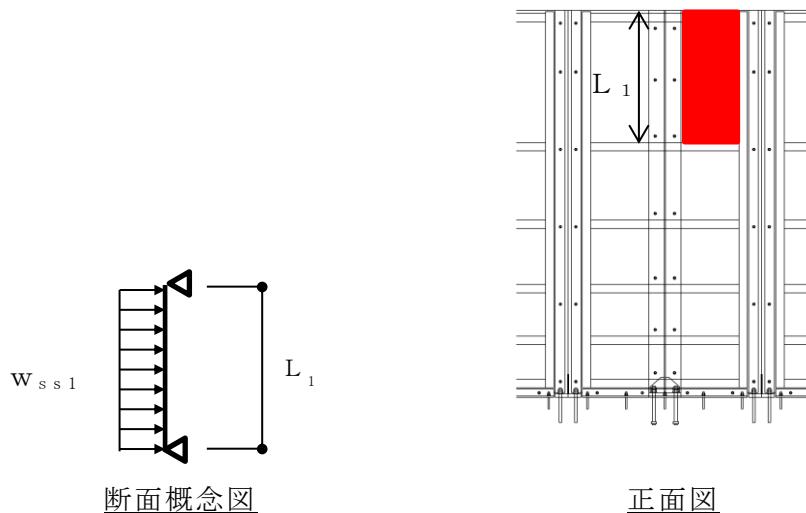


図 8-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 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する。
柱に作用する荷重の例を図 8-4 に示す。

a. 柱に作用する基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = G \cdot k_H$$

$$V_2 = G \cdot k_v$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

V_2 : 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

b. 柱に作用する単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{ss2} = (S_s + W_2) / L_{21}$$

w_{ss2} : 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重(kN/m)

S_s : 地震荷重(kN)

W_2 : 柱に作用する風荷重(kN)

L_{21} : 柱全長(m)

c. 柱に作用する水平荷重

$$W_{ss2} = S_s + W_2$$

W_{ss2} : 柱に作用する水平方向の荷重(kN)

S_s : 地震荷重(kN)

W_2 : 柱に作用する風荷重 ($w \cdot B \cdot L_{21}$) (kN)

w : 風荷重(kN/m²)

B : 支柱間隔(m)

L_{21} : 柱全長(m)

d. 柱に生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b2} = (M_{max2} \cdot 10^6) / Z_2$$

$$M_{max2} = w_{ss2} \cdot L_{21} \cdot L_{22}$$

σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_{max2} : 柱の曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 柱の断面係数 (mm³)

w_{ss2} : 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重(kN/m)

L_{21} : 柱全長 (m)

L_{22} : 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置 (m)

e. 柱に生じる鉛直応力度

①引張応力度（鉛直上向き）注：安全側の検討として自重は考慮しない

$$\sigma_{t2} = (V_{tmax2} \cdot 10^3) / A_2$$

$$V_{tmax2} = V_2$$

σ_{t2} : 柱に生じる引張応力度 (N/mm²)

V_{tmax2} : 柱の引張荷重 (kN)

A_2 : 柱の断面積 (mm²)

V_2 : 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

②圧縮応力度（鉛直下向き）

$$\sigma_{c2} = (V_{max2} \cdot 10^3) / A_2$$

$$V_{max2} = G + V_2$$

σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

V_{max2} : 柱の鉛直荷重 (kN)

A_2 : 柱の断面積 (mm²)

G : 固定荷重 (kN)

V_2 : 柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

f. 柱に生じるせん断応力度

$$\tau_2 = (S_{max2} \cdot 10^3) / (h_2 \cdot t_2)$$

$$S_{max2} = W_{ss2}$$

τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

S_{max2} : 柱のせん断力 (kN)

h_2 : 柱のウェブ高 (mm)

t_2 : 柱のウェブ厚 (mm)

W_{ss2} : 柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

g. 柱に生じる組合せ応力度

柱に生じる曲げ応力度，引張応力度，圧縮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する。

① 曲げ応力度と引張応力度

$$\sigma_{b2}/f_b + \sigma_{t2}/f_t \leq 1$$

σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

f_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{t2} : 柱に生じる引張応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

② 曲げ応力度と圧縮応力度

$$\sigma_{b2}/f_b + \sigma_{c2}/f_c \leq 1$$

σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

f_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

f_c : 短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

③ 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq f_t$$

σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

④ 曲げ応力度，引張応力度，せん断応力度

$$\sqrt{(\sigma_{b2} + \sigma_{t2})^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq f_t$$

σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{t2} : 柱に生じる引張応力度 (N/mm²)

τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

⑤ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度

$$\sqrt{(\sigma_{b2} + \sigma_{c2})^2 + 3 \cdot \tau_2^2} \leq f_t$$

- σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
- τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)
- f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

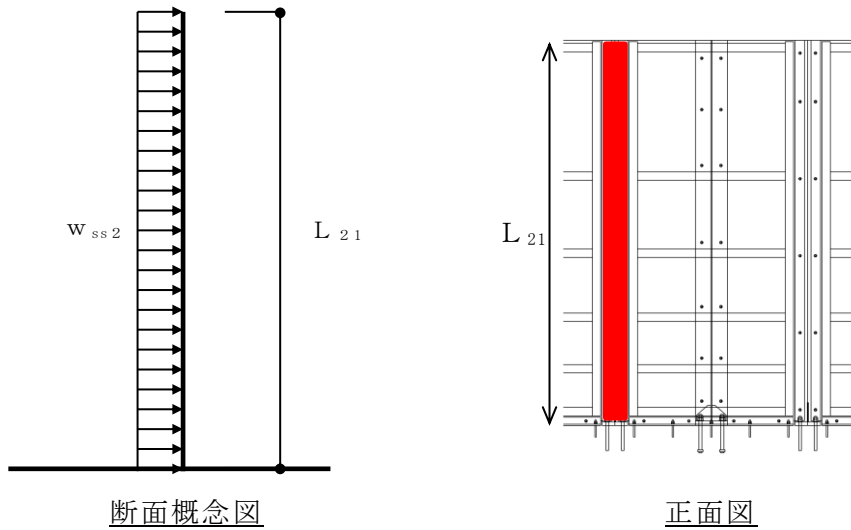


図 8-4 柱に作用する荷重の例

(3) 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する。はりに作用する荷重の例を図 8-5 に示す。

a. はりに作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_s = G \cdot k_H$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. はりに作用する単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{ss3} = S_s / A_3 + w_3$$

w_{ss3} : はりに作用する単位面積あたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

S_s : 地震荷重 (kN)

A_3 : 防水壁の面積 (m²)

w_3 : はりに作用する風圧力 (kN/m²)

c. はりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_{b3} = (M_{\max3} \cdot 10^6) / Z_3$$

$$M_{\max3} = w_{ss3} \cdot B_3 \cdot L_3^2 / 8$$

σ_{b3} : はりに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max3}$: はりの曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : はりの断面係数 (mm³)

w_{ss3} : はりに作用する単位面積あたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

B_3 : はりの荷重載荷幅 (m)

L_3 : はりの部材長 (m)

d. はりに生じるせん断応力度

$$\tau_3 = (S_{\max3} \cdot 10^3) / (h_1 \cdot t_1)$$

$$S_{\max3} = w_{ss3} \cdot B_3 \cdot L_3 / 2$$

- τ_3 : はりに生じるせん断応力度 (N/mm²)
 $S_{\max 3}$: はりのせん断力 (kN)
 h_1 : 鋼板のせん断負担幅 (mm)
 t_1 : 鋼板の厚さ (mm)
 w_{ss3} : はりに作用する単位面積あたりの水平方向の等分布荷重 (kN/ m²)
 B_3 : はりの荷重載荷幅 (m)
 L_3 : はりの部材長 (m)

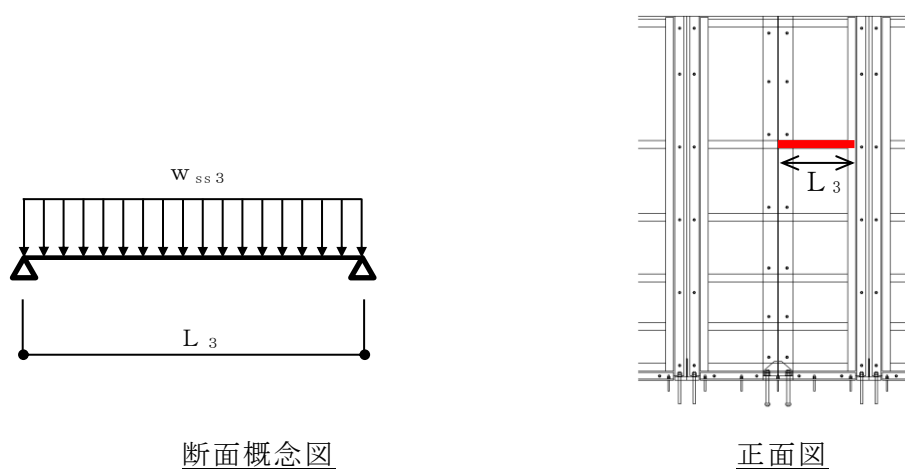


図 8-5 はりに作用する荷重の例

(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」に基づき算定する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 8-6 に示す。

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

$$P = V_{\max 2} / N + M_{\max 2} \cdot x_i / \sum n \cdot x_i^2$$

$$P/P_a \leq 1.0$$

$V_{\max 2}$: 柱の鉛直荷重 (kN)

N : 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 (本)

$M_{\max 2}$: 柱の曲げモーメント (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)

P : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

P_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q = S_{\max 2} / N$$

$$Q / Q_a \leq 1.0$$

$S_{\max 2}$: 柱に発生するせん断力 (kN)

Q : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (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)

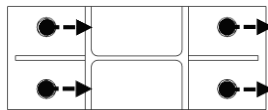


図 8-6 アンカーボルトに生じる荷重の例

8.2.6 評価条件

「8.2.5 評価方法」に用いる入力値を表8-10に示す。

表8-10 耐震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	g	m/s^2	重力加速度	9.80665
	k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度	1.8
	k_v	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度	0.9
	G	kN	固定荷重	4.8
鋼板	w_{ss1}	kN/m	鋼板に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重	16.65
	B	m	支柱間隔	0.750
	z_1	m	鋼板に作用する風荷重の作用高さ	3.00
	σ_{b1}	N/mm^2	鋼板に生じる曲げ応力度	154.07
	M_{max1}	$kN \cdot m$	鋼板の曲げモーメント	2.08
	Z_1	mm^3	鋼板の断面係数	1.35×10^4
	L_1	m	鋼板の部材長	1.000
	τ_1	N/mm^2	鋼板に生じるせん断応力度	0.93
	S_{max1}	kN	鋼板のせん断力	8.33
	h_1	mm	鋼板のせん断負担幅	1000
t_1	mm	鋼板の厚さ	9	
柱 (標準部)	V_2	kN	柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重	4.32
	w_{ss2}	kN/m	柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重	4.16
	W_2	kN	柱に作用する風荷重	3.84
	L_{21}	m	柱全長	3.000
	W_{ss2}	kN	柱に作用する水平方向の荷重	12.48
	σ_{b2}	N/mm^2	柱に生じる曲げ応力度	39.66
	M_{max2}	$kN \cdot m$	柱の曲げモーメント	18.72
Z_2	mm^3	柱の断面係数	4.72×10^5	

表 8-10 耐震評価に用いる入力値(2/2)

対象部位	記号	単位	定義	数値
柱 (標準部)	L_{22}	m	柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置	1.500
	σ_{t2}	N/mm ²	柱に生じる引張応力度	0.68
	V_{tmax2}	kN	柱の引張荷重	4.32
	A_2	mm ²	柱の断面積	6353
	σ_{c2}	N/mm ²	柱に生じる圧縮応力度	1.44
	V_{max2}	kN	柱の鉛直荷重	9.12
	τ_2	N/mm ²	柱に生じるせん断応力度	8.86
	S_{max2}	kN	柱のせん断力	12.48
	h_2	mm	柱のウェブ高	176
	t_2	mm	柱のウェブ厚	8
はり	w_{ss3}	kN/m ²	はりに作用する単位面積あたりの水平方向の等分布荷重	5.55
	A_3	m ²	防水壁の面積	2.25
	w_3	kN/m ²	はりに作用する風圧力	1.71
	σ_{b3}	N/mm ²	はりに生じる曲げ応力度	28.89
	M_{max3}	kN・m	はりの曲げモーメント	0.23
	Z_3	mm ³	はりの断面係数	7.96×10^3
	B_3	m	はりの荷重載荷幅	0.800
	L_3	m	はりの部材長	0.650
	τ_3	N/mm ²	はりに生じるせん断応力度	0.20
S_{max3}	kN	はりのせん断力	1.44	
アンカー ボルト (標準部)	N	本	柱に取り付くアンカーボルトの総本数	4
	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
	P	kN	アンカーボルト1本あたりの引張力	27.93
	Q	kN	アンカーボルト1本あたりのせん断力	3.12

9. 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））

当該防水壁の耐震性についてはVI-2-11-2-5「取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の耐震性についての計算書」に示す。

10. 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））

当該防水壁の耐震性についてはVI-2-11-2-5「取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の耐震性についての計算書」に示す。

11. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁（区間-2）

当該防水壁の耐震性についてはVI-2-11-2-5「取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の耐震性についての計算書」に示す。

12. 評価結果

耐震評価結果を表 12-1～表 12-6 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。

ディーゼル燃料移送ポンプ室ポンプリア防護対策設備防水壁の各部材毎の検定比が最大となる部材を図 12-1 に示す。

表 12-1 耐震評価結果（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	2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01
胴縁	曲げ	2	N/mm ²	229	N/mm ²	0.01
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
	組合せ	3	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
柱	曲げ	5	N/mm ²	223	N/mm ²	0.03
	せん断	4	N/mm ²	135	N/mm ²	0.03
	組合せ	9	N/mm ²	235	N/mm ²	0.04
アンカー ボルト	せん断	2	kN	58	kN	0.04

表 12-2 耐震評価結果 (タービン建物地下 1 階復水室北西側防水壁)

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	6	N/mm ²	235	N/mm ²	0.03
胴縁	曲げ (強軸)	3	N/mm ²	178	N/mm ²	0.02
	曲げ (弱軸)	25	N/mm ²	235	N/mm ²	0.11
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
	組合せ	29	N/mm ²	235	N/mm ²	0.13
柱	曲げ (強軸)	6	N/mm ²	304	N/mm ²	0.02
	曲げ (弱軸)	42	N/mm ²	325	N/mm ²	0.13
	せん断	4	N/mm ²	187	N/mm ²	0.03
	圧縮	2	N/mm ²	217	N/mm ²	0.01
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.16
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	51	N/mm ²	325	N/mm ²	0.16
はり	曲げ (強軸)	29	N/mm ²	310	N/mm ²	0.10
	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	3	N/mm ²	210	N/mm ²	0.02
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.13
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	39	N/mm ²	325	N/mm ²	0.12
アンカー ボルト	引張	15	kN	76	kN	0.20
	せん断	8	kN	58	kN	0.14
	組合せ (引張+せん断)	—	—	—	—	0.06

表 12-3 耐震評価結果 (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	3	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
胴縁	曲げ (強軸)	1	N/mm ²	202	N/mm ²	0.01
	曲げ (弱軸)	39	N/mm ²	235	N/mm ²	0.17
	せん断	3	N/mm ²	135	N/mm ²	0.03
	組合せ	41	N/mm ²	235	N/mm ²	0.18
柱	曲げ (強軸)	1	N/mm ²	318	N/mm ²	0.01
	曲げ (弱軸)	7	N/mm ²	325	N/mm ²	0.03
	せん断	1	N/mm ²	187	N/mm ²	0.01
	圧縮	3	N/mm ²	268	N/mm ²	0.02
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.06
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	12	N/mm ²	325	N/mm ²	0.04
はり	曲げ (強軸)	7	N/mm ²	322	N/mm ²	0.03
	曲げ (弱軸)	3	N/mm ²	325	N/mm ²	0.01
	せん断	6	N/mm ²	187	N/mm ²	0.04
	圧縮	4	N/mm ²	306	N/mm ²	0.02
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.06
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	18	N/mm ²	325	N/mm ²	0.06
水平ブレース	圧縮	8	N/mm ²	100	N/mm ²	0.08
アンカー ボルト	引張	13	kN	64	kN	0.21
	せん断	1	kN	58	kN	0.02
	組合せ (引張+せん断)	—	—	—	—	0.05

表 12-4(1) 耐震評価結果 (タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁)

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	4	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
胴縁	曲げ (強軸)	1	N/mm ²	217	N/mm ²	0.01
	曲げ (弱軸)	6	N/mm ²	235	N/mm ²	0.03
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
	圧縮	1	N/mm ²	143	N/mm ²	0.01
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.05
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	9	N/mm ²	235	N/mm ²	0.04
根太	曲げ (強軸)	3	N/mm ²	181	N/mm ²	0.02
	曲げ (弱軸)	21	N/mm ²	235	N/mm ²	0.09
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
	組合せ	25	N/mm ²	235	N/mm ²	0.11
柱	曲げ (強軸)	1	N/mm ²	232	N/mm ²	0.01
	曲げ (弱軸)	2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
	圧縮	5	N/mm ²	222	N/mm ²	0.03
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.05
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	9	N/mm ²	235	N/mm ²	0.04
はり	曲げ (強軸)	5	N/mm ²	225	N/mm ²	0.03
	曲げ (弱軸)	43	N/mm ²	235	N/mm ²	0.19
	せん断	4	N/mm ²	135	N/mm ²	0.03
	圧縮	2	N/mm ²	172	N/mm ²	0.02
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.24
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	51	N/mm ²	235	N/mm ²	0.22

表 12-4(2) 耐震評価結果 (タービン建物地下 1 階復水器室北東側防水壁)

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
斜材	曲げ (強軸)	1	N/mm ²	220	N/mm ²	0.01
	曲げ (弱軸)	4	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
	圧縮	7	N/mm ²	160	N/mm ²	0.05
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.08
	組合せ (曲げ+せん断+ 軸力)	13	N/mm ²	235	N/mm ²	0.06
アンカー ボルト	引張	24	kN	71	kN	0.34
	せん断	1	kN	49	kN	0.03
	組合せ (引張+せん断)	—	—	—	—	0.12

表 12-5(1) 耐震評価結果

(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	15	N/mm ²	235	N/mm ²	0.07
胴縁	曲げ	6	N/mm ²	235	N/mm ²	0.03
	せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02
はり	曲げ (強軸)	53	N/mm ²	187	N/mm ²	0.29
	曲げ (弱軸)	4	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
	せん断	11	N/mm ²	135	N/mm ²	0.09
	圧縮	1	N/mm ²	187	N/mm ²	0.01
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.32
	組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	60	N/mm ²	235	N/mm ²	0.26
柱	曲げ (強軸)	52	N/mm ²	219	N/mm ²	0.24
	曲げ (弱軸)	3	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
	せん断	12	N/mm ²	135	N/mm ²	0.09
	圧縮	4	N/mm ²	177	N/mm ²	0.03
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.29
	組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	62	N/mm ²	235	N/mm ²	0.27
ブレース	引張	27	N/mm ²	235	N/mm ²	0.12
アンカー ボルト	引張	6	kN	37	kN	0.17
	せん断	13	kN	16	kN	0.82
	組合せ (引張+せん断)	—	—	—	—	0.71

表 12-5(2) 耐震評価結果

(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	15	N/mm ²	235	N/mm ²	0.07
胴縁	曲げ	6	N/mm ²	235	N/mm ²	0.03
	せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02
はり	曲げ (強軸)	79	N/mm ²	187	N/mm ²	0.43
	曲げ (弱軸)	3	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
	せん断	15	N/mm ²	135	N/mm ²	0.12
	圧縮	1	N/mm ²	187	N/mm ²	0.01
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.46
	組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	86	N/mm ²	235	N/mm ²	0.37
柱	曲げ (強軸)	79	N/mm ²	219	N/mm ²	0.37
	曲げ (弱軸)	4	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
	せん断	17	N/mm ²	135	N/mm ²	0.13
	圧縮	6	N/mm ²	177	N/mm ²	0.04
	組合せ (曲げ+軸力)	—	—	—	—	0.43
	組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	92	N/mm ²	235	N/mm ²	0.40
ブレース	引張	29	N/mm ²	235	N/mm ²	0.13
アンカー ボルト	引張	—	—	—	—	—
	せん断	13	kN	17	kN	0.77
	組合せ (引張+せん断)	—	—	—	—	—

表 12-6 耐震評価結果（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	155	N/mm ²	235	N/mm ²	0.66
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
はり	曲げ	29	N/mm ²	235	N/mm ²	0.13
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
柱	曲げ	40	N/mm ²	235	N/mm ²	0.18
	せん断	9	N/mm ²	135	N/mm ²	0.07
	組合せ（上向き） （曲げ+引張）	—	—	—	—	0.17
	組合せ（下向き） （曲げ+圧縮）	—	—	—	—	0.17
	組合せ （曲げ+せん断）	43	N/mm ²	235	N/mm ²	0.19
	組合せ（上向き） （曲げ+引張 +せん断）	44	N/mm ²	235	N/mm ²	0.19
	組合せ（下向き） （曲げ+圧縮 +せん断）	44	N/mm ²	235	N/mm ²	0.19
アンカー ボルト	引張	28	kN	41	kN	0.69
	せん断	4	kN	35	kN	0.12
	組合せ （引張+せん断）	—	—	—	—	0.47

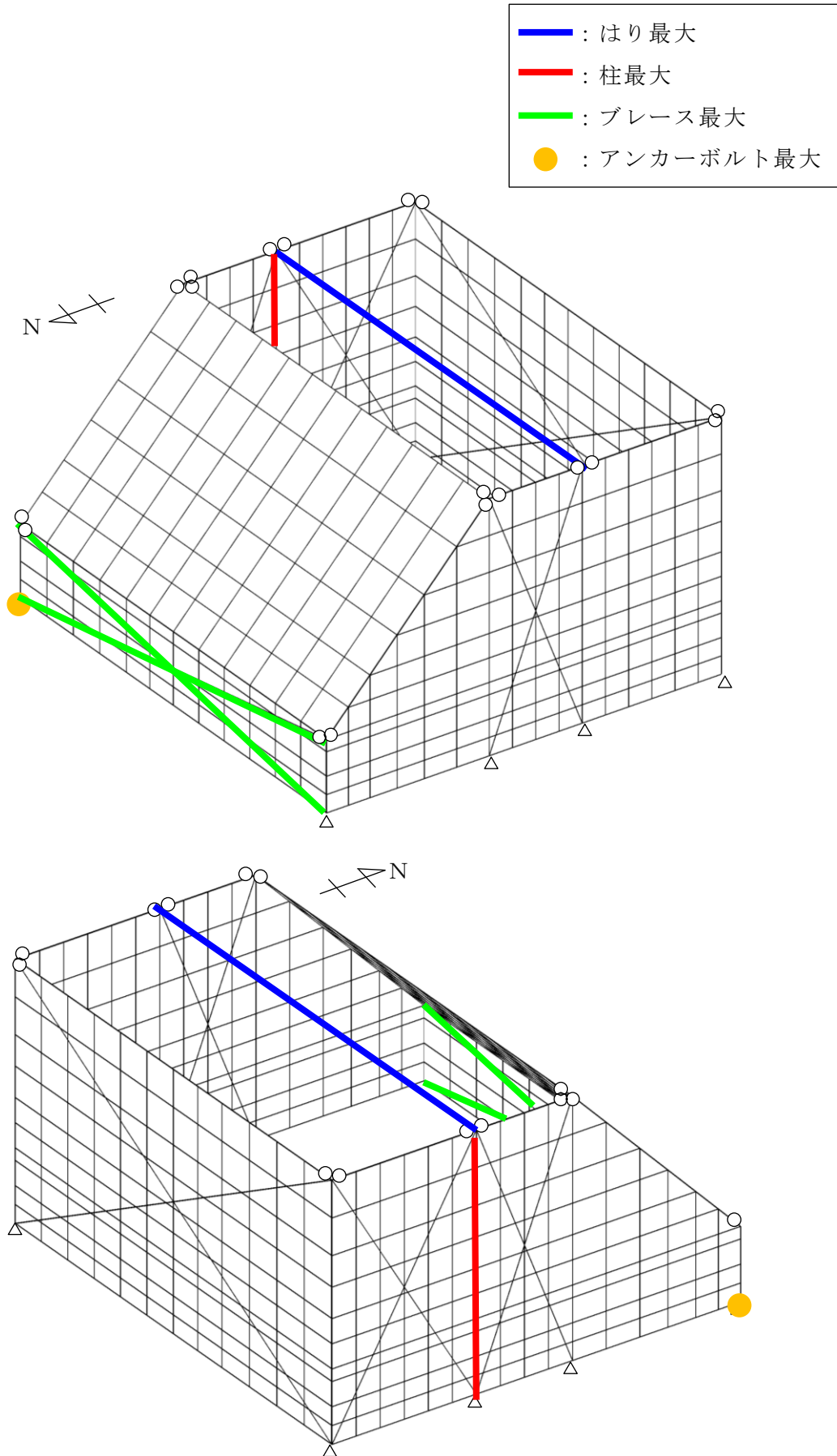


図 12-1(1) 最大検定比箇所 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁)

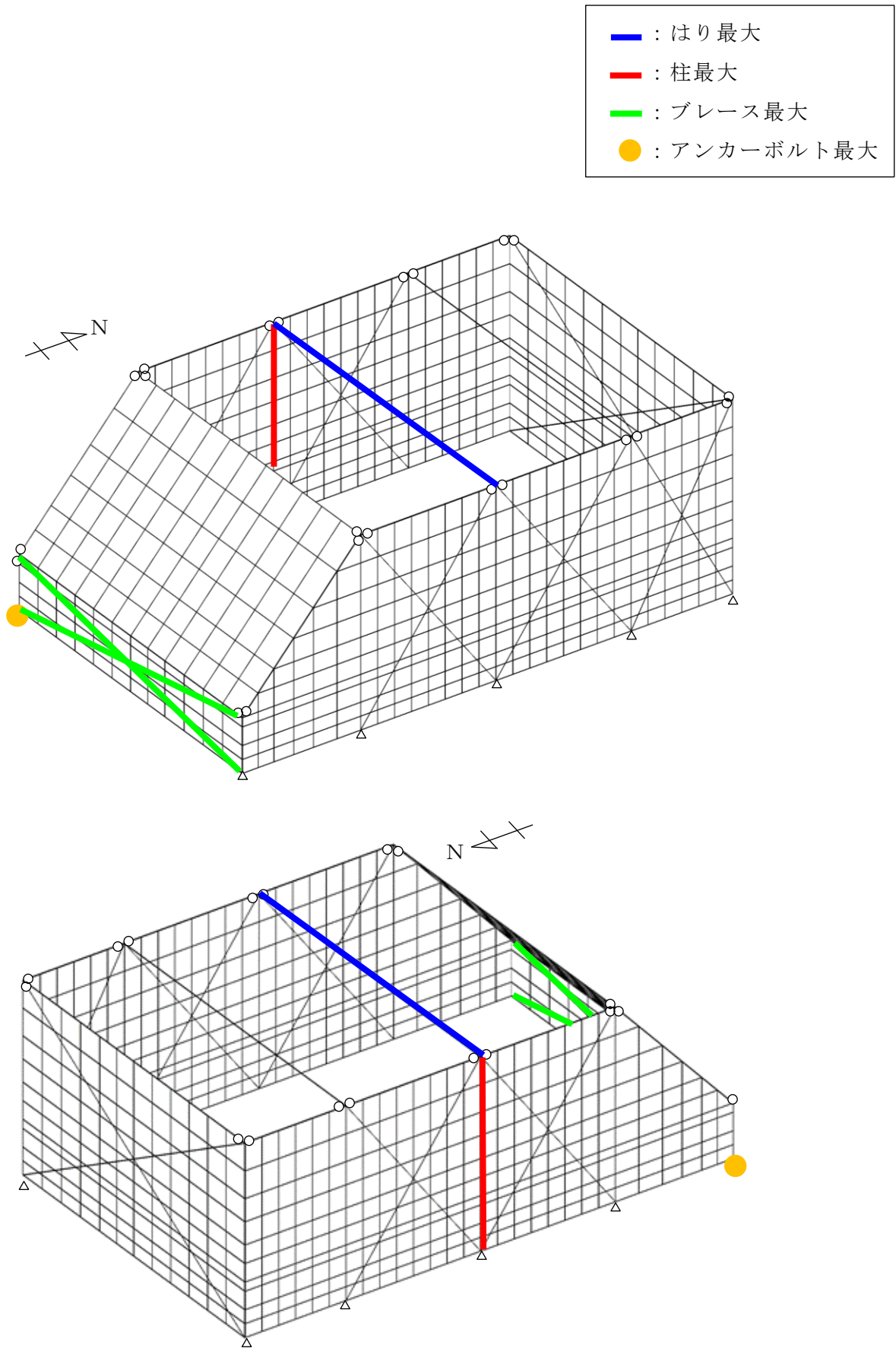


図 12-1(2) 最大検定比箇所 (ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備南側防水壁)

VI-2-10-2-9 水密扉の耐震性についての計算書

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	4
2.3	構造計画	19
2.4	評価方針	26
2.5	適用規格・基準等	29
2.6	記号の説明	30
3.	固有振動数及び設計用地震力	42
3.1	固有値解析	42
3.1.1	解析モデルの設定	42
3.2	固有振動数の算出条件等	45
3.2.1	記号の説明	45
3.2.2	固有振動数の算出方法	45
3.2.3	固有振動数の算出条件	48
3.3	固有振動数の算出結果	57
3.3.1	水密扉（タイプⅠ，Ⅱ，Ⅲ）	57
3.3.2	水密扉（タイプⅣ）	59
3.3.3	パネル部（タイプⅤ）	60
3.4	設計用地震力	61
4.	耐震評価方法	64
4.1	タイプⅠ	64
4.1.1	評価対象部位	64
4.1.2	荷重及び荷重の組合せ	67
4.1.3	許容限界	68
4.1.4	評価方法	71
4.1.5	評価条件	87
4.2	タイプⅡ	88
4.2.1	評価対象部位	88
4.2.2	荷重及び荷重の組合せ	91
4.2.3	許容限界	92
4.2.4	評価方法	95
4.2.5	評価条件	107
4.3	タイプⅢ	109
4.3.1	評価対象部位	109

4.3.2	荷重及び荷重の組合せ	111
4.3.3	許容限界	112
4.3.4	評価方法	114
4.3.5	評価条件	126
4.4	タイプⅣ	127
4.4.1	評価対象部位	127
4.4.2	荷重及び荷重の組合せ	130
4.4.3	許容限界	132
4.4.4	評価方法	134
4.4.5	評価条件	153
4.5	タイプⅤ	156
4.5.1	評価対象部位	156
4.5.2	荷重及び荷重の組合せ	160
4.5.3	許容限界	161
4.5.4	評価方法	164
4.5.5	評価条件	177
5.	評価結果	179

1. 概要

本計算書はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」の構造強度及び機能維持の設計方針並びにVI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に基づき、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、取水槽除じん機エリア水密扉、取水槽海水ポンプエリア水密扉、復水貯蔵タンクエリア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）エリア水密扉（以下「水密扉」という。）が地震力に対して十分な構造強度及び止水性を有していること、溢水伝搬を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有していることを説明するものである。

その耐震評価は、水密扉に要求される機能の維持を確認するために、応力評価に基づく、構造部材の健全性評価により行う。

水密扉は、設計基準対象施設においては耐震設計上の重要度分類Sクラス、Bクラス、C-1*クラス及びC-2*クラスに分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

注記*：工事計画の基本方針に示す原子炉本体の主要設備リストに記載される略語のうち、C-1クラスは波及的影響によって、耐震重要施設がその安全性を損なわないように設計するもの、また、C-2クラスは基準地震動による地震力に対して火災感知及び消火の機能又は溢水伝播を防止する機能を保持できる設計とするもの。

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。

なお、原子炉建物 1 階大物搬入口水密扉の評価は、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、本計算書では対象外とする。

表 2-1 検討対象水密扉一覧 (1/2)

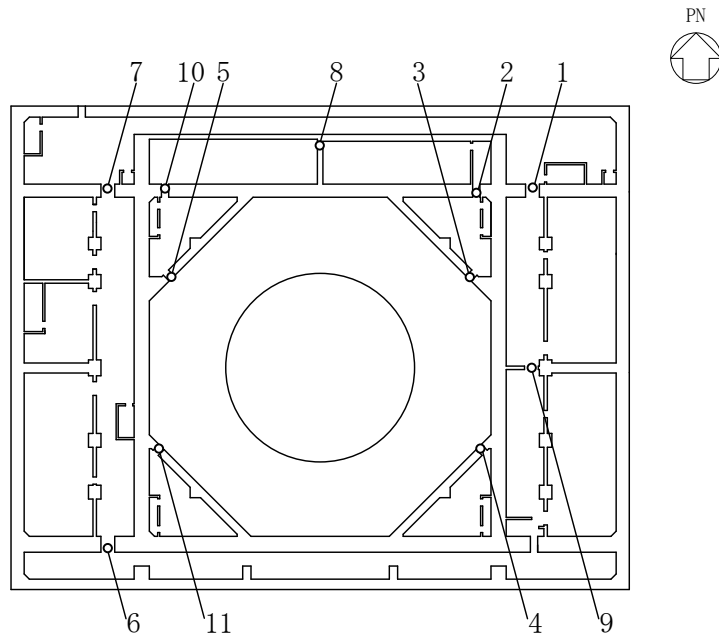
水密扉 No.	扉名称	設置高さ
		EL (m)
1	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室北側水密扉	2.6
2	原子炉建物地下 2 階 A-RHR ポンプ室北側水密扉	1.3
3	原子炉建物地下 2 階 トーラス室北東水密扉	1.3
4	原子炉建物地下 2 階 トーラス室南東水密扉	1.3
5	原子炉建物地下 2 階 トーラス室北西水密扉	1.3
6	原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室南側水密扉	2.8
7	原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室北側水密扉	2.6
8	原子炉建物地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉	1.3
9	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室南側水密扉	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	タービン建物地下 1 階 TCW 熱交換器室南側水密扉	2.65
19	タービン建物地下 1 階 復水系配管室北側水密扉	2.0
20	タービン建物地下 1 階 復水系配管室南側水密扉	2.0
21	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
22	タービン建物地下 1 階 復水系配管室南東側水密扉	2.0
23	タービン建物 1 階 西側エアロック前水密扉	8.8
24	タービン建物 2 階 常用電気室南側水密扉	12.5
25	タービン建物 2 階 大物搬入口水密扉	12.5
26	タービン建物 2 階 離相母線室南側水密扉	12.5
27	廃棄物処理建物地下 1 階 被服置場北側水密扉	8.8

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)
28	廃棄物処理建物 1 階大物搬入口水密扉	15.3
29	廃棄物処理建物 1 階ドラム缶搬入口水密扉	15.3
30	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
31	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
32	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
33	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	8.8
34	サイトバンカ建物 1 階南東側ポンプ室水密扉	8.8
35	取水槽除じん機エリア水密扉 (東)	8.8
36	取水槽除じん機エリア水密扉 (西)	8.8
37	取水槽除じん機エリア水密扉 (北)	8.8
38	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (東)	1.1
39	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (中)	1.1
40	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (西)	1.1
41	復水貯蔵タンク水密扉	16.1
42	補助復水貯蔵タンク水密扉	16.1
43	トーラス水受入タンク水密扉	16.1
44	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

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，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，取水槽除じん機エリア水密扉の設置位置図を図 2-7 に，取水槽海水ポンプエリア水密扉の設置位置図を図 2-8 に，復水貯蔵タンクエリア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）エリア水密扉の設置位置図を図 2-9 に示す。

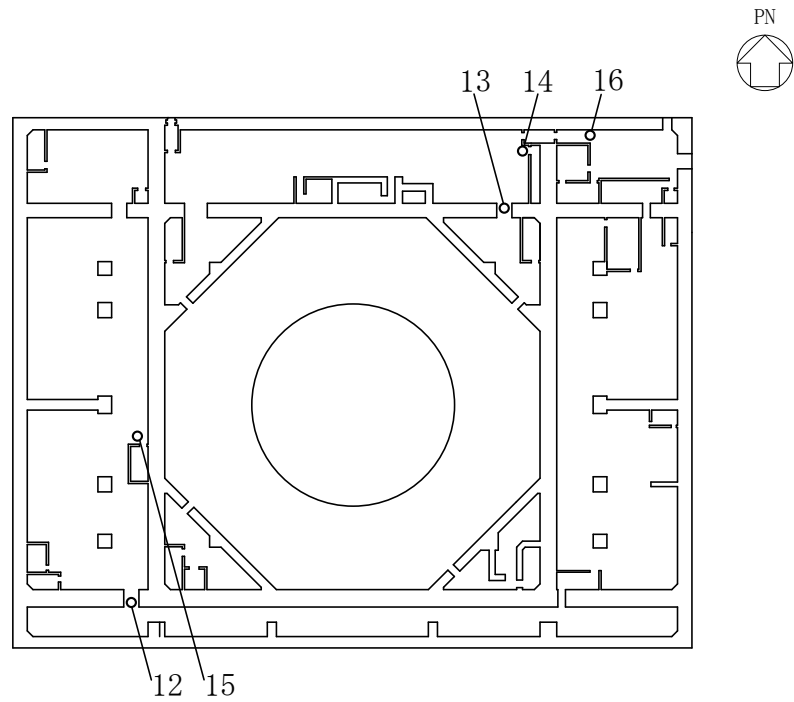


原子炉建物 EL 1300

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*
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 トーラス室南西水密扉*

注記*：耐震設計上の重要度分類 C-2 クラス施設を示す。

図 2-1(1) 水密扉の設置位置図（原子炉建物 地下 2 階）

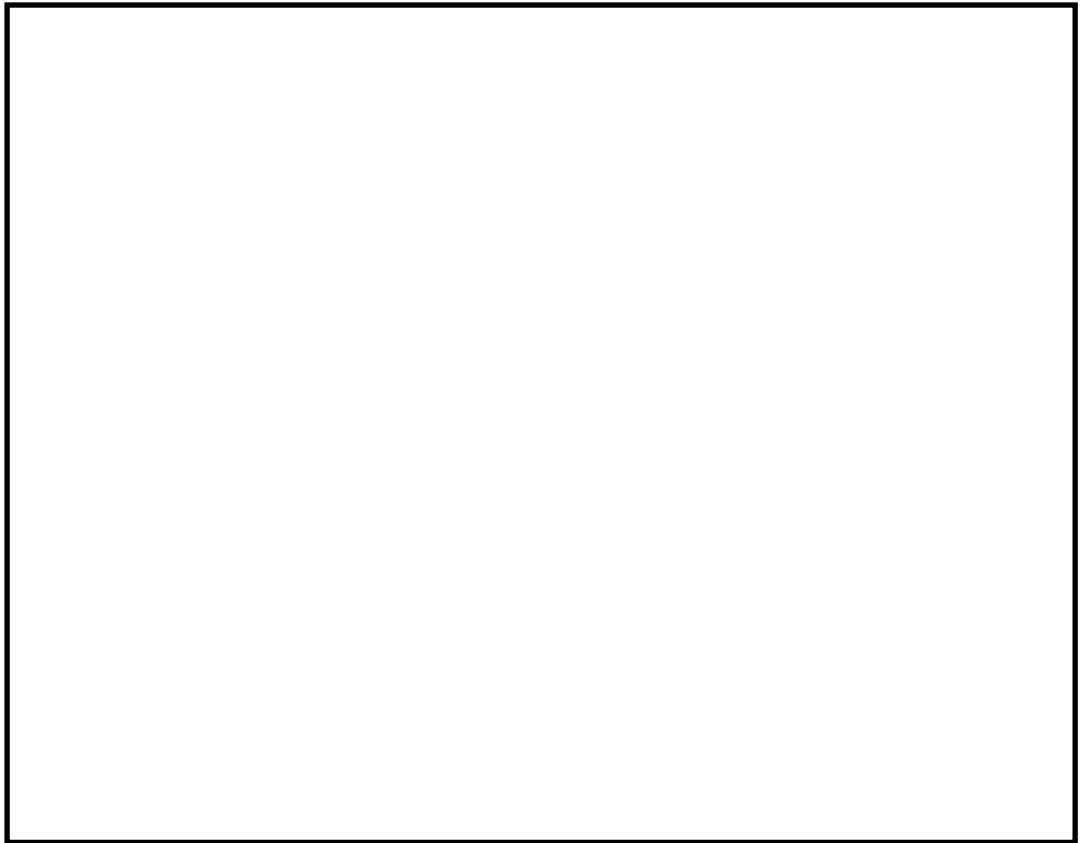


原子炉建物 EL 8800

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*

注記*：耐震設計上の重要度分類 C-2 クラス施設を示す。

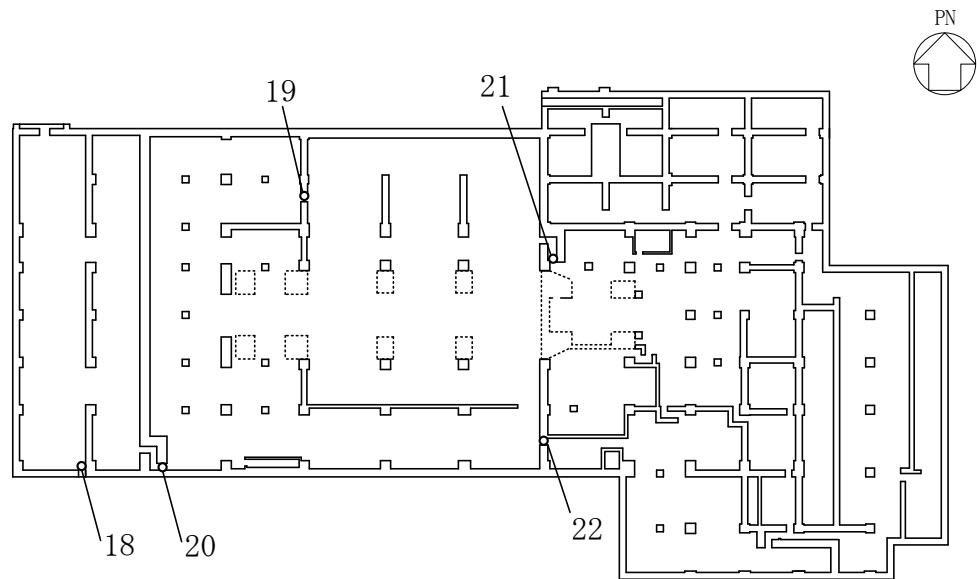
図 2-1(2) 水密扉の設置位置図（原子炉建物 地下 1 階）



17	原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉*
----	---------------------------

注記*：耐震設計上の重要度分類 C-2 クラス施設を示す。

図 2-1(3) 水密扉の設置位置図 (原子炉建物 1 階)



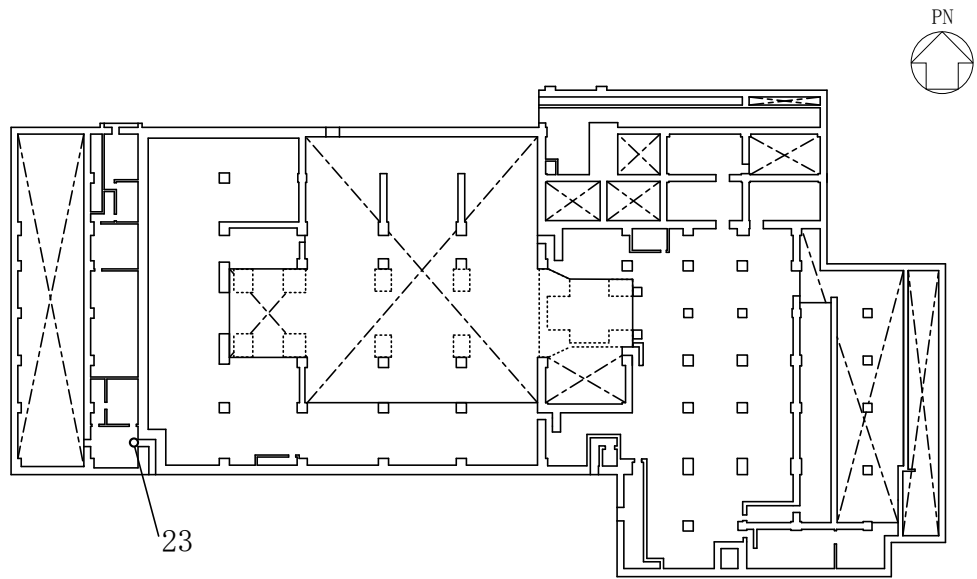
タービン建物 EL 2000

18	タービン建物地下1階 TCW 熱交換器室南側水密扉 ^{*1}
19	タービン建物地下1階復水系配管室北側水密扉 ^{*2}
20	タービン建物地下1階復水系配管室南側水密扉 ^{*2}
21	タービン建物地下1階封水回収ポンプ室北側水密扉 ^{*2}
22	タービン建物地下1階復水系配管室南東側水密扉 ^{*2}

注記*1：耐震設計上の重要度分類C-2クラス施設を示す。

*2：耐震設計上の重要度分類Sクラス施設を示す。

図2-2(1) 水密扉の設置位置図（タービン建物 地下1階）

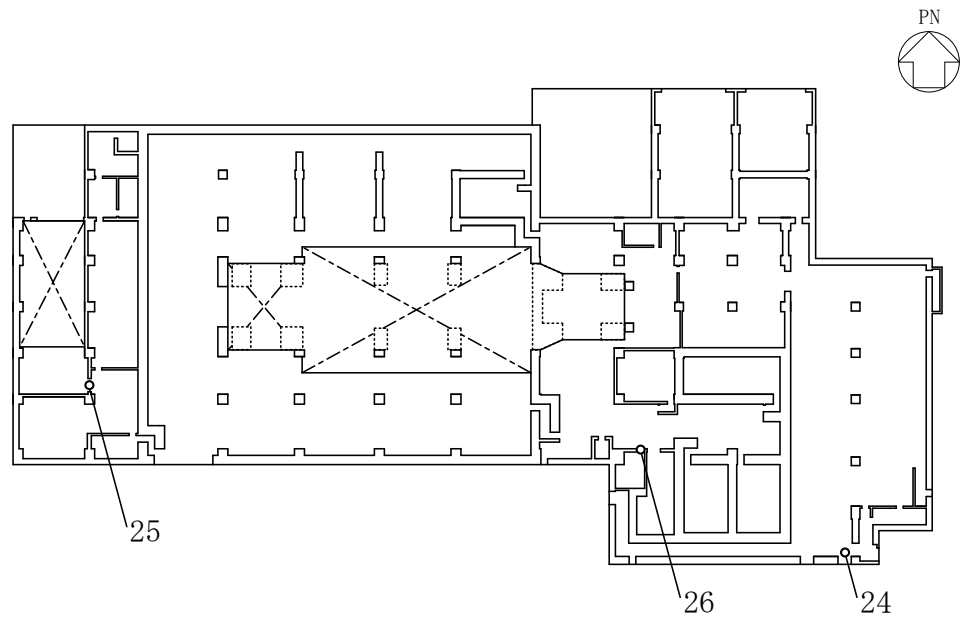


タービン建物 EL 5500

23	タービン建物 1 階西側エアロック前水密扉*
----	------------------------

注記*：耐震設計上の重要度分類 C-2 クラス施設を示す。

図 2-2(2) 水密扉の設置位置図 (タービン建物 1 階)



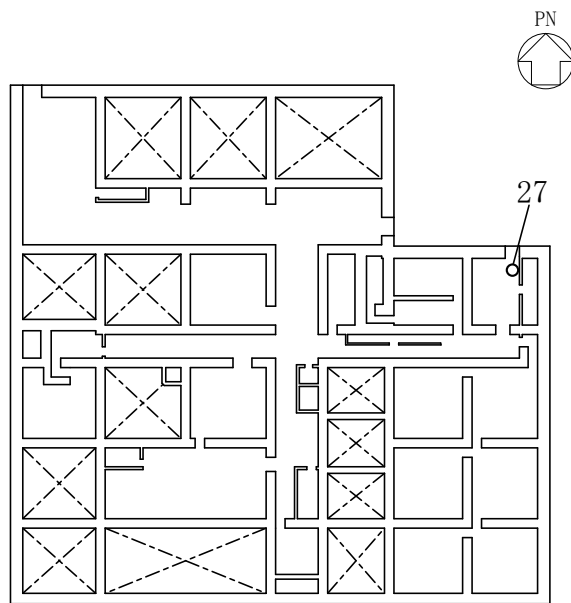
タービン建物 EL 12500

24	タービン建物 2 階常用電気室南側水密扉* ²
25	タービン建物 2 階大物搬入口水密扉* ¹
26	タービン建物 2 階離相母線室南側水密扉* ²

注記*1：耐震設計上の重要度分類 B クラス施設を示す。

*2：耐震設計上の重要度分類 C-2 クラス施設を示す。

図 2-2(3) 水密扉の設置位置図 (タービン建物 2 階)

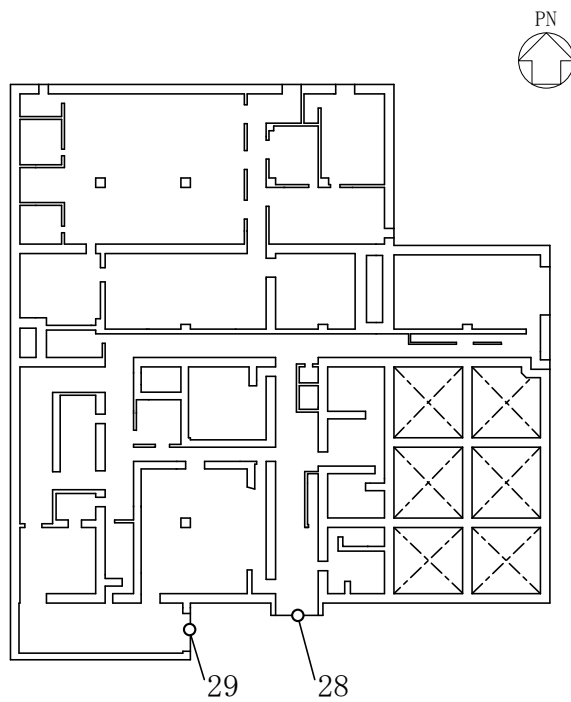


廃棄物処理建物 EL 8800

27	廃棄物処理建物地下1階被服置場北側水密扉*
----	-----------------------

注記*：耐震設計上の重要度分類C-2クラス施設を示す。

図2-3(1) 水密扉の設置位置図（廃棄物処理建物 地下1階）

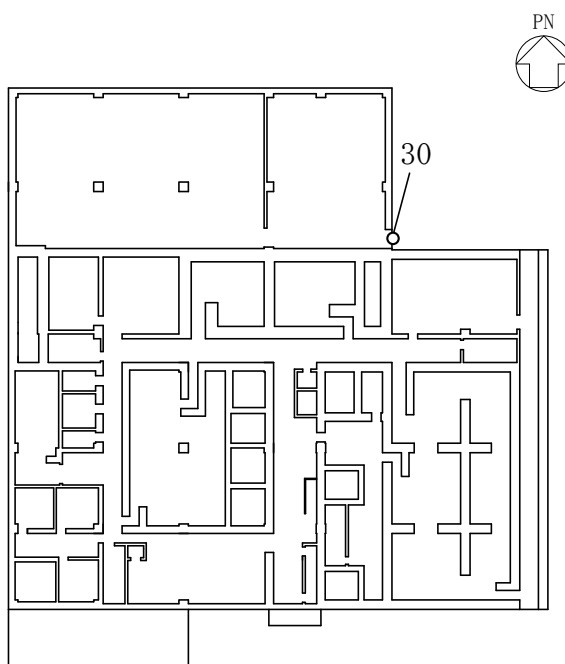


廃棄物処理建物 EL 15300

28	廃棄物処理建物 1 階大物搬入口水密扉*
29	廃棄物処理建物 1 階ドラム缶搬入口水密扉*

注記*：耐震設計上の重要度分類 B クラス施設を示す。

図 2-3(2) 水密扉の設置位置図 (廃棄物処理建物 1 階)

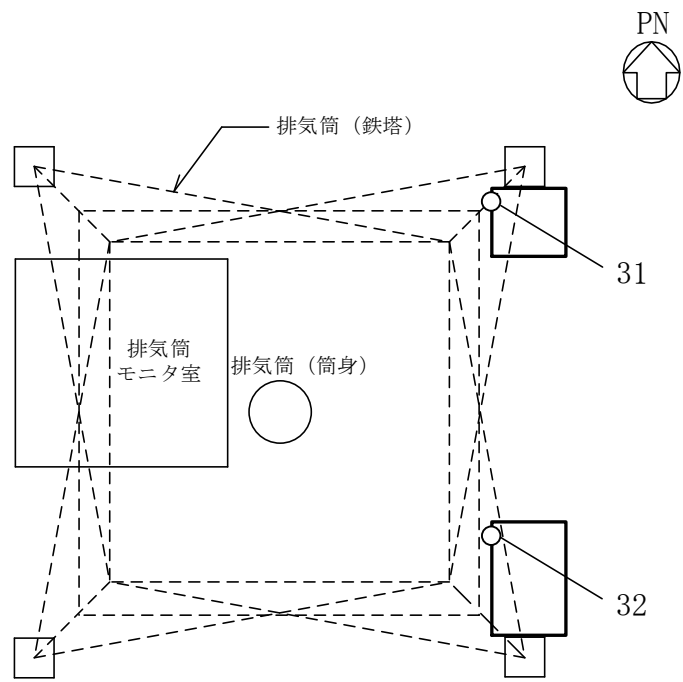


廃棄物処理建物 EL 22100

30	廃棄物処理建物 2 階非常用再循環送風機室東側水密扉*
----	-----------------------------

注記*：耐震設計上の重要度分類 C-2 クラス施設を示す。

図 2-3(3) 水密扉の設置位置図 (廃棄物処理建物 2 階)

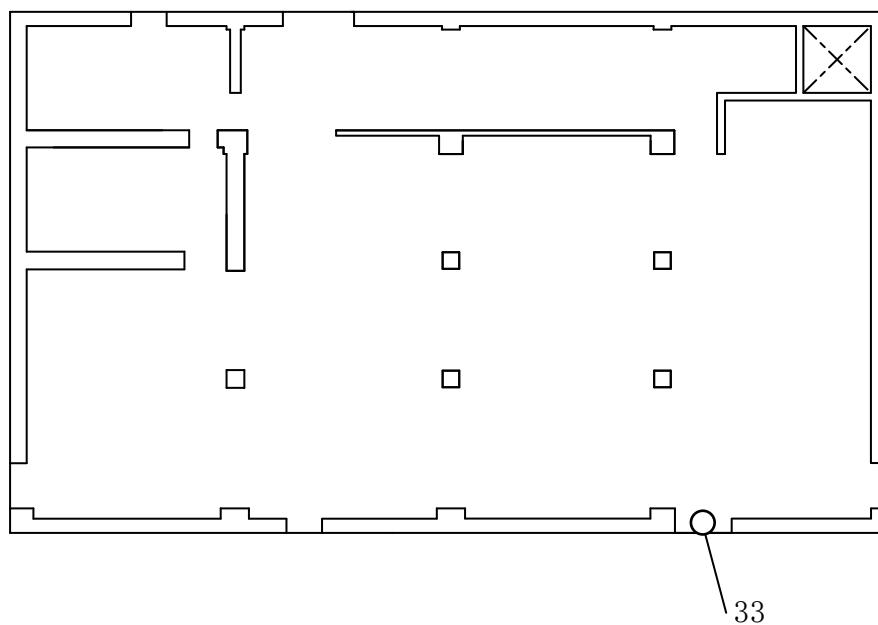
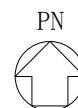


ディーゼル燃料移送ポンプエリア EL 8700

31	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*
32	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*

注記*：耐震設計上の重要度分類C-1，C-2クラス施設を示す。

図 2-4 水密扉の設置位置図（燃料移送ポンプエリア）

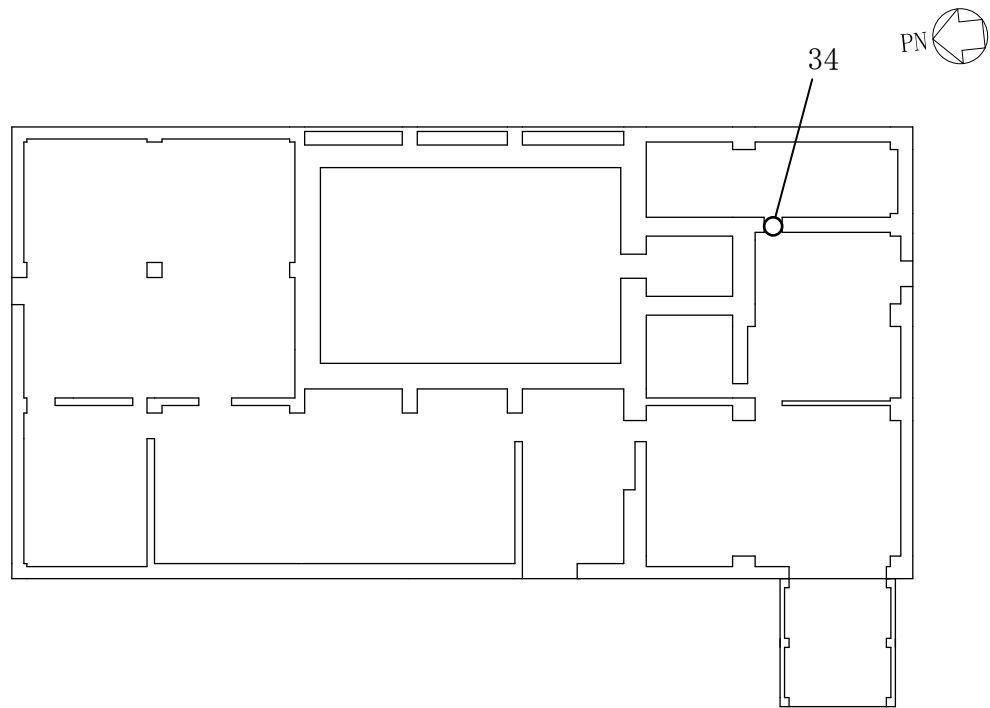


制御室建物 EL 8800

33	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉*
----	-------------------------

注記*：耐震設計上の重要度分類 C-2 クラス施設を示す。

図 2-5 水密扉の設置位置図（制御室建物 2 階）

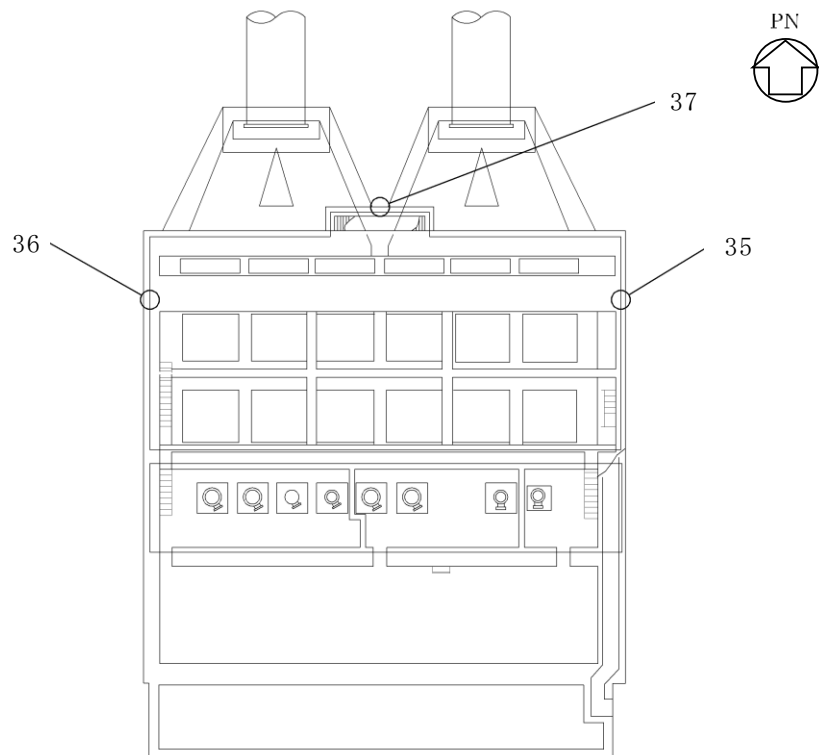


サイトバンカ建物 EL 8800

34	サイトバンカ建物 1階南東側ポンプ室水密扉*
----	------------------------

注記*：耐震設計上の重要度分類Bクラス施設を示す。

図 2-6 水密扉の設置位置図 (サイトバンカ建物 1階)

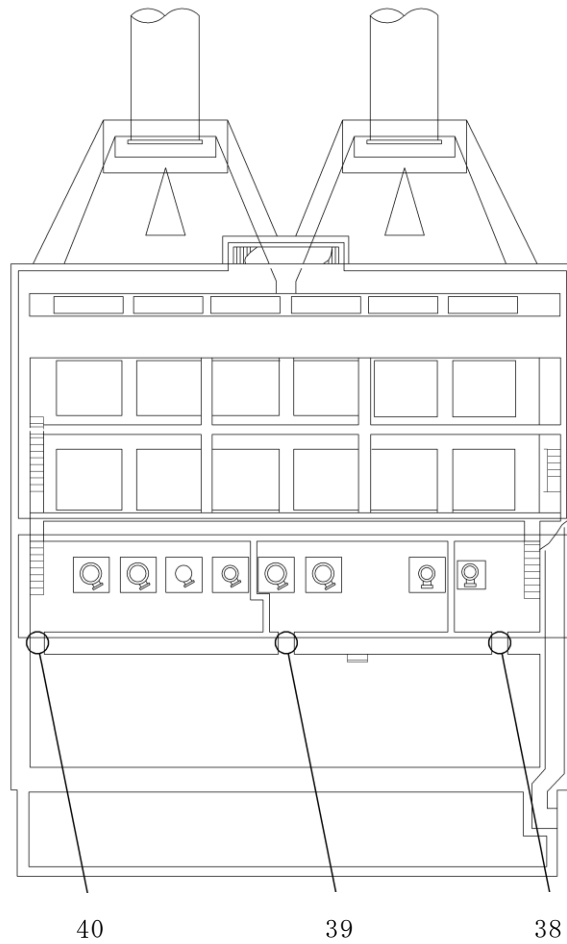


取水槽除じん機エリア EL 8800

35	取水槽除じん機エリア水密扉（東）*
36	取水槽除じん機エリア水密扉（西）*
37	取水槽除じん機エリア水密扉（北）*

注記*：耐震設計上の重要度分類Sクラス施設を示す。

図 2-7 水密扉の設置位置図（取水槽除じん機エリア）

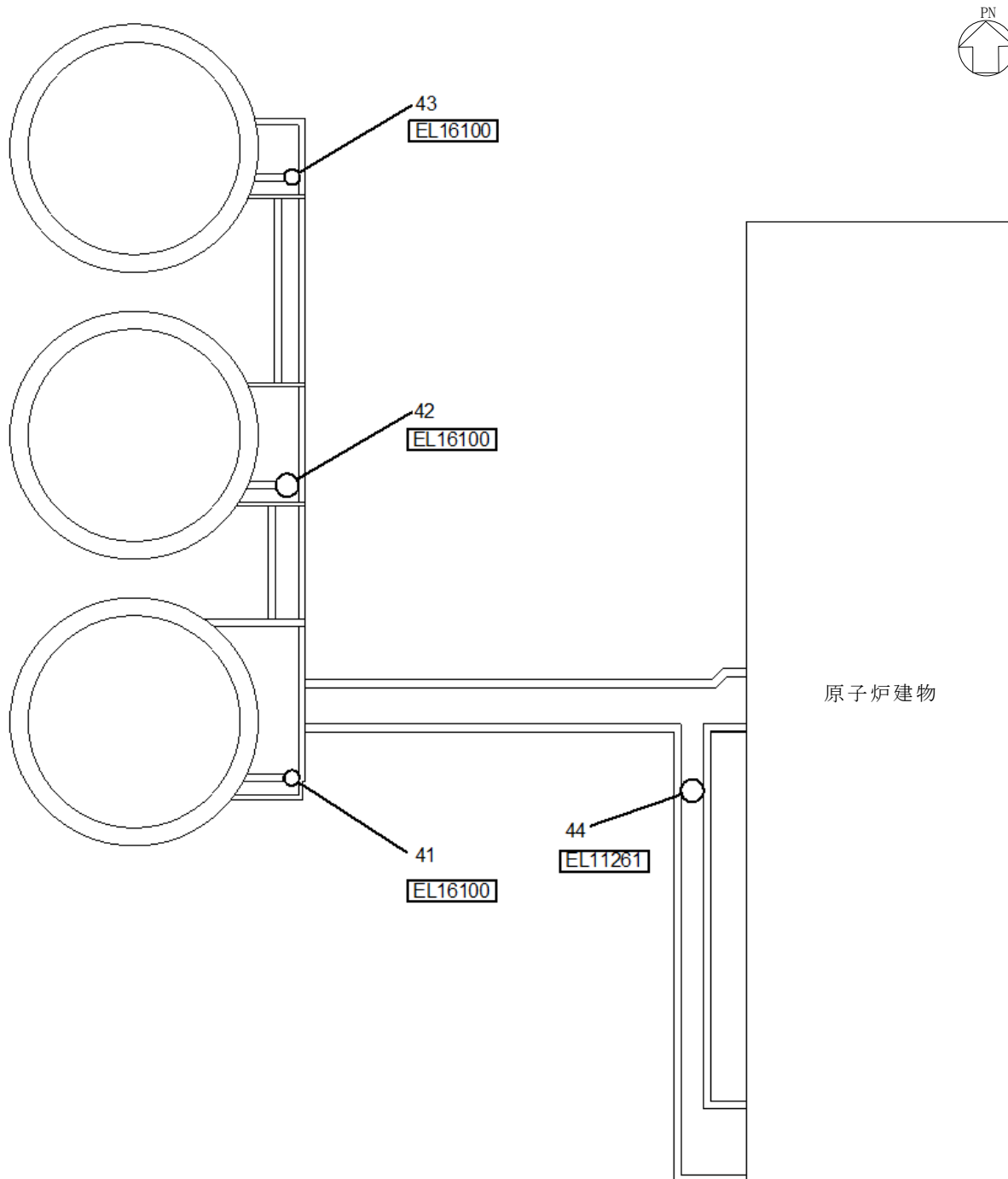


取水槽海水ポンプエリア EL 1100

38	取水槽海水ポンプエリア水密扉（東）*
39	取水槽海水ポンプエリア水密扉（中）*
40	取水槽海水ポンプエリア水密扉（西）*

注記*：耐震設計上の重要度分類C-2クラス施設を示す。

図 2-8 水密扉の設置位置図（取水槽海水ポンプエリア）



41	復水貯蔵タンク水密扉* ¹
42	補助復水貯蔵タンク水密扉* ¹
43	トーラス水受入タンク水密扉* ¹
44	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* ²

注記* 1：耐震設計上の重要度分類Bクラス施設を示す。

* 2：耐震設計上の重要度分類C-2クラス施設を示す。

図 2-9 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Ⅴに区分しており、各水密扉の構造タイプ一覧を表2-2、構造計画を表2-3～表2-7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，Ⅴ
14	原子炉建物地下1階 CRD ポンプ室東側水密扉	タイプⅠ，Ⅴ
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，Ⅴ
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，Ⅴ
18	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
19	タービン建物地下1階復水系配管室北側水密扉	タイプⅠ
20	タービン建物地下1階復水系配管室南側水密扉	タイプⅠ
21	タービン建物地下1階封水回収ポンプ室北側水密扉	タイプⅠ，Ⅴ
22	タービン建物地下1階復水系配管室南東側水密扉	タイプⅠ
23	タービン建物1階西側エアロック前水密扉	タイプⅠ
24	タービン建物2階常用電気室南側水密扉	タイプⅠ
25	タービン建物2階大物搬入口水密扉	タイプⅠ
26	タービン建物2階離相母線室南側水密扉	タイプⅠ
27	廃棄物処理建物地下1階被服置場北側水密扉	タイプⅡ，Ⅴ

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
28	廃棄物処理建物 1 階大物搬入口水密扉	タイプ II
29	廃棄物処理建物 1 階ドラム缶搬入口水密扉	タイプ II
30	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
31	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
32	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
33	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	タイプ I, V
34	サイトバンカ建物 1 階南東側ポンプ室水密扉	タイプ I
35	取水槽除じん機エリア水密扉 (東)	タイプ IV
36	取水槽除じん機エリア水密扉 (西)	タイプ IV
37	取水槽除じん機エリア水密扉 (北)	タイプ II, V
38	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (東)	タイプ II
39	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (中)	タイプ II
40	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (西)	タイプ II
41	復水貯蔵タンク水密扉	タイプ II
42	補助復水貯蔵タンク水密扉	タイプ II
43	トーラス水受入タンク水密扉	タイプ II
44	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>	

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>	<p>※タイプⅡの水密扉には、上部が開放されたものとされていないものがあるが、代表扉として上部が開放されている扉を記載</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>	

S2 補 VI-2-10-2-9 R1

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>扉開放時及び扉閉止時ともに、水密扉戸当り用支柱及び外部縦柱により扉板と防水壁とを一体化させる構造とする。</p> <p>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 2-7 水密扉の構造計画 (タイプV)

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>	

2.4 評価方針

水密扉の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造を踏まえ、「4.1.1 評価対象部位」, 「4.2.1 評価対象部位」, 「4.3.1 評価対象部位」, 「4.4.1 評価対象部位」及び「4.5.1 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、「3. 固有振動数及び設計用地震力」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界以下であることを、「4.1.4 評価方法」, 「4.2.4 評価方法」, 「4.3.4 評価方法」, 「4.4.4 評価方法」及び「4.5.4 評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図2-10に示す。水密扉の耐震評価においては、その構造を踏まえ地震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の耐震評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）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の耐震評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けボルト）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の耐震評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けプレート）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の耐震評価においては、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。

(5) タイプⅤ

水密扉のタイプⅤの耐震評価においては、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、はり及び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。

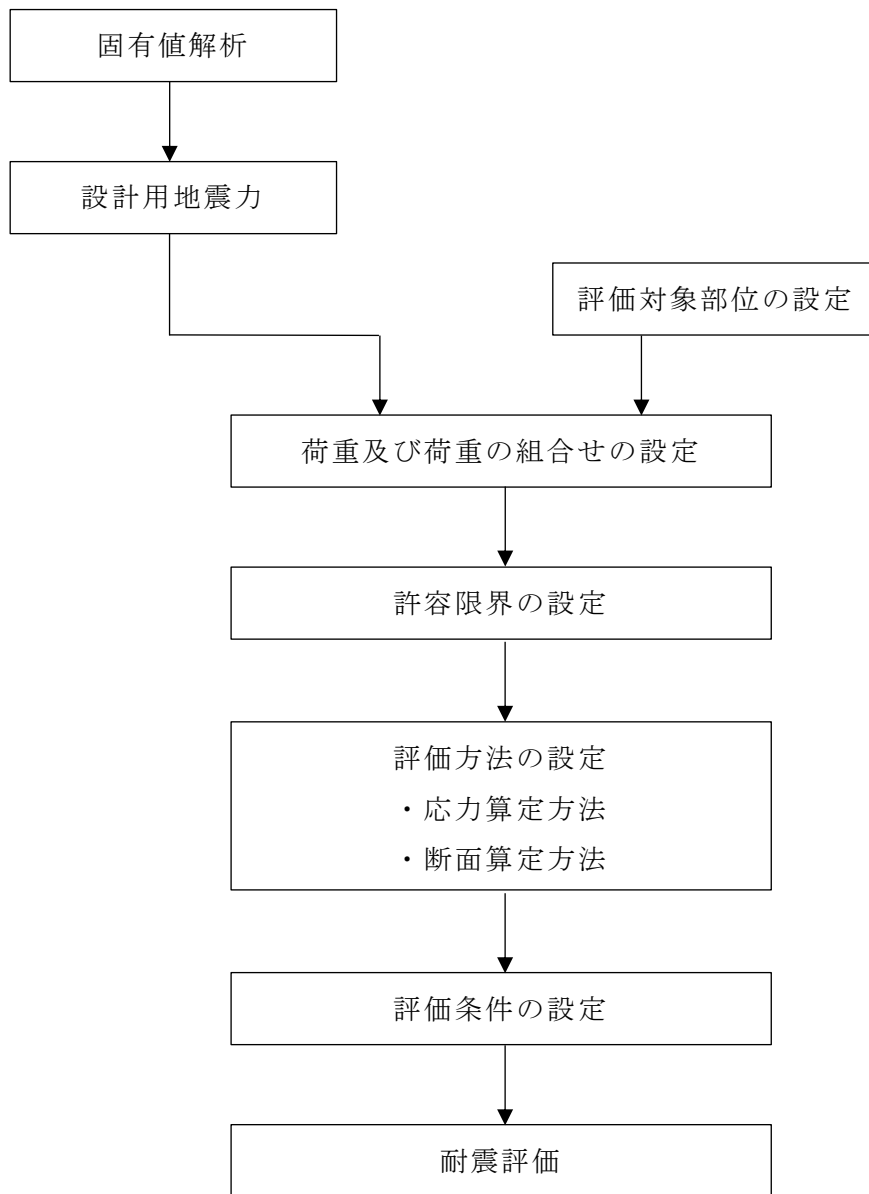


図 2-10 水密扉の耐震評価フロー

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) 構造力学公式集（（社）土木学会）

2.6 記号の説明

水密扉の耐震評価に用いる記号を表 2-8～表 2-12 に示す。

表 2-8 水密扉の耐震評価に用いる記号（タイプ I）（1/2）

記号	単位	定義
W_1	kN	スラスト荷重
F_1	kN	扉幅方向の転倒力
F_2	kN	扉厚方向の転倒力
G_D	kN	扉重量
k_H	—	水平震度
k_{UD}	—	鉛直震度
L_1	mm	扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離
L_2	mm	扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離
L_3	mm	ヒンジ芯間距離
M_1	kN・m	ヒンジ板の曲げモーメント
Q_1	kN	ヒンジ板のせん断力
L_4	mm	ヒンジ板の 2 軸間距離
Z_1	mm ³	ヒンジ板の断面係数
A_1	mm ²	ヒンジ板のせん断断面積
σ_1	N/mm ²	ヒンジ板の曲げ応力度
τ_1	N/mm ²	ヒンジ板のせん断応力度
$s f_{t1}$	N/mm ²	ヒンジ板の短期許容引張応力度
M_2	kN・m	ヒンジピンの曲げモーメント
Q_2	kN	ヒンジピンのせん断力
L_5	mm	ヒンジ板と受板間距離
Z_2	mm ³	ヒンジピンの断面係数
A_2	mm ²	ヒンジピンのせん断断面積
σ_2	N/mm ²	ヒンジピンの曲げ応力度
τ_2	N/mm ²	ヒンジピンのせん断応力度
$s f_{t2}$	N/mm ²	ヒンジピンの短期許容引張応力度
Q_3	kN	ヒンジボルトのせん断力
n_1	本	ヒンジボルトの本数
A_3	mm ²	ヒンジボルトのせん断断面積
τ_3	N/mm ²	ヒンジボルトのせん断応力度

表 2-8 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプ I) (2/2)

記号	単位	定義
R_1	kN	地震力に伴う荷重の反力
n_2	本	カンヌキの本数
M_4	kN・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_6	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
M_5	kN・m	カンヌキ受けピンの曲げモーメント
Q_5	kN	カンヌキ受けピンのせん断力
L_7	mm	カンヌキ受けピン長さ
Z_5	mm ³	カンヌキ受けピンの断面係数
A_5	mm ²	カンヌキ受けピンのせん断断面積
σ_5	N/mm ²	カンヌキ受けピンの曲げ応力度
τ_5	N/mm ²	カンヌキ受けピンのせん断応力度
$s f_{t5}$	N/mm ²	カンヌキ受けピンの短期許容引張応力度
T_6	kN	カンヌキ受けボルトの引張力
n_3	本	カンヌキ受けボルト本数
A_6	mm ²	カンヌキ受けボルトの軸断面積
σ_6	N/mm ²	カンヌキ受けボルトの引張応力度
W_2	kN	扉枠重量を考慮したスラスト荷重
F_3	kN	扉枠重量を考慮した扉幅方向の転倒力
T_{7A}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
T_{7B}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_{7A}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_{7B}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力
G_W	kN	扉枠重量
n_4	本	アンカーボルト本数

表 2-9 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプ II) (1/2)

記号	単位	定義
W_1	kN	スラスト荷重
W_2	kN	扉枠重量を考慮したスラスト荷重
F_1	kN	扉幅方向の転倒力
F_2	kN	扉厚方向の転倒力
F_3	kN	扉枠重量を考慮した扉幅方向の転倒力
G_D	kN	扉重量
G_W	kN	扉枠重量
k_H	—	水平震度
k_{UD}	—	鉛直震度
L_1	mm	扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離
L_2	mm	扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離
L_3	mm	ヒンジ芯間距離
M_1	kN・m	ヒンジ板の曲げモーメント
Q_1	kN	ヒンジ板のせん断力
L_4	mm	ヒンジ板の 2 軸間距離
Z_1	mm ³	ヒンジ板の断面係数
A_1	mm ²	ヒンジ板のせん断断面積
σ_1	N/mm ²	ヒンジ板の曲げ応力度
τ_1	N/mm ²	ヒンジ板のせん断応力度
s_{ft1}	N/mm ²	ヒンジ板の短期許容引張応力度
M_2	kN・m	ヒンジピンの曲げモーメント
Q_2	kN	ヒンジピンのせん断力
L_5	mm	ヒンジ板と受板間距離
Z_2	mm ³	ヒンジピンの断面係数
A_2	mm ²	ヒンジピンのせん断断面積
σ_2	N/mm ²	ヒンジピンの曲げ応力度
τ_2	N/mm ²	ヒンジピンのせん断応力度
s_{ft2}	N/mm ²	ヒンジピンの短期許容引張応力度
Q_3	kN	ヒンジボルトのせん断力
n_1	本	ヒンジボルトの本数
A_3	mm ²	ヒンジボルトのせん断断面積
τ_3	N/mm ²	ヒンジボルトのせん断応力度
R_1	kN	地震力に伴う荷重の反力
n_2	本	カンヌキの本数
Q_4	kN	カンヌキのせん断力

表 2-9 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプ II) (2/2)

記号	単位	定義
T_5	kN	カンヌキ受けボルトの引張力
n_3	本	カンヌキ受けボルト本数
A_5	mm ²	カンヌキ受けボルトの軸断面積
σ_5	N/mm ²	カンヌキ受けボルトの引張応力度
T_{6A}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
T_{6B}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_{6A}	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_{6B}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力
n_4	本	アンカーボルトの本数

表 2-10 水密扉の耐震評価に用いる記号（タイプⅢ）（1/2）

記号	単位	定義
W_1	kN	スラスト荷重
F_1	kN	扉幅方向の転倒力
F_2	kN	扉厚方向の転倒力
G_D	kN	扉重量
k_H	—	水平震度
k_{UD}	—	鉛直震度
L_1	mm	扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離
L_2	mm	扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離
L_3	mm	ヒンジ芯間距離
M_1	kN・m	ヒンジ板の曲げモーメント
Q_1	kN	ヒンジ板のせん断力
L_4	mm	ヒンジ板の2軸間距離
Z_1	mm ³	ヒンジ板の断面係数
A_1	mm ²	ヒンジ板のせん断断面積
σ_1	N/mm ²	ヒンジ板の曲げ応力度
τ_1	N/mm ²	ヒンジ板のせん断応力度
$s f_{t1}$	N/mm ²	ヒンジ板の短期許容引張応力度
M_2	kN・m	ヒンジピンの曲げモーメント
Q_2	kN	ヒンジピンのせん断力
L_5	mm	ヒンジ板と受板間距離
Z_2	mm ³	ヒンジピンの断面係数
A_2	mm ²	ヒンジピンのせん断断面積
σ_2	N/mm ²	ヒンジピンの曲げ応力度
τ_2	N/mm ²	ヒンジピンのせん断応力度
$s f_{t2}$	N/mm ²	ヒンジピンの短期許容引張応力度
Q_3	kN	ヒンジボルトのせん断力
n_1	本	ヒンジボルトの本数
A_3	mm ²	ヒンジボルトのせん断断面積
τ_3	N/mm ²	ヒンジボルトのせん断応力度

表 2-10 水密扉の耐震評価に用いる記号（タイプⅢ）（2/2）

記号	単位	定義
R_1	kN	地震力に伴う荷重の反力
n_2	本	カンヌキの本数
M_4	kN・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_6	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
M_5	kN・m	カンヌキ受けプレートの曲げモーメント
Q_5	kN	カンヌキ受けプレートのせん断力
σ_5	N/mm ²	カンヌキ受けプレートの曲げ応力度
τ_5	N/mm ²	カンヌキ受けプレートのせん断応力度
$s f_{t5}$	N/mm ²	カンヌキ受けピンの短期許容引張応力度
L_7	mm	カンヌキ受けプレートの長さ
Z_5	mm ³	カンヌキ受けプレートの断面係数
A_5	mm ²	カンヌキ受けプレートのせん断断面積

表 2-11 水密扉の耐震評価に用いる記号（タイプⅣ）（1/3）

記号	単位	定義
S_{s1}	kN	扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重
G_1	kN	水密扉材の自重
k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
w_{ss1}	kN/m	扉板に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重
w_{h1}	kN/m ²	扉板に作用する単位面積あたりの設計水平等分布荷重
p_2'	kN/m ²	扉板に作用する単位面積あたりの設計水平等分布地震荷重
B_3	m	荷重の載荷幅
w	kN/m ²	風圧力
B_2	m	水密扉幅
L_2	m	水密扉高さ
M_1	kN・m	扉板に生じる曲げモーメント
L_3	m	扉板の部材長
w_{ss2}	kN/m	芯材に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重
B_4	m	荷重の載荷幅
M_2	kN・m	芯材の曲げモーメント
L_4	m	芯材の部材長
Q_2	kN	芯材のせん断力
w_{h2}	kN/m	外部縦柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重
B_5	m	外部縦柱スパン
M_3	kN・m	外部縦柱の曲げモーメント
L_5	m	外部縦柱全長
Q_3	kN	外部縦柱のせん断力
S_{s2}	kN	水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重
S_{sv}	kN	水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重
G_2	kN	水密扉材と壁材の合計自重
k_{UD}	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
w_{h3}	kN/m	水密扉戸当り用支柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重
W_h	kN	水密扉戸当り用支柱に作用する水平方向の荷重
L_1	m	水密扉戸当り用支柱全長
W_1	kN	設計水平風荷重
M_4	kN・m	水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント
N_4	kN	水密扉戸当り用支柱の引張荷重
N_5	kN	水密扉戸当り用支柱の圧縮荷重
Q_4	kN	水密扉戸当り用支柱のせん断力
F_5	kN	締付ボルトに作用する荷重
M_5	kN・mm	固定プレートの曲げモーメント
F_6	kN	固定プレートに作用する荷重
n_6	枚	固定プレートの枚数
L_6	mm	固定プレート固定端から締付ボルトまでの距離
Q_5	kN	固定プレートのせん断力

表 2-11 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプIV) (2/3)

記号	単位	定義
T_{A1}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの引張力
Q_{A1}	kN	アンカーボルト 1 本あたりのせん断力
V_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱に発生する引張荷重
N_{A1}	本	アンカーボルト全本数
M_{A1}	kN・m	水密扉戸当り用支柱に発生する曲げモーメント
x_{iA1}	m	偏心距離
$\sum n \cdot x_{iA1}^2$	m ²	2 次モーメントの合計値
S_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱に発生するせん断力
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
Q_1	kN	扉板のせん断力
h_1	mm	単位幅あたり高さ
t_1	mm	扉板の厚さ
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
h_2	mm	荷重負担幅
t_2	mm	せん断抵抗部材の厚さ
σ_3	N/mm ²	外部縦柱の曲げ応力度
Z_3	mm ³	外部縦柱の断面係数
τ_3	N/mm ²	外部縦柱のせん断応力度
h_3	mm	外部縦柱のウェブ高
t_3	mm	外部縦柱のウェブ厚
f_t	N/mm ²	短期許容引張応力度
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
σ_5	N/mm ²	水密扉戸当り用支柱の引張応力度
A	mm ²	水密扉戸当り用支柱の断面積
σ_6	N/mm ²	水密扉戸当り用支柱の圧縮応力度
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_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 2-11 水密扉の耐震評価に用いる記号（タイプⅣ）（3/3）

記号	単位	定義
N_6	kN/本	締付ボルト 1 本あたりに作用する荷重
n_7	本	締付ボルト本数
σ_7	N/mm ²	固定プレートの曲げ応力度
Z_5	mm ³	固定プレートの断面係数
τ_5	N/mm ²	固定プレートのせん断応力度
h_5	mm	固定プレートの長さ
t_5	mm	固定プレートの厚さ
σ_8	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	ボルトの断面積
M_6	kN・m	外部縦柱固定部の曲げモーメント
L_7	m	固定端から内側のボルトまでの距離
L_8	m	固定端から外側のボルトまでの距離
τ_6	N/mm ²	外部縦柱固定ボルトのせん断応力度
Q_6	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_7	kN	外部縦柱固定部のせん断力
n_8	本	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 2-12 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプ V) (1/3)

記号	単位	定義
M_1	kN・m/m	パネル板の曲げモーメント
G_P	kN/m	パネル板の自重
k_H	—	水平震度
k_{UD}	—	鉛直震度
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	kN・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_B	kN/m	パネル芯材の自重
L_2	mm	パネル芯材の支持スパン
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}	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
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
$s f_{t4}$	N/mm ²	はりの短期許容引張応力度

表 2-12 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプ V) (2/3)

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

表 2-12 水密扉の耐震評価に用いる記号 (タイプV) (3/3)

記号	単位	定義
$M_{\max 1}'$	kN・m	扉開放時の柱に発生する最大曲げモーメント
w_h	kN/m	扉開放時の柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重
L_2	m	柱全長
L_3	m	柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置
P_1'	kN	扉開放時の柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重
W	kN	扉開放時の風荷重
k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
G_w	kN	防水壁自重
G_D	kN	扉開放時の水密扉自重
w	kN/m ²	風圧力
B	m	扉開放時の受圧幅
$V_{t\max 1}'$	kN	扉開放時の柱に発生する最大引張荷重
V_1'	kN	扉開放時の柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重
k_{UD}	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
$S_{\max 1}'$	kN	扉開放時の柱に発生する最大せん断力
W_h	kN	扉開放時の柱に作用する水平方向の荷重
F_1'	kN	扉開放時のアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
N	本	アンカーボルトの総本数
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
Q_1'	kN	扉開放時のアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力

3. 固有振動数及び設計用地震力

3.1 固有値解析

水密扉の構造に応じて解析モデルを設定し，1次固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

(1) 水密扉（タイプⅠ，Ⅱ，Ⅲ）

水密扉（タイプⅠ，Ⅱ，Ⅲ）は，ヒンジ部及びカンヌキ部により扉と扉枠を固定する構造であることから，扉閉止時については両端固定ばり又は四辺固定の長方形板に，扉開放時についてはヒンジ，自由端ばりに単純化したモデルとし，モデル化に用いる芯材又は扉板の長さは扉幅又は扉高さとする。解析モデル図を図3-1に示す。

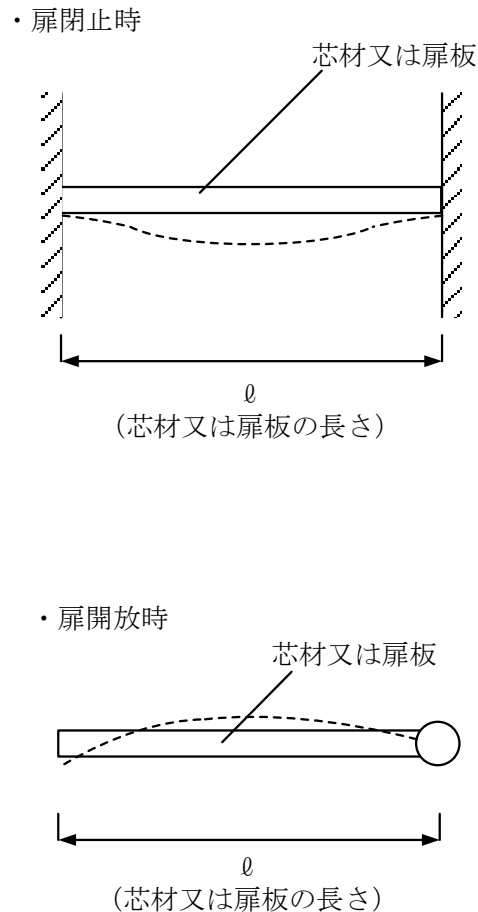


図3-1 水密扉（タイプⅠ，Ⅱ，Ⅲ）の固有値解析モデル

(2) 水密扉 (タイプⅣ)

水密扉 (タイプⅣ) は、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を固定する構造であることから、外部縦柱は固定、自由端ばりに、芯材は両端ヒンジばりに、扉板は四辺固定の長方形板に単純化したモデルとして解析する。解析モデル図を図 3-2 に示す。

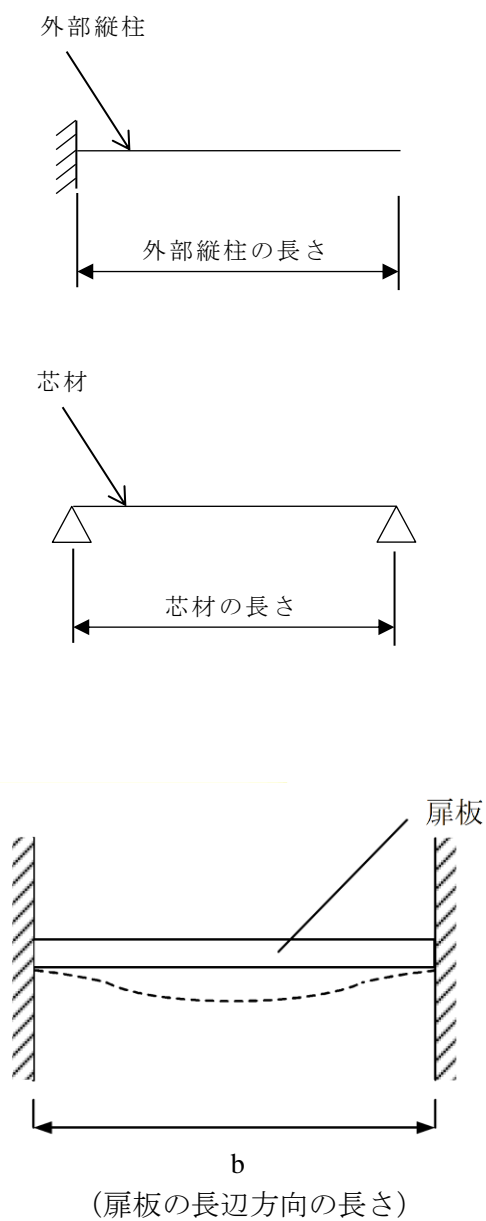


図 3-2 水密扉 (タイプⅣ) の固有値解析モデル

(3) パネル部 (タイプV)

パネル部は、各部位の寸法や形状を踏まえ、パネル芯材を両端ピンばりに、柱及びはりを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とする。パネル部の評価モデルを図3-3に示す。

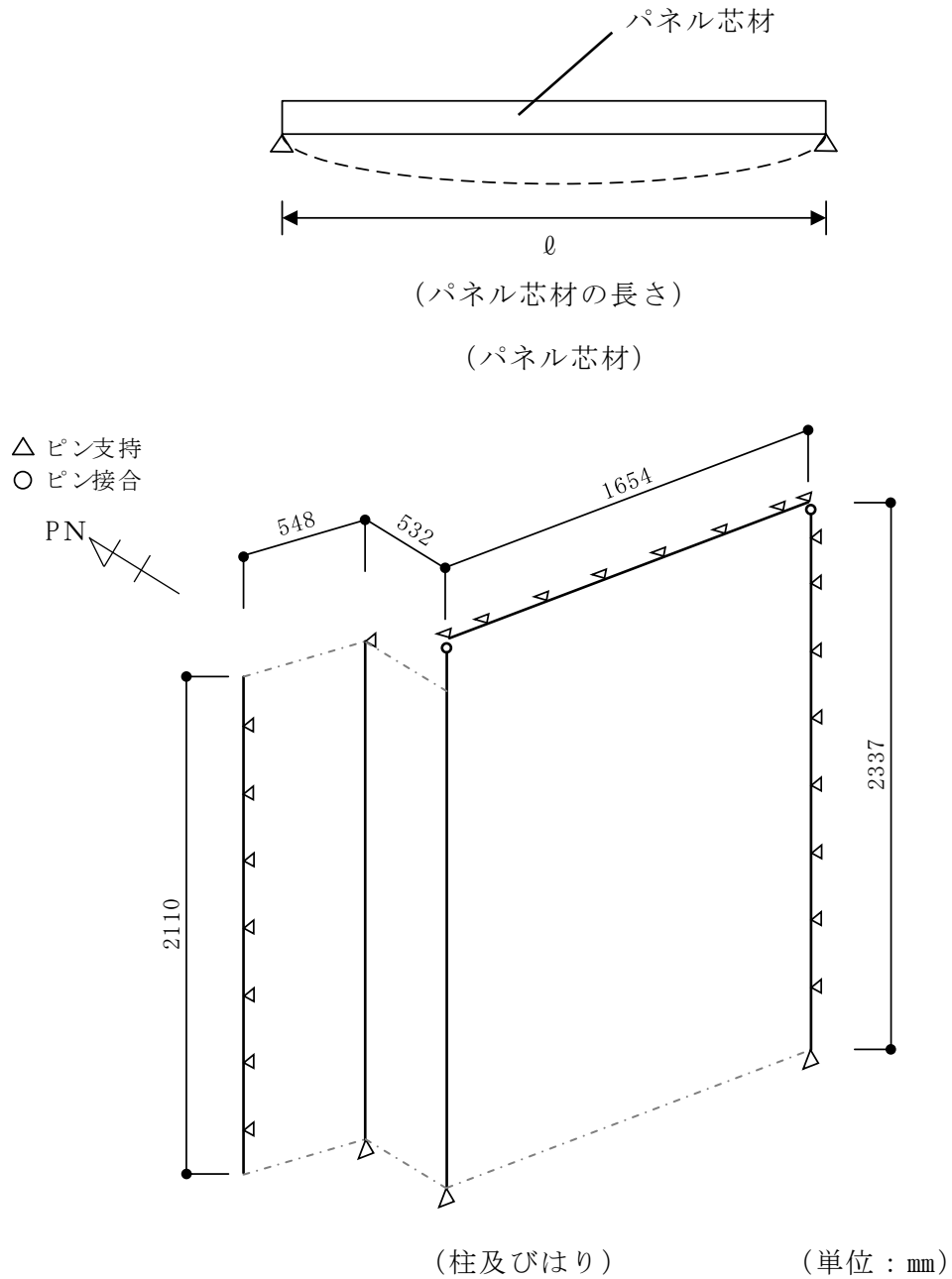


図3-3 パネル部の評価モデル

3.2 固有振動数の算出条件等

3.2.1 記号の説明

水密扉及びパネル部の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	水密扉の 1 次固有振動数
\varnothing	mm	モデル化に用いる芯材の長さ
E	N/m ²	ヤング係数
I	mm ⁴	断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布
λ	—	定数
a	m	モデル化に用いる扉板の長さ
h	m	モデル化に用いる扉板の厚さ
ν	—	ポアソン比
ρ	kg/m ³	材料の密度

3.2.2 固有振動数の算出方法

3.2.2.1 水密扉（タイプ I，II，III）

水密扉（タイプ I，II，III）は，1 次固有振動数 f を「構造力学公式集（（社）土木学会）」（以下「構造力学公式集」という。）に基づき以下の式より算出する。ここで，固有振動数は水平方向（扉体面外方向）について算出するものとし，鉛直方向（扉体面内方向）については，扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が，面外方向の剛性に比べて十分に大きいため，固有振動数の算出を省略する。

モデル化の対象は，扉板及び芯材の組合せによる断面を有する水密扉については芯材を，芯材がなく扉板そのものにより断面を構成する水密扉については扉板とする。なお，扉開放時は芯材の有無に関わらず同一の評価式を用いる。

(1) 扉閉止時

- a. 両端固定ばりモデル（芯材をモデル化）

$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

- b. 四辺固定の長方形板モデル（扉板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda\pi h}{4a^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

(2) 扉開放時（芯材又は扉板をモデル化）

扉開放時においては、面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり、これに伴う荷重の増幅は生じないが、本評価においては保守的に芯材又は扉板が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出する。

ヒンジ，自由端ばりモデル

$$f = \frac{3.9266^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

3.2.2.2 水密扉（タイプⅣ）

水密扉（タイプⅣ）は、1次固有振動数 f を「構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

- (1) 固定，自由端ばりモデル（外部縦柱をモデル化）

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

- (2) 両端ヒンジばりモデル（芯材をモデル化）

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

- (3) 四辺固定の長方形板モデル（扉板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda\pi h}{4a^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

3.2.2.3 パネル部（タイプV）

パネル芯材は，固有振動数 f を「構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

両端ピンばりモデル（パネル芯材をモデル化）

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

柱及びはりは，「3.1.1 解析モデルの設定」にて設定した解析モデルを用いて，固有値解析により算出する。

解析プログラムは，「KANSAS 2」とする。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。

3.2.3 固有振動数の算出条件

水密扉の固有振動数の算出条件のうち、芯材をモデル化した場合の算出条件を表 3-2 に、扉板をモデル化した場合の算出条件を表 3-3 及び表 3-4 に、外部縦柱をモデル化した場合の算出条件を表 3-5 に、芯材をモデル化した場合の算出条件を表 3-6 及び表 3-7 に、パネル部をモデル化した場合の算出条件を表 3-8 に、パネル芯材をモデル化した場合の算出条件を表 3-9 に示す。

表 3-2 芯材をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時及び扉開放時）（1/2）

水密扉 No.	扉名称	モデル化に用いる芯材の長さ l (mm)	ヤング係数 E (N/m ²)	断面二次モーメント (mm ⁴)	質量分布 (kg/m)
1	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室北側水密扉	2648	2.05×10^{11}	4720×10^4	140.8
2	原子炉建物地下 2 階 A-RHR ポンプ室北側水密扉	1060	2.05×10^{11}	1380×10^4	80.8
3	原子炉建物地下 2 階 トーラス室北東水密扉	1060	2.05×10^{11}	1380×10^4	80.8
4	原子炉建物地下 2 階 トーラス室南東水密扉	1060	2.05×10^{11}	1380×10^4	80.8
5	原子炉建物地下 2 階 トーラス室北西水密扉	1060	2.05×10^{11}	1380×10^4	80.8
6	原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室南側水密扉	2751	2.05×10^{11}	378×10^4	110.1
7	原子炉建物地下 2 階 H-DG 制御盤室北側水密扉	2085	2.05×10^{11}	1620×10^4	118.7
10	原子炉建物地下 2 階 C-RHR ポンプ室南側水密扉	1090	2.05×10^{11}	188×10^4	118.1
11	原子炉建物地下 2 階 トーラス室南西水密扉	1060	2.05×10^{11}	1380×10^4	80.8
12	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉（南側）	2116	2.05×10^{11}	378×10^4	147.3
14	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉	1050	2.05×10^{11}	188×10^4	126.8
15	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉（階段室）	1060	2.05×10^{11}	188×10^4	126.1

表 3-2 芯材をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時及び扉開放時）（2/2）

水密扉 No.	扉名称	モデル化に用いる芯材の長さ l (mm)	ヤング係数 E (N/m^2)	断面二次モーメント (mm^4)	質量分布 (kg/m)
16	原子炉建物地下 1 階東側エアロック前水密扉	1390	2.05×10^{11}	1950×10^4	154.1
17	原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉	1060	2.05×10^{11}	861×10^4	190.8
18	タービン建物地下 1 階 TCW 熱交換器室南側水密扉	860	2.05×10^{11}	188×10^4	128.6
20	タービン建物地下 1 階復水系配管室南側水密扉	870	2.05×10^{11}	861×10^4	229.2
23	タービン建物 1 階西側エアロック前水密扉	1100	2.05×10^{11}	188×10^4	131.8
24	タービン建物 2 階常用電気室南側水密扉	1100	2.05×10^{11}	188×10^4	126.1
26	タービン建物 2 階離相母線室南側水密扉	1095	2.05×10^{11}	861×10^4	177.7
27	廃棄物処理建物地下 1 階被服置場北側水密扉	2181	2.05×10^{11}	2490×10^4	147.8
28	廃棄物処理建物 1 階大物搬入口水密扉	3750	2.05×10^{11}	7310×10^4	190.6
29	廃棄物処理建物 1 階ドラム缶搬入口水密扉	3650	2.05×10^{11}	10700×10^4	191.5
30	廃棄物処理建物 2 階非常用再循環送風機室東側水密扉	2136	2.05×10^{11}	2490×10^4	169.0
31	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	980	2.05×10^{11}	188×10^4	108.3
32	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	980	2.05×10^{11}	188×10^4	108.3
33	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	1190	2.05×10^{11}	861×10^4	272.7
34	サイトバンカ建物 1 階南東側ポンプ室水密扉	830	2.05×10^{11}	861×10^4	222.3

表 3-3 扉板をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時）（1/2）

水密扉 No.	扉名称	扉板の厚さ h (m)	扉板の長さ a (m)	ヤング係数 E (N/m ²)	振動数係数 λ	密度 ρ (kg/m ³)
8	原子炉建物地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉	0.050	0.995	2.05 × 10 ¹¹	2.336	7.85 × 10 ³
9	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室南側水密扉	0.050	2.190	2.05 × 10 ¹¹	2.730	7.85 × 10 ³
13	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉	0.050	1.220	2.05 × 10 ¹¹	2.480	7.85 × 10 ³
19	タービン建物地下 1 階復水系配管室北側水密扉	0.050	1.120	2.05 × 10 ¹¹	2.480	7.85 × 10 ³
21	タービン建物地下 1 階封水回収ポンプ室北側水密扉	0.050	1.320	2.05 × 10 ¹¹	2.480	7.85 × 10 ³
22	タービン建物地下 1 階復水系配管室南東側水密扉	0.050	1.020	2.05 × 10 ¹¹	2.336	7.85 × 10 ³
25	タービン建物 2 階大物搬入口水密扉	0.050	1.875	2.05 × 10 ¹¹	2.730	7.85 × 10 ³
35	取水槽除じん機エリア水密扉（東）	0.009	0.538	2.05 × 10 ¹¹	2.700	7.85 × 10 ³
36	取水槽除じん機エリア水密扉（西）	0.009	0.563	2.05 × 10 ¹¹	3.500	7.85 × 10 ³
37	取水槽除じん機エリア水密扉（北）	0.012	2.248	2.05 × 10 ¹¹	4.700	7.85 × 10 ³
38	取水槽海水ポンプエリア水密扉（東）	0.016	1.145	2.05 × 10 ¹¹	2.480	7.85 × 10 ³
39	取水槽海水ポンプエリア水密扉（中）	0.016	0.980	2.05 × 10 ¹¹	2.480	7.85 × 10 ³
40	取水槽海水ポンプエリア水密扉（西）	0.016	0.980	2.05 × 10 ¹¹	2.480	7.85 × 10 ³

表 3-3 扉板をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時）（2/2）

水密扉 No.	扉名称	扉板の厚さ h (m)	扉板の長さ a (m)	ヤング係数 E (N/m ²)	振動数係数 λ	密度 ρ (kg/m ³)
41	復水貯蔵タンク水密扉	0.025	1.660	2.05×10^{11}	4.500	7.85×10^3
42	補助復水貯蔵タンク水密扉	0.025	0.860	2.05×10^{11}	2.480	7.85×10^3
43	トーラス水受入タンク水密扉	0.025	0.680	2.05×10^{11}	2.336	7.85×10^3
44	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	0.025	0.750	2.05×10^{11}	2.480	7.85×10^3

表 3-4 扉板をモデル化した場合の算出条件（扉開放時）

水密扉 No.	扉名称	モデル化に用いる芯材の長さ l (mm)	ヤング係数 E (N/m ²)	断面二次モーメント (mm ⁴)	質量分布 (kg/m)
8	原子炉建物地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉	2115	2.05×10^{11}	4680×10^4	390.0
9	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制 御盤室南側水密扉	2910	2.05×10^{11}	4680×10^4	627.0
13	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉	2160	2.05×10^{11}	4680×10^4	439.8
19	タービン建物地下 1 階 復水系配管室北側水密扉	1871	2.05×10^{11}	4680×10^4	427.6
21	タービン建物地下 1 階封水 回収ポンプ室北側水密扉	2136	2.05×10^{11}	4680×10^4	421.3
22	タービン建物地下 1 階復水 系配管室南東側水密扉	2121	2.05×10^{11}	4680×10^4	377.2
25	タービン建物 2 階大物搬入 口水密扉	2610	2.05×10^{11}	4680×10^4	565.1
37	取水槽除じん機エリア 水密扉（北）	2248	2.05×10^{11}	4180×10^4	322.5
38	取水槽海水ポンプエリア 水密扉（東）	1920	2.05×10^{11}	7310×10^4	235.6
39	取水槽海水ポンプエリア 水密扉（中）	1910	2.05×10^{11}	7310×10^4	222.5
40	取水槽海水ポンプエリア 水密扉（西）	1910	2.05×10^{11}	7310×10^4	222.5
41	復水貯蔵タンク水密扉	1660	2.05×10^{11}	1950×10^4	391.6
42	補助復水貯蔵タンク水密扉	1660	2.05×10^{11}	1950×10^4	225.8
43	トーラス水受入タンク水密 扉	1660	2.05×10^{11}	1950×10^4	210.7
44	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	1305	2.05×10^{11}	1950×10^4	268.0

表 3-5 外部縦柱をモデル化した場合の算出条件

水密扉 No.	扉名称	定数 λ	部材長 l (m)	ヤング係数 E (N/m ²)	断面二次モーメント I (m ⁴)	質量分布 m (kg/m)
35	取水槽除じん機エリア 水密扉 (東)	1.875	2.527	2.05×10^{11}	4.18×10^{-5}	34.6
36	取水槽除じん機エリア 水密扉 (西)	1.875	2.572	2.05×10^{11}	4.18×10^{-5}	34.6

表 3-6 芯材 (縦) をモデル化した場合の算出条件

水密扉 No.	扉名称	部材長 l (m)	ヤング係数 E (N/m ²)	断面二次モーメント I (m ⁴)	質量分布 m (kg/m)
35	取水槽除じん機エリア 水密扉 (東)	0.613	2.05×10^{11}	8.61×10^{-6}	18.6
36	取水槽除じん機エリア 水密扉 (西)	0.638	2.05×10^{11}	8.61×10^{-6}	18.6

表 3-7 芯材 (横) をモデル化した場合の算出条件

水密扉 No.	扉名称	部材長 l (m)	ヤング係数 E (N/m ²)	断面二次モーメント I (m ⁴)	質量分布 m (kg/m)
35	取水槽除じん機エリア 水密扉 (東)	0.933	2.05×10^{11}	8.61×10^{-6}	18.6
36	取水槽除じん機エリア 水密扉 (西)	0.773	2.05×10^{11}	8.61×10^{-6}	18.6

表 3-8 パネル部をモデル化した場合の算出条件(1/2)

水密扉 No.	扉名称	モデル化する部材 (柱・はり)	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)
13	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉	柱 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 はり BH-470×200×12×19	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴
14	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉	柱 H-200×200×8×12 [-200×90×8×13.5 はり H-200×200×8×12	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴
15	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉 (階段室)	柱 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 はり H-300×300×10×15	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴
17	原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉	柱 BH-300×470×12×16 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 はり H-300×300×10×15	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴
21	タービン建物地下 1 階 封水回収ポンプ室北側水密扉	柱 BH-300×200×16×22 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 はり H-300×300×10×15 [-300×90×9×13	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴

表 3-8 パネル部をモデル化した場合の算出条件 (2/2)

水密扉 No.	扉名称	モデル化する部材 (柱・はり)	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)
27	廃棄物処理建物地下 1 階被服置場北側水密扉	柱 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 はり BH-300×125×12×16	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴
33	制御室建物 2 階チエックポイント連絡水密扉	柱 H-300×300×10×15 [-300×90×9×13 はり H-300×300×10×15 [-300×90×9×13	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴

表 3-9 パネル芯材をモデル化した場合の算出条件

水密扉 No.	扉名称	モデル化に用いる芯材の長さ ℓ (mm)	ヤング係数 E (N/m ²)	断面二次モーメント (mm ⁴)	質量分布 (kg/m)
13	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉	330	2.05×10^{11}	6440×10^4	82.9
14	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉	968	2.05×10^{11}	2490×10^4	77.4
15	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉 (階段室)	1253	2.05×10^{11}	6440×10^4	89.7
17	原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉	1185	2.05×10^{11}	7210×10^4	92.9
21	タービン建物地下 1 階 封水回収ポンプ室北側水密扉	1253	2.05×10^{11}	6440×10^4	96.3
27	廃棄物処理建物地下 1 階 被服置場北側水密扉	428	2.05×10^{11}	6440×10^4	85.2
33	制御室建物 2 階 チェックポイント連絡水密扉	480	2.05×10^{11}	6440×10^4	112.5

3.3 固有振動数の算出結果

3.3.1 水密扉（タイプⅠ，Ⅱ，Ⅲ）

水密扉（タイプⅠ，Ⅱ，Ⅲ）の固有振動数の算出結果を表3-10に示す。固有振動数は、いずれの水密扉も20Hz以上であり、剛構造であることを確認した。

表3-10 水密扉の固有振動数の算出結果(1/2)

水密扉 No.	扉名称	固有振動数 f (Hz)	
		扉開放時	扉閉止時
1	原子炉建物地下2階 A-DG 制御盤室北側水密扉	91.74	133.12
2	原子炉建物地下2階 A-RHR ポンプ室北側水密扉	408.65	592.98
3	原子炉建物地下2階 トーラス室北東水密扉	408.65	592.98
4	原子炉建物地下2階 トーラス室南東水密扉	408.65	592.98
5	原子炉建物地下2階 トーラス室北西水密扉	408.65	592.98
6	原子炉建物地下2階 H-DG 制御盤室南側水密扉	27.20	39.47
7	原子炉建物地下2階 H-DG 制御盤室北側水密扉	94.42	137.01
8	原子炉建物地下2階 RCIC ポンプ室西側水密扉	86.04	286.58
9	原子炉建物地下2階 A-DG 制御盤室南側水密扉	35.85	69.13
10	原子炉建物地下2階 C-RHR ポンプ室南側水密扉	117.99	171.21
11	原子炉建物地下2階 トーラス室南西水密扉	408.65	592.98
12	原子炉建物地下1階 IA 圧縮機室水密扉（南側）	39.75	57.68
13	原子炉建物地下1階 CRD ポンプ室南側水密扉	77.68	202.37
14	原子炉建物地下1階 CRD ポンプ室東側水密扉	122.71	178.06
15	原子炉建物地下1階 IA 圧縮機室水密扉（階段室）	120.74	175.20
16	原子炉建物地下1階 東側エアロック前水密扉	204.56	296.83
17	原子炉建物1階 RCW 熱交換器室南側水密扉	210.05	304.80
18	タービン建物地下1階 TCW 熱交換器室南側水密扉	181.63	263.56
19	タービン建物地下1階 復水系配管室北側水密扉	105.00	240.12
20	タービン建物地下1階 復水系配管室南側水密扉	284.50	412.83
21	タービン建物地下1階 封水回収ポンプ室北側水密扉	81.16	172.87
22	タービン建物地下1階 復水系配管室南東側水密扉	86.99	272.71
23	タービン建物1階 西側エアロック前水密扉	109.67	159.13
24	タービン建物2階 常用電気室南側水密扉	112.12	162.69
25	タービン建物2階 大物搬入口水密扉	46.94	94.31

表 3-10 水密扉の固有振動数の算出結果(2/2)

水密扉 No.	扉名称	固有振動数 f (Hz)	
		扉開放時	扉閉止時
26	タービン建物 2 階離相母線室南側水密扉	203.97	295.97
27	廃棄物処理建物地下 1 階被服置場北側水密扉	95.87	139.11
28	廃棄物処理建物 1 階大物搬入口水密扉	48.93	71.00
29	廃棄物処理建物 1 階ドラム缶搬入口水密扉	62.34	90.46
30	廃棄物処理建物 2 階非常用再循環送風機室東側水密扉	93.47	135.64
31	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	152.42	221.17
32	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	152.42	221.17
33	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	139.41	202.30
34	サイトバンカ建物 1 階南東側ポンプ室水密扉	317.40	460.57
37	取水槽除じん機エリア水密扉 (北)	79.15	27.11
38	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (東)	167.90	73.52
39	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (中)	174.57	100.36
40	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (西)	174.57	100.36
41	復水貯蔵タンク水密扉	89.97	99.17
42	補助復水貯蔵タンク水密扉	118.49	203.63
43	トーラス水受入タンク水密扉	122.67	306.79
44	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	175.98	267.74

3.3.2 水密扉（タイプⅣ）

水密扉（タイプⅣ）の固有振動数の算出結果を表 3-11～表 3-14 に示す。固有振動数は、いずれも 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-11 外部縦柱の固有振動数の算出結果

水密扉 No.	扉名称	固有振動数 f (Hz)
35	取水槽除じん機エリア水密扉（東）	43.61
36	取水槽除じん機エリア水密扉（西）	42.10

表 3-12 芯材（縦）の固有振動数の算出結果

水密扉 No.	扉名称	固有振動数 f (Hz)
35	取水槽除じん機エリア水密扉（東）	1287.72
36	取水槽除じん機エリア水密扉（西）	1188.78

表 3-13 芯材（横）の固有振動数の算出結果

水密扉 No.	扉名称	固有振動数 f (Hz)
35	取水槽除じん機エリア水密扉（東）	555.88
36	取水槽除じん機エリア水密扉（西）	809.81

表 3-14 扉板の固有振動数の算出結果

水密扉 No.	扉名称	固有振動数 f (Hz)
35	取水槽除じん機エリア水密扉（東）	203.94
36	取水槽除じん機エリア水密扉（西）	241.40

3.3.3 パネル部（タイプV）

パネル部の固有振動数の算出結果を表 3-15 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-15 パネル部の固有振動数の算出結果

水密扉 No.	扉名称	固有振動数 f (Hz)	
		柱, はり	パネル芯材
13	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉	36.66	5757
14	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉	26.46	430.5
15	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉（階段室）	61.92	383.8
17	原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉	25.88	446.2
21	タービン建物地下 1 階封水回収ポンプ室北側水密扉	33.28	370.5
27	廃棄物処理建物地下 1 階被服置場北側水密扉	48.38	3375
33	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	45.41	2335

3.4 設計用地震力

Sクラス，C-1クラス及びC-2クラスの水密扉の基準地震動 S_s による設計用地震力は，VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」，VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」，VI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」，VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」，VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」，VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」，VI-2-2-24「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）の地震応答計算書」及びVI-2-11-2-12「復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書」に基づき設定する。

耐震設計上の重要度分類Bクラスの施設の水密扉に要求される地震荷重は，VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づく静的地震力 S_B であるが，タービン建物，廃棄物処理建物及び復水貯蔵タンクエリアに設置するBクラスの水密扉は保守的な評価となるよう基準地震動 S_s による設計地震力を考慮する。なお，サイトバンカ建物に設置されるBクラスの水密扉については，静的地震力 S_B を考慮し，補助復水貯蔵タンク水密扉及びトラス水受入タンク水密扉は，当該タンク遮蔽壁の溢水評価に係る地震応答解析結果を考慮して設定する。

Sクラス，C-1クラス及びC-2クラスの各水密扉の設置床の最大応答加速度から算出した設計震度及びBクラス施設の各水密扉の設計震度を表3-16に示す。

ここで，水密扉は建物・構築物として評価し，最大応答加速度（1.0ZPA）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床と上階のうち，最大応答加速度が大きい値とする。

表 3-16 水密扉の設計震度(1/2)

建物	階	床高さ EL (m)	水平震度* ¹ (-)	鉛直震度 (-)
原子炉建物	地上 2 階	23.8	1.02	1.28
	地上 1 階	15.3	0.92	0.97
	地下 1 階	10.1	0.98	0.70
		8.8	0.88	0.64
	地下 2 階	2.8	0.88	0.64
2.6		0.88	0.64	
タービン建物	地上 3 階	1.3	0.81	0.58
		20.6	2.23	0.90
	地上 2 階	12.5	1.61	0.72
		8.8	1.16	0.72
	地上 1 階	5.5	1.28	0.60
2.65		1.28	0.60	
廃棄物処理建物	地下 1 階	2.0	0.98	0.56
		0.25	0.98	0.56
	地上 3 階	26.7	1.21	0.96
		25.3	1.21	0.96
地上 2 階	22.1	1.10	0.92	
	地上 1 階	15.3	1.10	0.77
	地下 1 階	8.8	1.02	0.64
制御室建物	地上 3 階	12.8	1.43	0.78
	地上 2 階	8.8	1.01	0.66
ディーゼル燃料移送 ポンプエリア	屋外	8.7	1.22	0.78
サイトバンカ建物	地上 2 階	14.1	0.278* ²	—
	地上 1 階	8.8	0.240* ²	—

注記*1：NS方向及びEW方向の最大値を用いる。

*2：昭和56年11月25日資庁第11398号にて認可された工事計画の添付書類
「IV-1-(2)-h サイトバンカ建物の耐震性についての計算書」による。

表 3-16 水密扉の設計震度(2/2)

構造物	エリア	床高さ EL (m)	水平震度 (-)	鉛直震度 (-)
取水槽	除じん機エリア (水密扉 (東) 及び (西))	8.8	1.8	0.8
	除じん機エリア (水密扉 (北))	8.8	1.2	0.6
	海水ポンプエリア (水密扉 (東), (中) 及び (西))	1.1	0.9	0.8
復水貯蔵タンク	復水貯蔵タンクエリア (復水貯蔵タンク 水密扉)	16.1	1.3	0.9
補助復水貯蔵 タンク	復水貯蔵タンクエリア (補助復水貯蔵タンク 水密扉)	16.1	2.0	1.5
トーラス水受入 タンク	復水貯蔵タンクエリア (トーラス水受入タンク 水密扉)	16.1	2.0	1.5
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)	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 (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	2.0	1.0

4. 耐震評価方法

4.1 タイプ I

4.1.1 評価対象部位

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。地震荷重により水密扉に生じる慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）から扉枠に伝わり、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、評価対象部位をヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトとする。

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「No. 24」の耐震評価結果を示す。

水密扉に作用する荷重の作用図を図 4.1-1 に、タイプ I 水密扉リストを表 4.1-1 に示す。

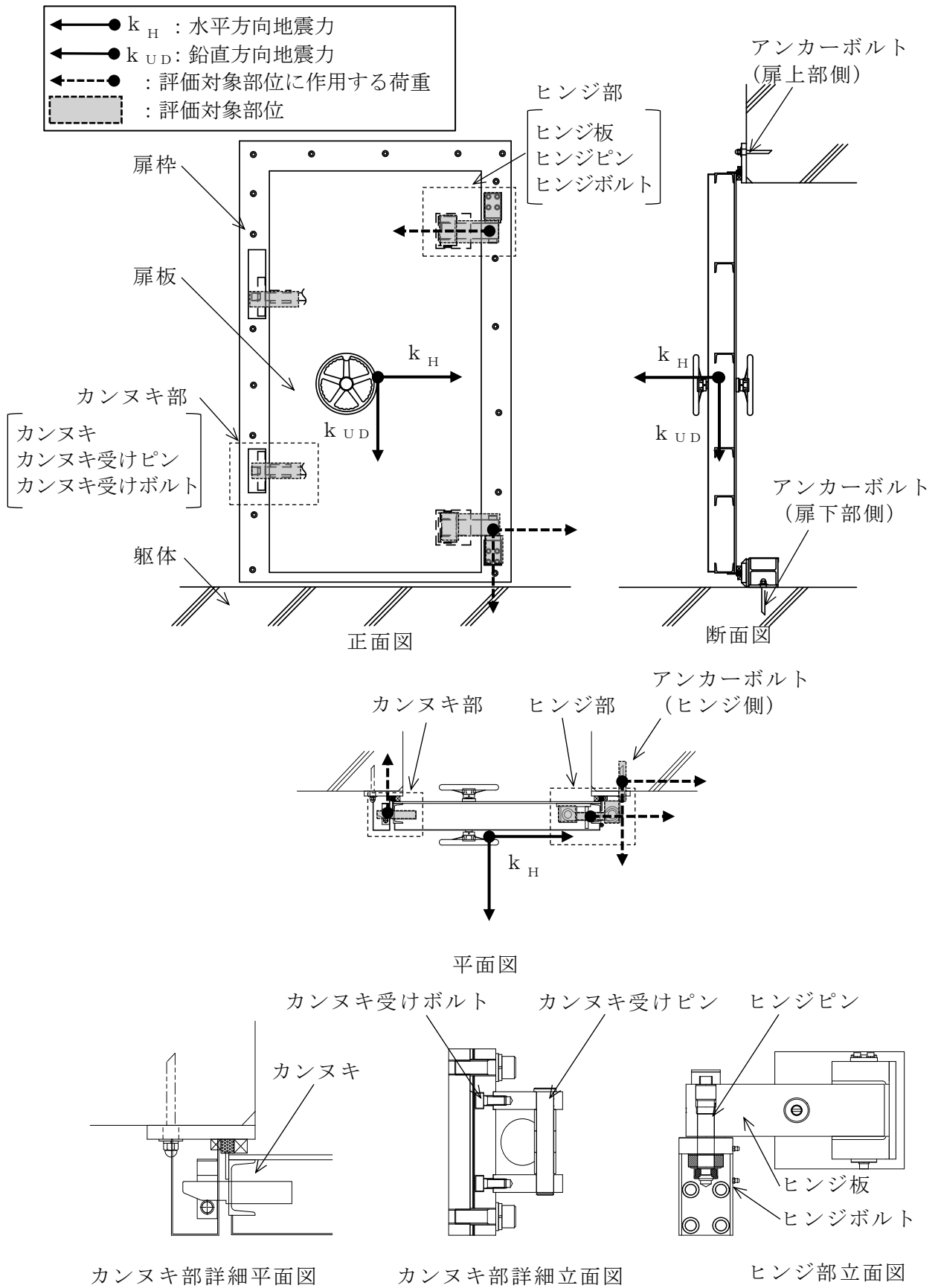


図 4.1-1 水密扉に作用する荷重の作用図

表 4.1-1 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	タービン建物地下 1 階 TCW 熱交換器室南側水密扉	
19	タービン建物地下 1 階 復水系配管室北側水密扉	
20	タービン建物地下 1 階 復水系配管室南側水密扉	
21	タービン建物地下 1 階封水回収ポンプ室北側水密扉	
22	タービン建物地下 1 階復水系配管室南東側水密扉	
23	タービン建物 1 階西側エアロック前水密扉	
24	タービン建物 2 階常用電気室南側水密扉	○
25	タービン建物 2 階大物搬入口水密扉	
26	タービン建物 2 階離相母線室南側水密扉	
33	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	
34	サイトバンカ建物 1 階南東側ポンプ室水密扉	

4.1.2 荷重及び荷重の組合せ

4.1.2.1 荷重の組合せ

水密扉の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

水密扉は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

4.1.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉の自重を考慮する。自重は「4.1.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

Sクラス及びC-2クラスの施設の地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。Bクラスの地震荷重は地震力 S_B による荷重を考慮する。なお、タービン建物に設置されるBクラスの水密扉は保守的に基準地震動 S_s による荷重を考慮する。地震荷重は「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.1.3 許容限界

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

4.1.3.1 使用材料

タイプ I を構成するヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトの使用材料を表 4.1-2 に示す。

表 4.1-2 ヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトの使用材料

評価対象部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジ板	SS400	PL-40×80
	ヒンジピン	S45C	25 φ
	ヒンジボルト	SCM435	M16
カンヌキ部	カンヌキ	SUS304	40 φ
	カンヌキ受け ピン	S45C	20 φ
	カンヌキ受け ボルト	SCM435	M10
アンカーボルト		SS400	M16

4.1.3.2 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。）に基づき算定した短期許容応力度を表4.1-3の値とする。

表 4.1-3 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	235	235	135
SUS304	205	205	118
S45C	345	345	199
SCM435	651	651	375

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は、「4.1.1 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4.1-4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 4.1-4 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
24	タービン建物 2 階常用電気室南側水密扉	23	25

4.1.4 評価方法

4.1.4.1 応力算定

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ヒンジ部に生じる荷重の例を図 4.1-2 に示す。

$$W_1 = G_D + k_{UD} \cdot G_D$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_1 / L_3 + k_H \cdot G_D / 2$$

$$F_2 = W_1 \cdot L_2 / L_3$$

ここで、

W_1 : スラスト荷重 (kN)

G_D : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向の転倒力 (kN)

L_1 : 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_2 : 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_3 : ヒンジ芯間距離 (mm)

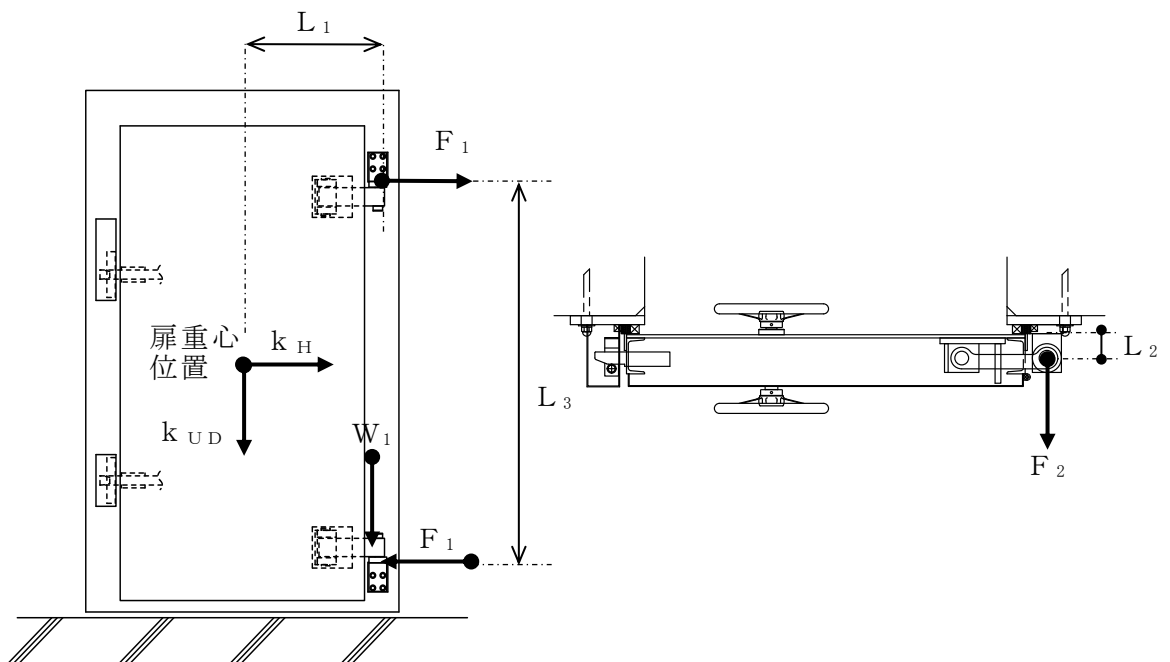


図 4.1-2 ヒンジ部に生じる荷重の例

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重の例を図 4.1-3 に示す。

$$M_1 = W_1 \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_1 = W_1$$

ここで、

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Q_1 : ヒンジ板のせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

L_4 : ヒンジ板の 2 軸間距離 (mm)

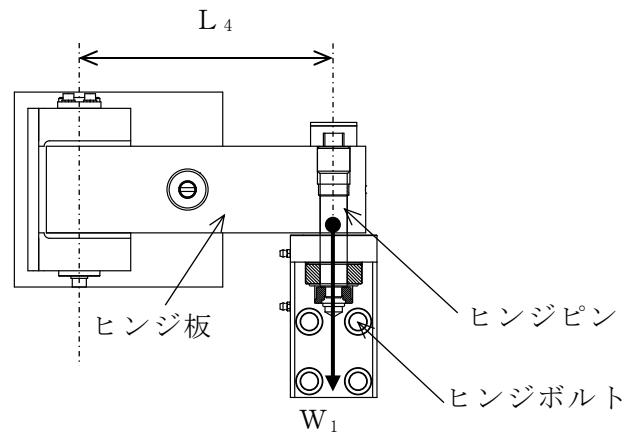


図 4.1-3 ヒンジ板に生じる荷重の例

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図 4.1-4 に示す。

$$M_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

ここで、

M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)

Q_2 : ヒンジピンのせん断力 (kN)

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向の転倒力 (kN)

L_5 : ヒンジ板と受板間距離 (mm)

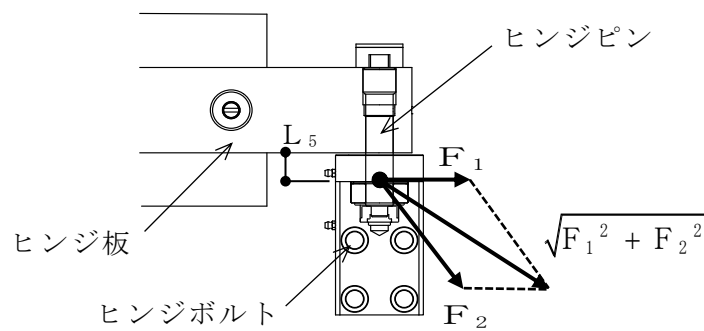


図 4.1-4 ヒンジピンに生じる荷重の例

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジボルトに生じる荷重の例を図 4.1-5 に示す。

$$Q_3 = \frac{\sqrt{W_1^2 + F_1^2}}{n_1}$$

ここで、

Q_3 : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

n_1 : ヒンジボルトの本数 (本)

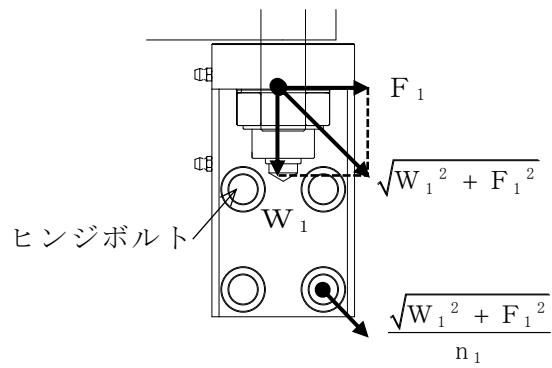


図 4.1-5 ヒンジボルトに生じる荷重の例

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトで構成されており、生じる応力は次式により算定する。カンヌキ部に作用する荷重の例を図 4.1-6 に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G_D / n_2$$

ここで、

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

k_H : 水平震度

G_D : 扉重量 (kN)

n_2 : カンヌキの本数 (本)

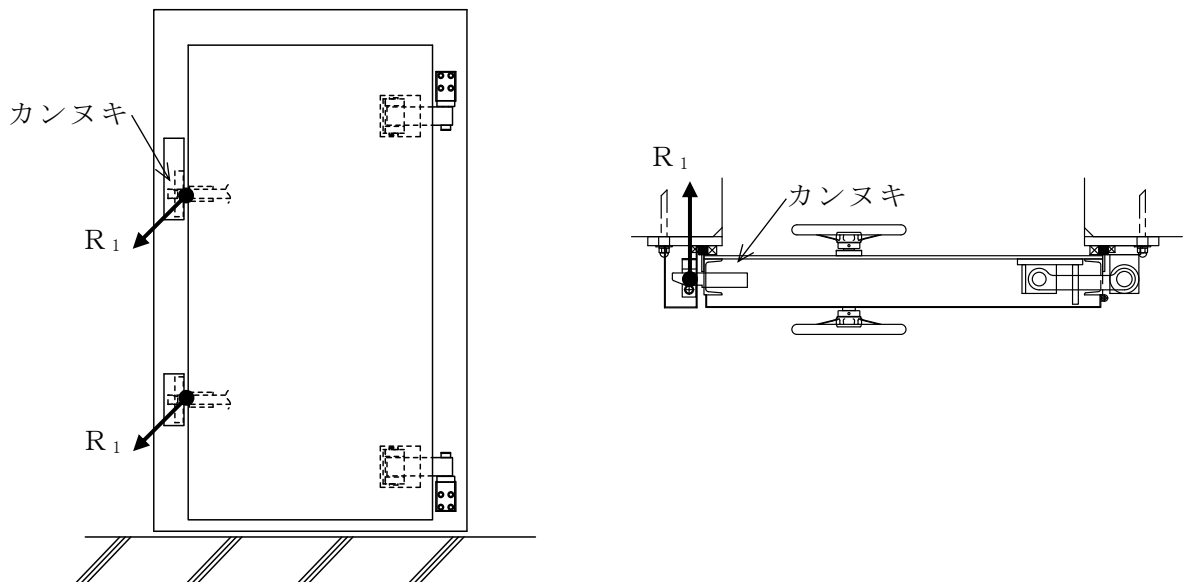


図 4.1-6 カンヌキ部に作用する荷重の例

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、カンヌキの一端を固定端としてモデル化した片持ちばりとして評価し、カンヌキの取付部位に応じて作用する応力を考慮する。カンヌキに生じる荷重の例を図 4.1-7 に示す。

$$M_4 = R_1 \cdot L_6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_4 = R_1$$

ここで、

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_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

L_6 : カンヌキの突出長さ (mm)

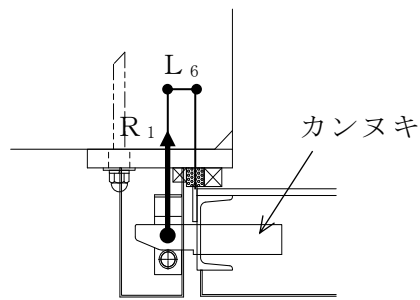


図 4.1-7 カンヌキに生じる荷重の例

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、カンヌキ受けピン端部をピン支持とした単純ばりとして評価し、カンヌキ受けピンの中央に作用する応力を考慮する。カンヌキ受けピンに生じる荷重の例を図 4.1-8 に示す。

$$M_5 = R_1 \cdot L_7 \cdot 10^{-3} / 4$$

$$Q_5 = R_1 / 2$$

ここで、

M_5 : カンヌキ受けピンの曲げモーメント (kN・m)

Q_5 : カンヌキ受けピンのせん断力 (kN)

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

L_7 : カンヌキ受けピン長さ (mm)

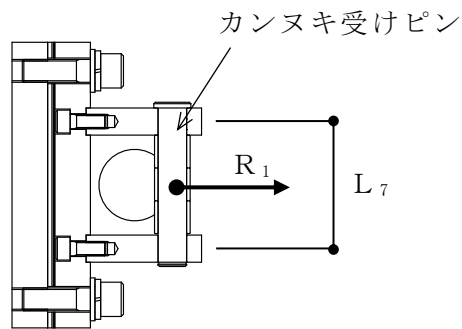


図 4.1-8 カンヌキ受けピンに生じる荷重の例

c. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例を図 4.1-9 に示す。

$$T_6 = R_1 / n_3$$

ここで、

T_6 : カンヌキ受けボルトの引張力 (kN)

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

n_3 : カンヌキ受けボルト本数 (本)

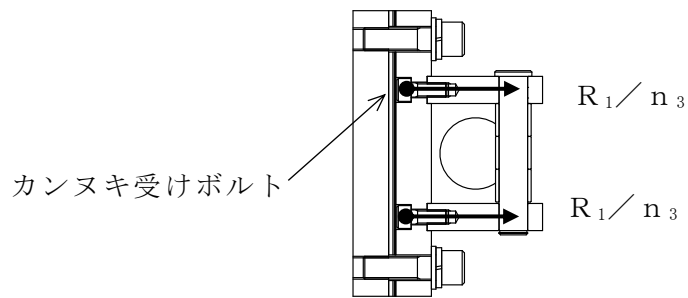


図 4.1-9 カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は次式により算定する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 4.1-10 に示す。

$$W_2 = (1 + k_{UD}) \cdot (G_D + G_W)$$

$$F_3 = k_H \cdot (G_D + G_W)$$

$$T_{7A} = Q_{7A} = \frac{\sqrt{W_2^2 + F_3^2}}{n_4}$$

ここで、

W_2 : 扉枠重量を考慮したスラスト荷重 (kN)

F_3 : 扉枠重量を考慮した扉幅方向の転倒力 (kN)

T_{7A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

Q_{7A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

k_{UD} : 鉛直震度

k_H : 水平震度

G_D : 扉重量 (kN)

G_W : 扉枠重量 (kN)

n_4 : アンカーボルト本数 (本)

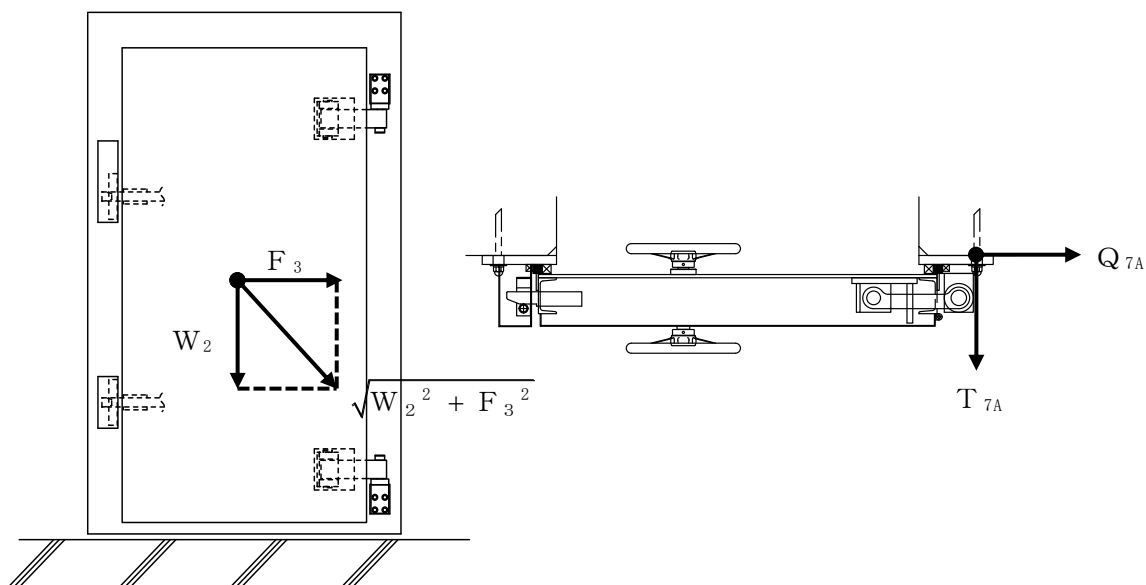


図 4.1-10 アンカーボルトに作用する荷重の例

4.1.4.2 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) ヒンジ部

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) ヒンジ板に生じる曲げ応力度

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

ここで、

σ_1 : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

(b) ヒンジ板に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = (Q_1 \cdot 10^3) / A_1$$

ここで、

τ_1 : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm²)

Q_1 : ヒンジ板のせん断力 (kN)

A_1 : ヒンジ板のせん断断面積 (mm²)

(c) ヒンジ板に生じる組合せ応力度

ヒンジ板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、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \leq_s f_{t1}$$

ここで、

$_s f_{t1}$: ヒンジ板の短期許容引張応力度 (N/mm²)

σ_1 : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_1 : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) ヒンジピンに生じる曲げ応力度

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

ここで、

- σ_2 : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)
 Z_2 : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

(b) ヒンジピンに生じるせん断応力度

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

ここで、

- τ_2 : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm²)
 Q_2 : ヒンジピンのせん断力 (kN)
 A_2 : ヒンジピンのせん断断面積 (mm²)

(c) ヒンジピンに生じる組合せ応力度

ヒンジピン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、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

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

ここで、

- $_s f_{t2}$: ヒンジピンの短期許容引張応力度 (N/mm²)
 σ_2 : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_2 : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し、ヒンジボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau_3 = (Q_3 \cdot 10^3) / A_3$$

ここで、

τ_3 : ヒンジボルトのせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

A_3 : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(2) カンヌキ部

a. 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

$$\sigma_4 = (M_4 \cdot 10^6) / Z_4$$

ここで、

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

$$\tau_4 = (Q_4 \cdot 10^3) / A_4$$

ここで、

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。

$$\sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq_s f_{t4}$$

ここで、

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)

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、カンヌキ受けピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度

$$\sigma_5 = (M_5 \cdot 10^6) / Z_5$$

ここで、

- σ_5 : カンヌキ受けピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 M_5 : カンヌキ受けピンの曲げモーメント (kN・m)
 Z_5 : カンヌキ受けピンの断面係数 (mm³)

(b) カンヌキ受けピンに生じるせん断応力度

$$\tau_5 = (Q_5 \cdot 10^3) / A_5$$

ここで、

- τ_5 : カンヌキ受けピンのせん断応力度 (N/mm²)
 Q_5 : カンヌキ受けピンのせん断力 (kN)
 A_5 : カンヌキ受けピンのせん断断面積 (mm²)

(c) カンヌキ受けピンに生じる組合せ応力度

カンヌキ受けピン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、カンヌキ受けピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_5^2 + 3 \cdot \tau_5^2} \leq_s f_{t5}$$

ここで、

- $_s f_{t5}$: カンヌキ受けピンの短期許容引張応力度 (N/mm²)
 σ_5 : カンヌキ受けピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_5 : カンヌキ受けピンのせん断応力度 (N/mm²)

c. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、カンヌキ受けボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_6 = (T_6 \cdot 10^3) / A_6$$

ここで、

σ_6 : カンヌキ受けボルトの引張応力度 (N/mm²)

T_6 : カンヌキ受けボルトの引張力 (kN)

A_6 : カンヌキ受けボルトの軸断面積 (mm²)

(3) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力及びせん断力を「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。

$$(Q_{7A}/Q_{7B})^2 + (T_{7A}/T_{7B})^2 \leq 1.0$$

$$Q_{7A}/Q_{7B} \leq 1.0$$

ここで、

Q_{7A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_{7B} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

$$T_{7A}/T_{7B} \leq 1.0$$

ここで、

T_{7A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_{7B} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

4.1.5 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 4.1-5 に示す。

表 4.1-5 耐震評価に用いる条件（水密扉 No. 24）

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				24	
共通	W_1	kN	スラスト荷重	11.18	
	G_D	kN	扉重量	5.884	
	k_H	—	水平震度	2.23	
	k_{UD}	—	鉛直震度	0.90	
	L_1	mm	扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離	610	
	L_2	mm	扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離	65	
	L_3	mm	ヒンジ芯間距離	1667	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_4	mm	ヒンジ板の2軸間距離	235
		Z_1	mm ³	ヒンジ板の断面係数	42670
		A_1	mm ²	ヒンジ板のせん断断面積	3200
	ヒンジピン	L_5	mm	ヒンジ板と受板間距離	38
		Z_2	mm ³	ヒンジピンの断面係数	1534
		A_2	mm ²	ヒンジピンのせん断断面積	490.9
ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4	
	A_3	mm ²	ヒンジボルトのせん断断面積	157	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	2
	カンヌキ	L_6	mm	カンヌキの突出長さ	41
		Z_4	mm ³	カンヌキの断面係数	6283
		A_4	mm ²	カンヌキのせん断断面積	1257
	カンヌキ受けピン	L_7	mm	カンヌキ受けピン長さ	70
		Z_5	mm ³	カンヌキ受けピンの断面係数	785.4
		A_5	mm ²	カンヌキ受けピンのせん断断面積	314.2
カンヌキ受けボルト	n_3	本	カンヌキ受けボルト本数	2	
	A_6	mm ²	カンヌキ受けボルトの軸断面積	58	
アンカーボルト	G_w	kN	扉枠重量	1.317	
	n_4	本	アンカーボルトの本数	7	

4.2 タイプⅡ

4.2.1 評価対象部位

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。基準地震動 S_s による地震荷重により水密扉に生じる慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けボルト）から扉枠に伝わり、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、評価対象部位をヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトとする。

また、代表としてタイプⅡの中で評価結果が厳しい評価対象部位を有する「No.28」の耐震評価結果及び原子炉建物のすべての水密扉（タイプⅠ，Ⅱ）の中で評価結果が厳しい評価対象部位を有する「No.12」の耐震評価結果を示すものとする。

水密扉に作用する荷重の作用図を図4.2-1に、タイプⅡ水密扉リストを表4.2-1に示す。

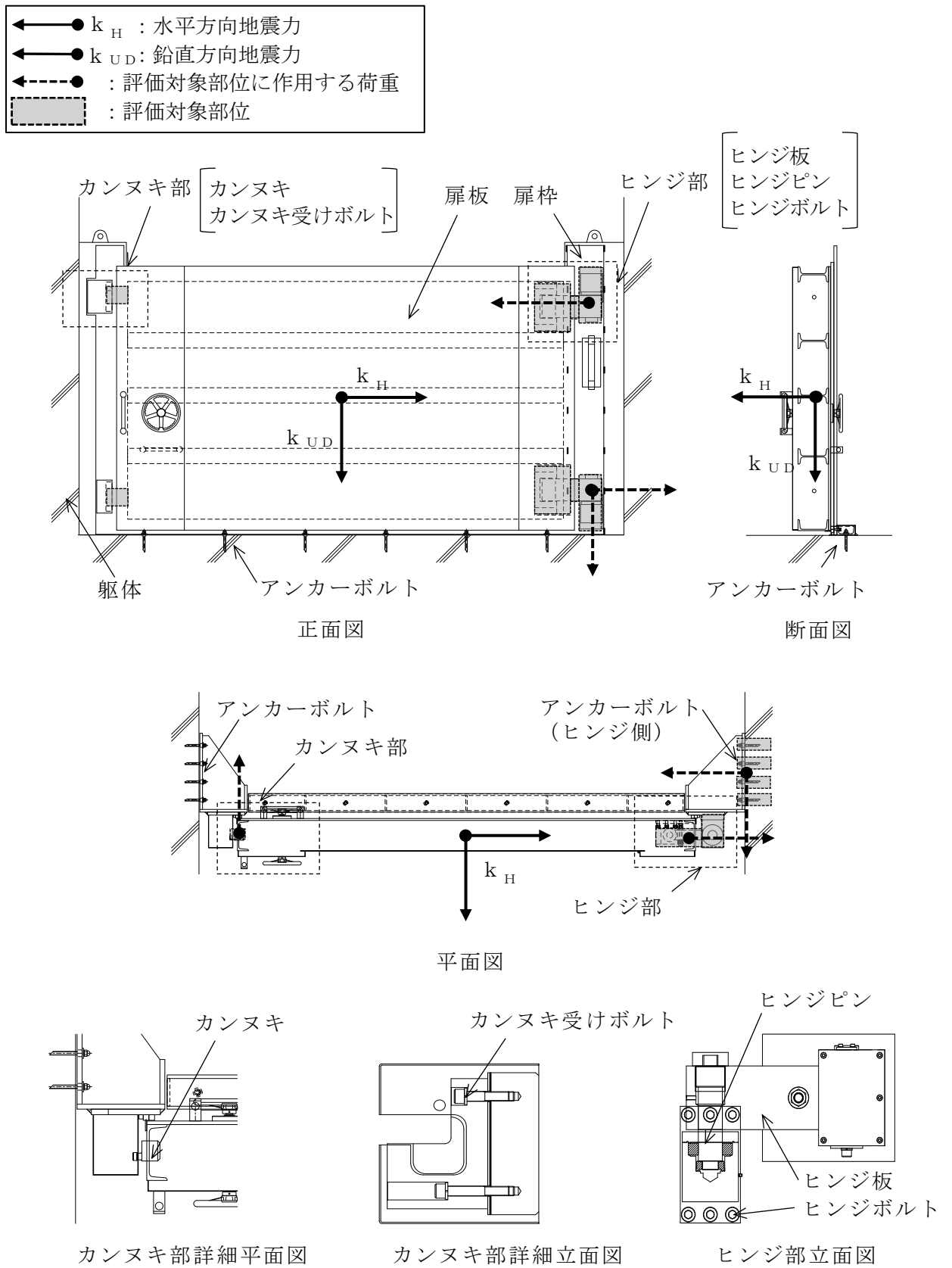


図 4.2-1 水密扉に作用する荷重の作用図

表 4.2-1 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	
27	廃棄物処理建物地下1階 被服置場北側水密扉	
28	廃棄物処理建物1階 大物搬入口水密扉	○
29	廃棄物処理建物1階 ドラム缶搬入口水密扉	
30	廃棄物処理建物2階 非常用再循環送風機室東側水密扉	
37	取水槽除じん機エリア水密扉 (北)	
38	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (東)	
39	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (中)	
40	取水槽海水ポンプエリア水密扉 (西)	
41	復水貯蔵タンク水密扉	
42	補助復水貯蔵タンク水密扉	
43	トーラス水受入タンク水密扉	
44	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	

4.2.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.2.1 荷重の組合せ

水密扉の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

水密扉は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

4.2.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉の自重を考慮する。自重は「4.2.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

Sクラス及びC-2クラスの地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。なお、廃棄物処理建物に設置されるBクラスの水密扉は保守的に基準地震動 S_s による荷重を考慮する。地震荷重は「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.2.3 許容限界

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

4.2.3.1 使用材料

タイプⅡを構成するヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトの使用材料を表4.2-2に示す。

表 4.2-2 ヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトの使用材料

評価対象部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジ板	SS400	PL-70×150
	ヒンジピン	S45C	60φ
	ヒンジボルト	SCM435	M22
カンヌキ部	カンヌキ	—	転がり軸受 (スタッド径 16 mm)
	カンヌキ受けボルト	SS400	M16
アンカーボルト		SS400	M16

4.2.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 4.2-3 の値とする。

表 4.2-3 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
SS400 (40 < t ≤ 100) *	215	215	124
S45C	345	345	199
SCM435	651	651	375

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、「4.2.1 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 4.2-4 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 4.2-4 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
12	原子炉建物地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉 (南側)	30	8
28	廃棄物処理建物 1 階大物搬入口水密扉	20	22

(3) カンヌキ

カンヌキの許容荷重は、表 4.2-5 の値とする。

表 4.2-5 カンヌキの許容荷重

材質	許容荷重
	定格荷重 (kN)
転がり軸受 (スタッド径 16 mm)	20

4.2.4 評価方法

4.2.4.1 応力算定

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ヒンジ部に生じる荷重の例を図 4.2-2 に示す。

$$W_1 = G_D + k_{UD} \cdot G_D$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_1 / L_3 + k_H \cdot G_D / 2$$

$$F_2 = W_1 \cdot L_2 / L_3$$

ここで、

W_1 : スラスト荷重 (kN)

G_D : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向の転倒力 (kN)

L_1 : 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_2 : 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_3 : ヒンジ芯間距離 (mm)

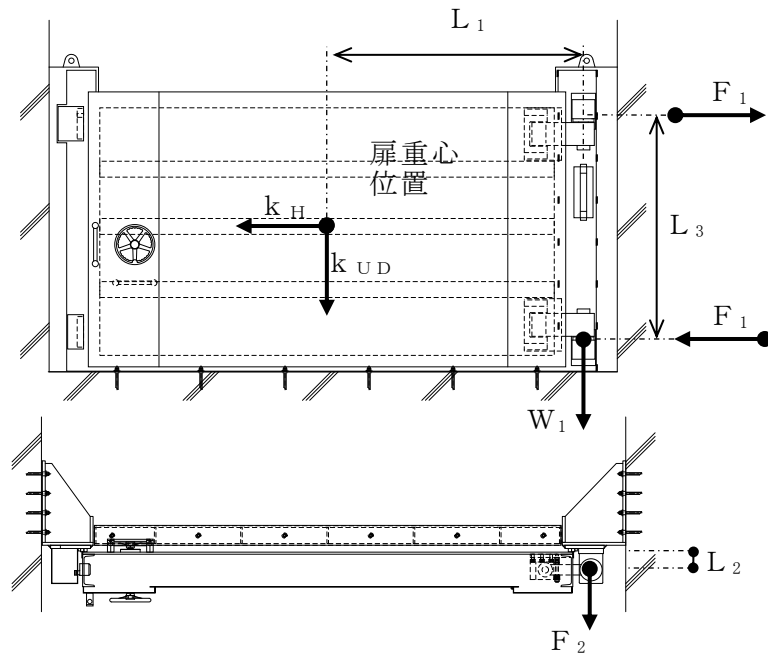


図 4.2-2 ヒンジ部に生じる荷重の例

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重の例を図 4.2-3 に示す。

$$M_1 = W_1 \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_1 = W_1$$

ここで、

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Q_1 : ヒンジ板のせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

L_4 : ヒンジ板の 2 軸間距離 (mm)

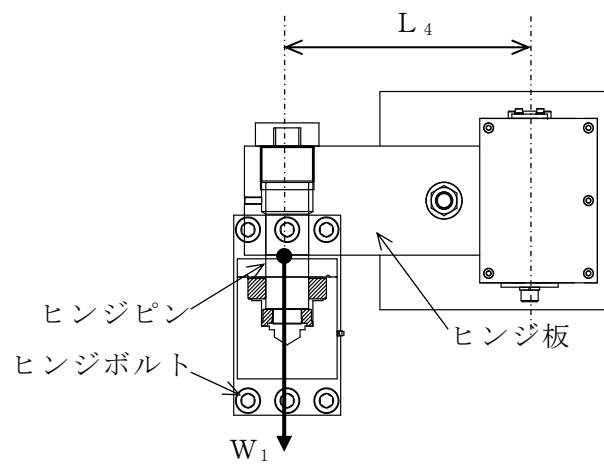


図 4.2-3 ヒンジ板に生じる荷重の例

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図 4.2-4 に示す。

$$M_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

ここで、

M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)

Q_2 : ヒンジピンのせん断力 (kN)

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向の転倒力 (kN)

L_5 : ヒンジ板と受板間距離 (mm)

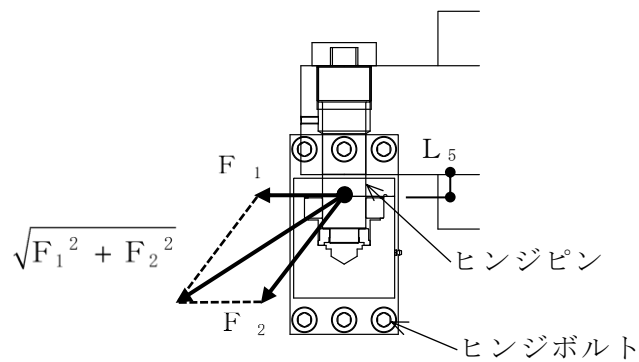


図 4.2-4 ヒンジピンに生じる荷重の例

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジボルトに生じる荷重の例を図 4.2-5 に示す。

$$Q_3 = \frac{\sqrt{W_1^2 + F_1^2}}{n_1}$$

ここで、

Q_3 : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

n_1 : ヒンジボルトの本数 (本)

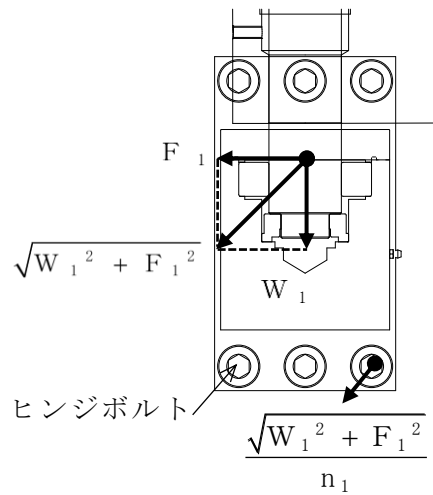


図 4.2-5 ヒンジボルトに生じる荷重の例

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ及びカンヌキ受けボルトで構成されており、生じる応力は次式により算定する。カンヌキ部に作用する荷重の例を図 4.2-6 に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G_D / n_2$$

ここで、

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

k_H : 水平震度

G_D : 扉重量 (kN)

n_2 : カンヌキの本数

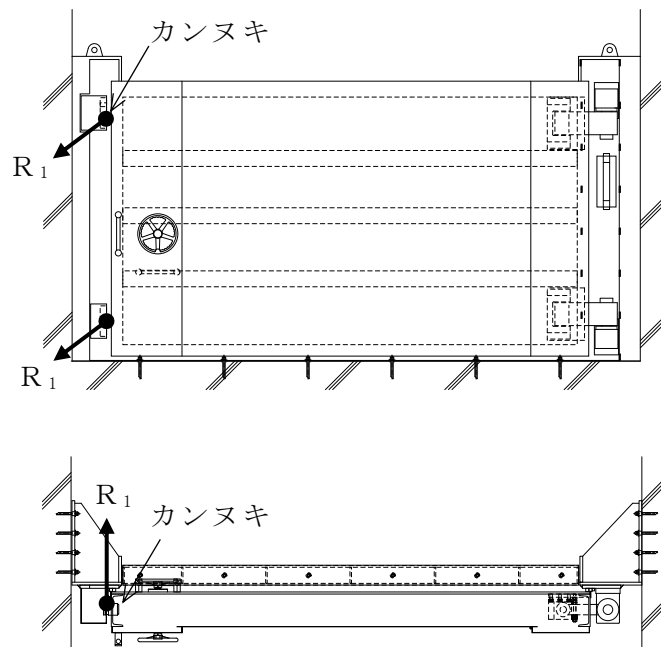


図 4.2-6 カンヌキ部に作用する荷重の例

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキに生じる荷重の例を図 4.2-7 に示す。

$$Q_4 = R_1$$

ここで、

Q_4 : カンヌキのせん断力 (kN)

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

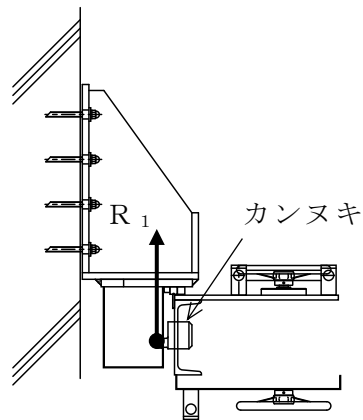


図 4.2-7 カンヌキに生じる荷重の例

b. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例を図 4.2-8 に示す。

$$T_5 = R_1 / n_3$$

ここで、

T_5 : カンヌキ受けボルトの引張力 (kN)

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

n_3 : カンヌキ受けボルト本数 (本)

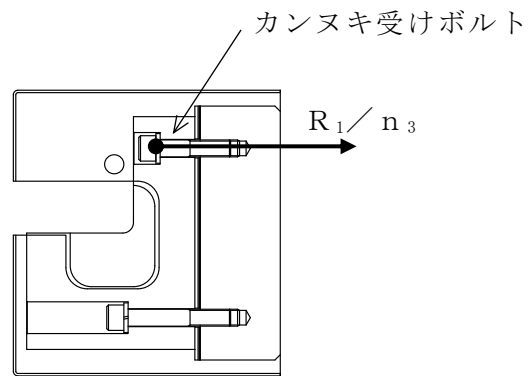


図 4.2-8 カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は次式により算定する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 4.2-9 に示す。

$$W_2 = (1 + k_{UD}) \cdot (G_D + G_W)$$

$$F_3 = k_H \cdot (G_D + G_W)$$

$$T_{6A} = Q_{6A} = \frac{\sqrt{W_2^2 + F_3^2}}{n_4}$$

ここで、

W_2 : 扉枠重量を考慮したスラスト荷重 (kN)

F_3 : 扉枠重量を考慮した扉幅方向の転倒力 (kN)

T_{6A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

Q_{6A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

k_{UD} : 鉛直震度

k_H : 水平震度

G_D : 扉重量 (kN)

G_W : 扉枠重量 (kN)

n_4 : アンカーボルトの本数 (本)

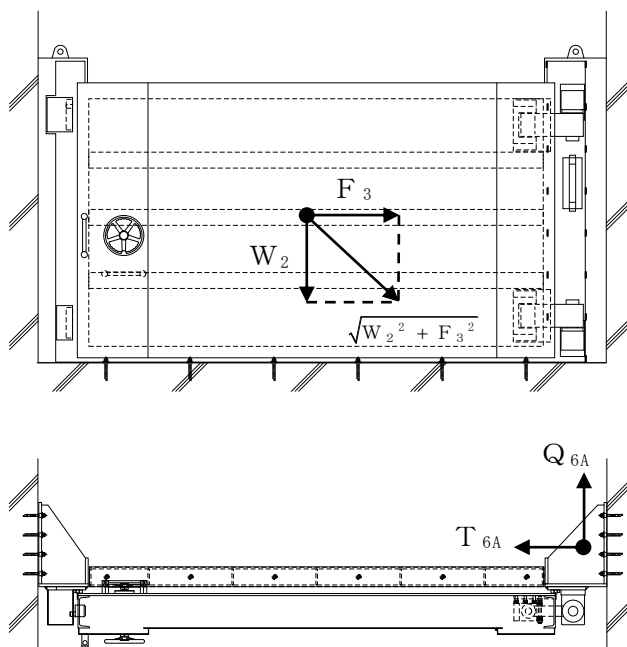


図 4.2-9 アンカーボルトに作用する荷重の例

4.2.4.2 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、許容限界以下であることを確認する。

(1) ヒンジ部

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) ヒンジ板に生じる曲げ応力度

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

ここで、

σ_1 : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

(b) ヒンジ板に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = (Q_1 \cdot 10^3) / A_1$$

ここで、

τ_1 : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm²)

Q_1 : ヒンジ板のせん断力 (kN)

A_1 : ヒンジ板のせん断断面積 (mm²)

(c) ヒンジ板に生じる組合せ応力度

ヒンジ板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、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \leq_s f_{t1}$$

ここで、

$_s f_{t1}$: ヒンジ板の短期許容引張応力度 (N/mm²)

σ_1 : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_1 : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) ヒンジピンに生じる曲げ応力度

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

ここで、

- σ_2 : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)
 Z_2 : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

(b) ヒンジピンに生じるせん断応力度

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

ここで、

- τ_2 : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm²)
 Q_2 : ヒンジピンのせん断力 (kN)
 A_2 : ヒンジピンのせん断断面積 (mm²)

(c) ヒンジピンに生じる組合せ応力度

ヒンジピン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、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

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

ここで、

- $_s f_{t2}$: ヒンジピンの短期許容引張応力度 (N/mm²)
 σ_2 : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_2 : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し、ヒンジボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau_3 = (Q_3 \cdot 10^3) / A_3$$

ここで、

τ_3 : ヒンジボルトのせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

A_3 : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(2) カンヌキ部

a. カンヌキ

カンヌキに生じるせん断力がカンヌキの短期許容耐力以下であることを確認する。

b. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、カンヌキ受けボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_5 = (T_5 \cdot 10^3) / A_5$$

ここで、

σ_5 : カンヌキ受けボルトの引張応力度 (N/mm²)

T_5 : カンヌキ受けボルトの引張力 (kN)

A_5 : カンヌキ受けボルトの軸断面積 (mm²)

(3) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力及びせん断力を「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。

$$(Q_{6A} / Q_{6B})^2 + (T_{6A} / T_{6B})^2 \leq 1.0$$

$$Q_{6A} / Q_{6B} \leq 1.0$$

ここで、

Q_{6A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_{6B} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

$$T_{6A} / T_{6B} \leq 1.0$$

ここで、

T_{6A} : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_{6B} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

4.2.5 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 4.2-6 に示す。

表 4.2-6(1) 耐震評価に用いる条件 (水密扉 No. 12)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				12	
共通	W_1	kN	スラスト荷重	23.19	
	G_D	kN	扉重量	11.77	
	k_H	—	水平震度	0.98	
	k_{UD}	—	鉛直震度	0.97	
	L_1	mm	扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離	1130	
	L_2	mm	扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離	117	
	L_3	mm	ヒンジ芯間距離	1631	
ヒ ン ジ 部	ヒンジ板	L_4	mm	ヒンジ板の 2 軸間距離	340
		Z_1	mm ³	ヒンジ板の断面係数	262500
		A_1	mm ²	ヒンジ板のせん断断面積	10500
	ヒンジピン	L_5	mm	ヒンジ板と受板間距離	46
		Z_2	mm ³	ヒンジピンの断面係数	21210
		A_2	mm ²	ヒンジピンのせん断断面積	2827
ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	6	
	A_3	mm ²	ヒンジボルトのせん断断面積	303	
カ ン ヌ キ 部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	2
	カンヌキ受け ボルト	n_3	本	カンヌキ受けボルト本数	2
		A_5	mm ²	カンヌキ受けボルトの軸断面積	157
アンカーボルト	G_W	kN	扉枠重量	2.109	
	n_4	本	アンカーボルトの本数	6	

表 4.2-6(2) 耐震評価に用いる条件（水密扉 No. 28）

対象部位		記号	単位	定義	水密扉 No. 28
共通		W_1	kN	スラスト荷重	52.72
		G_D	kN	扉重量	27.46
		k_H	—	水平震度	1.10
		k_{UD}	—	鉛直震度	0.92
		L_1	mm	扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離	2014.5
		L_2	mm	扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離	136
		L_3	mm	ヒンジ芯間距離	1740
ヒンジ部	ヒンジ板	L_4	mm	ヒンジ板の2軸間距離	340
		Z_1	mm ³	ヒンジ板の断面係数	262500
		A_1	mm ²	ヒンジ板のせん断断面積	10500
	ヒンジピン	L_5	mm	ヒンジ板と受板間距離	46
		Z_2	mm ³	ヒンジピンの断面係数	21210
		A_2	mm ²	ヒンジピンのせん断断面積	2827
ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	6	
	A_3	mm ²	ヒンジボルトのせん断断面積	303	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	2
	カンヌキ受けボルト	n_3	本	カンヌキ受けボルト本数	2
		A_5	mm ²	カンヌキ受けボルトの軸断面積	157
アンカーボルト	G_w	kN	扉枠重量	8.715	
	n_4	本	アンカーボルトの本数	64	

4.3 タイプⅢ

4.3.1 評価対象部位

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。地震荷重により水密扉に生じる慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けプレート）から鉄骨躯体に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。

タイプⅢ水密扉については、風荷重も作用するが、風荷重による水密扉の評価は、VI-3-別添 3-4-2「水密扉の強度計算書（溢水）」に示しているため、本書では検討しない。また、風荷重は鉄骨躯体を介して、水密扉を支持する防水壁に伝わる構造となっている。防水壁の検討については、VI-2-10-2-8「防水壁の耐震性についての計算書」にて検討を実施している。

タイプⅢ水密扉は No. 31 及び No. 32 であり、同様の構造であることから代表として水密扉「No. 31」にて評価結果を示す。

水密扉に作用する荷重の作用図を図 4.3-1 に示す。

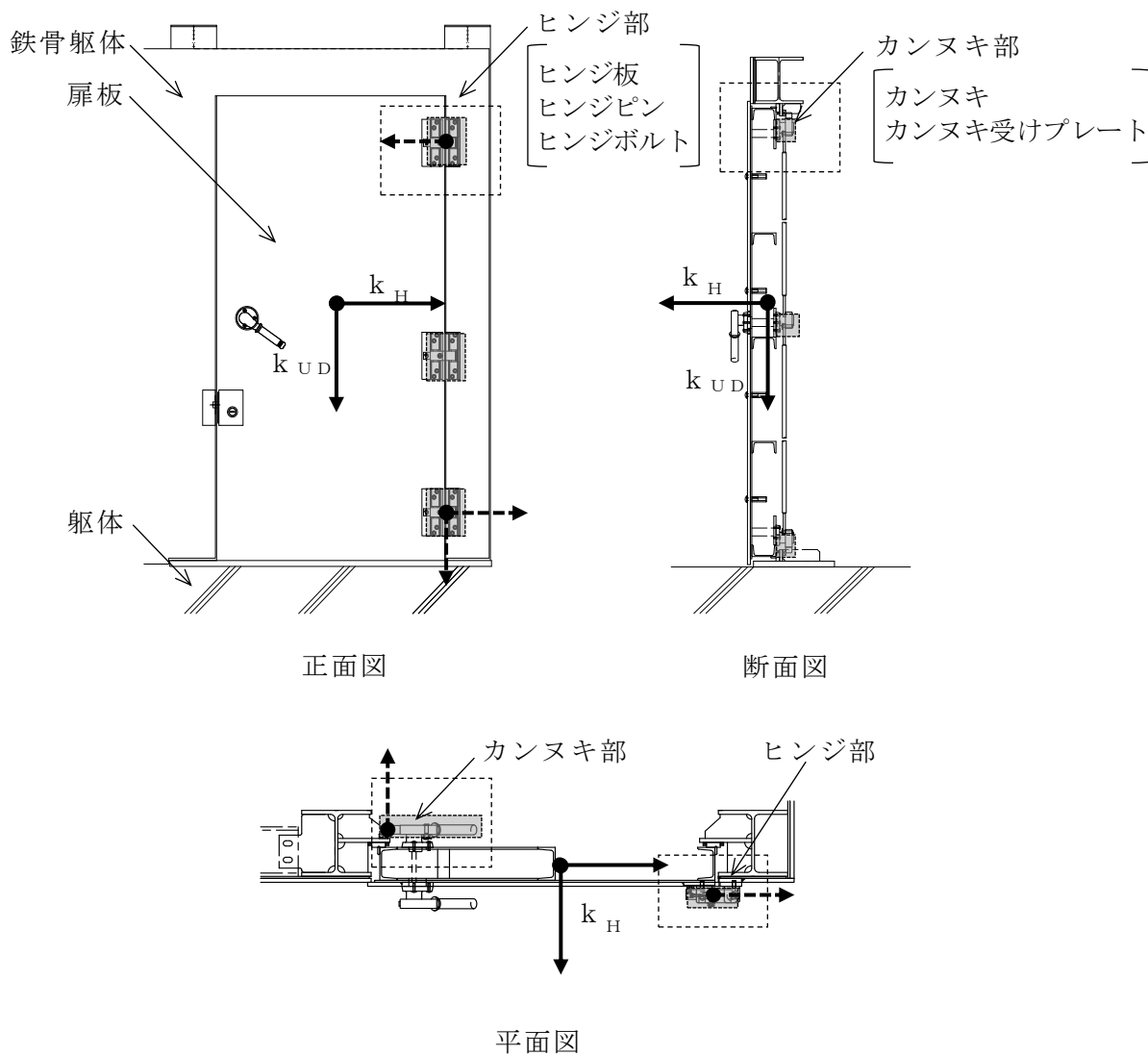
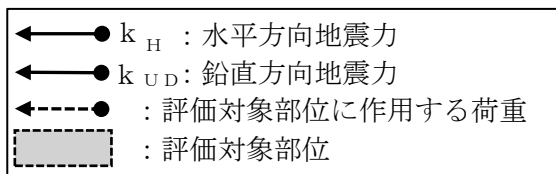


図 4.3-1 水密扉に作用する荷重の作用図

4.3.2 荷重及び荷重の組合せ

4.3.2.1 荷重の組合せ

水密扉の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

水密扉は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

4.3.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉の自重を考慮する。自重は「4.3.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

耐震 C-1 クラス施設及び耐震 C-2 クラス施設の地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。地震荷重は「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.3.3 許容限界

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

4.3.3.1 使用材料

タイプⅢを構成するヒンジ部及びカンヌキ部の使用材料を表 4.3-1 に示す。

表 4.3-1 ヒンジ部及びカンヌキ部の使用材料

評価対象部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジ板	SUS304	PL-40×40
	ヒンジピン	SUS304	20φ
	ヒンジボルト	SUS304	M10
カンヌキ部	カンヌキ	SCM435	12φ
	カンヌキ受けプレート	SS400	t 12

4.3.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 4.3-2 の値とする。

表 4.3-2 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	235	235	135
SUS304	205	205	118
SCM435	651	651	375

4.3.4 評価方法

4.3.4.1 応力算定

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ヒンジ部に生じる荷重の例を図 4.3-2 に示す。

$$W_1 = G_D + k_{UD} \cdot G_D$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_1 / L_3 + k_H \cdot G_D / 2$$

$$F_2 = W_1 \cdot L_2 / L_3$$

ここで、

W_1 : スラスト荷重 (kN)

G_D : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向の転倒力 (kN)

L_1 : 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_2 : 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_3 : ヒンジ芯間距離 (mm)

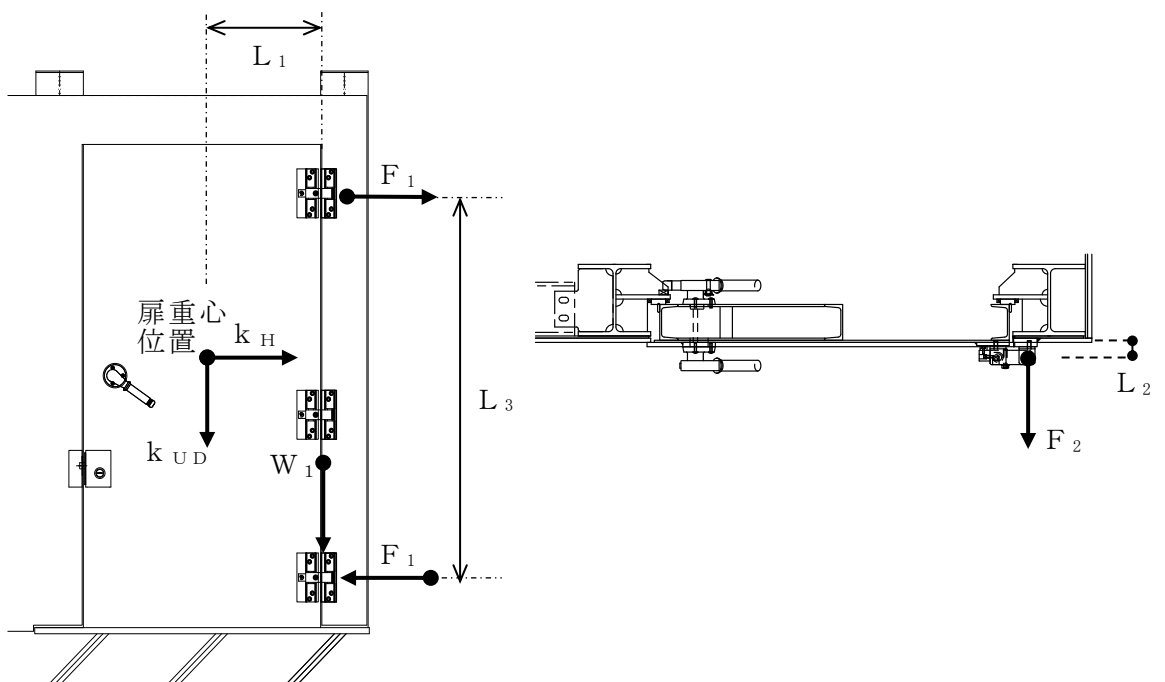


図 4.3-2 ヒンジ部に生じる荷重の例

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重の例を図 4.3-3 に示す。

$$M_1 = W_1 \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_1 = W_1$$

ここで、

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Q_1 : ヒンジ板のせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

L_4 : ヒンジ板の 2 軸間距離 (mm)

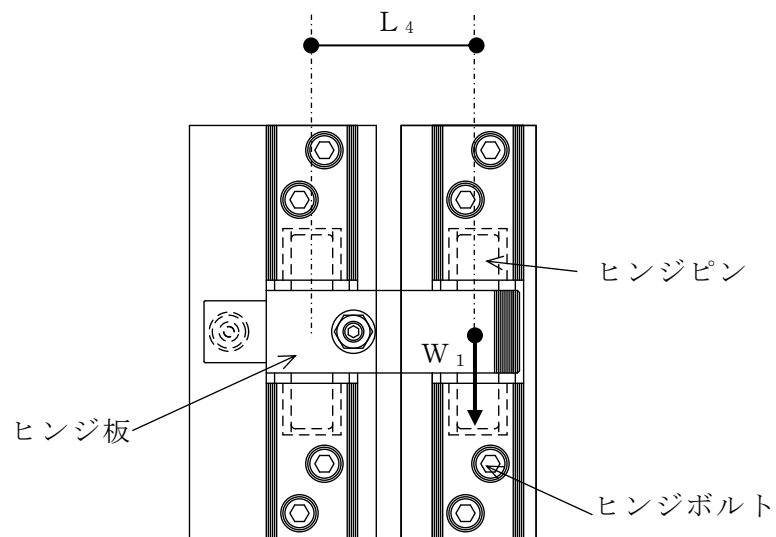


図 4.3-3 ヒンジ板に生じる荷重の例

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図 4.3-4 に示す。

$$M_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

ここで、

M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)

Q_2 : ヒンジピンのせん断力 (kN)

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向の転倒力 (kN)

L_5 : ヒンジ板と受板間距離 (mm)

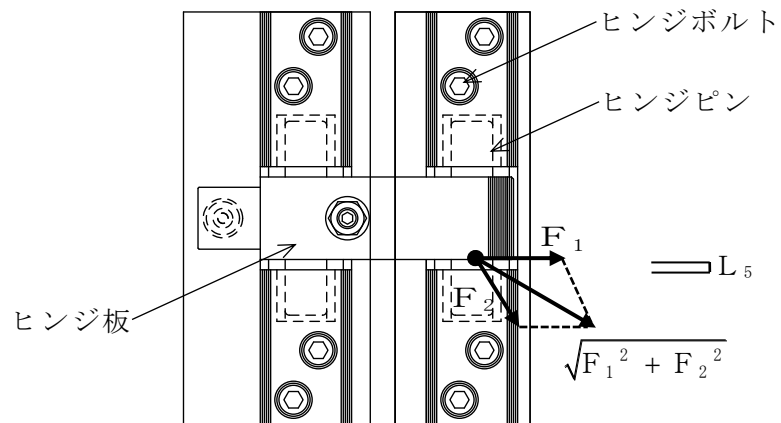


図 4.3-4 ヒンジピンに生じる荷重の例

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は，次式により算定する。ヒンジボルトに生じる荷重の例を図 4.3-5 に示す。

$$Q_3 = \frac{\sqrt{W_1^2 + F_1^2}}{n_1}$$

ここで，

Q_3 : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_1 : 扉幅方向の転倒力 (kN)

n_1 : ヒンジボルトの本数

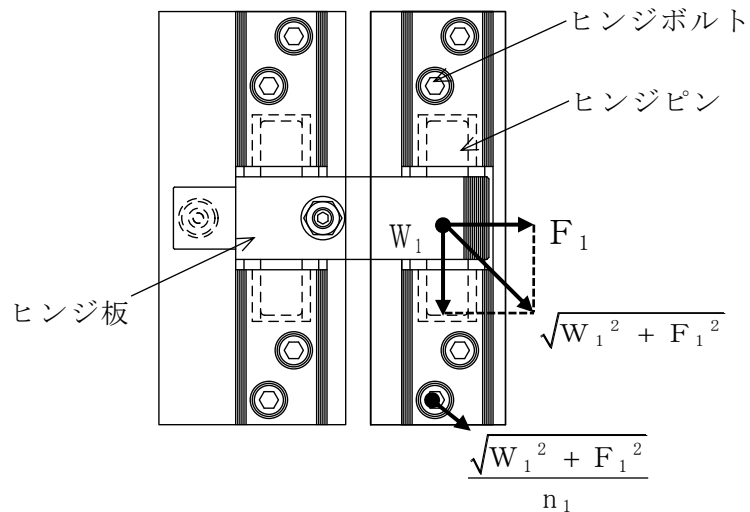


図 4.3-5 ヒンジボルトに生じる荷重の例

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ及びカンヌキ受けプレートで構成されており、生じる応力は次式により算定する。カンヌキ部に作用する荷重の例を図 4.3-6 に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G_D / n_2$$

ここで、

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

k_H : 水平震度

G_D : 扉重量 (kN)

n_2 : カンヌキの本数

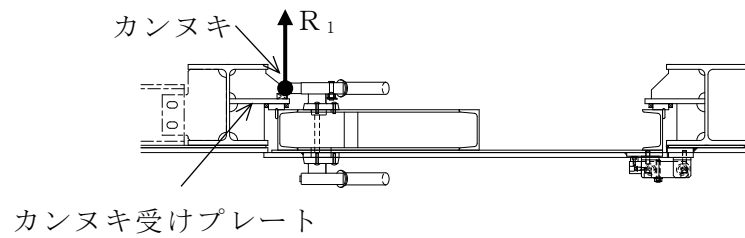


図 4.3-6 カンヌキ部に作用する荷重の例

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、カンヌキの一端を固定端としてモデル化した片持ちばりとして評価し、カンヌキの取付部位に応じて作用する応力を考慮する。カンヌキに生じる荷重の例を図 4.3-7 に示す。

$$M_4 = R_1 \cdot L_6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_4 = R_1$$

ここで、

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_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

L_6 : カンヌキの突出長さ (mm)

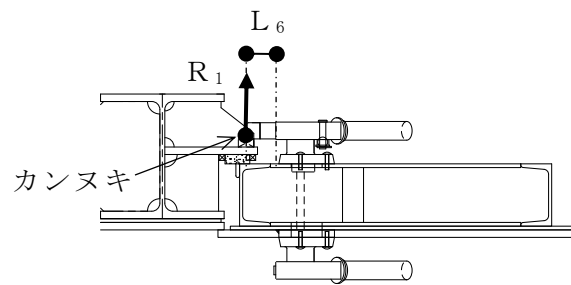


図 4.3-7 カンヌキに生じる荷重の例

b. カンヌキ受けプレート

カンヌキ受けプレートに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、カンヌキ受けプレート端部を固定端としてモデル化した片持ちばりとして評価し、カンヌキ受けプレートに作用する応力を考慮する。カンヌキ受けプレートに生じる荷重の例を図 4.3-8 に示す。

$$M_5 = R_1 \cdot L_7 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_5 = R_1$$

ここで、

M_5 : カンヌキ受けプレートの曲げモーメント (kN・m)

Q_5 : カンヌキ受けプレートのせん断力 (kN)

R_1 : カンヌキ受けプレートに作用する荷重 (kN)

L_7 : カンヌキ受けプレートの長さ (mm)

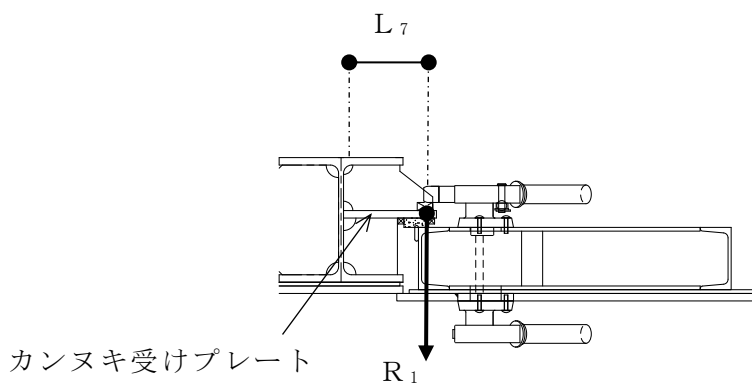


図 4.3-8 カンヌキ受けプレートに生じる荷重の例

4.3.4.2 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) ヒンジ部

a. ヒンジ板

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

(a) ヒンジ板に生じる曲げ応力度

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

ここで，

σ_1 : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

(b) ヒンジ板に生じるせん断応力度

$$\tau_1 = (Q_1 \cdot 10^3) / A_1$$

ここで，

τ_1 : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm²)

Q_1 : ヒンジ板のせん断力 (kN)

A_1 : ヒンジ板のせん断断面積 (mm²)

(c) ヒンジ板に生じる組合せ応力度

ヒンジ板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，ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \leq_s f_{t1}$$

ここで，

$_s f_{t1}$: ヒンジ板の短期許容引張応力度 (N/mm²)

σ_1 : ヒンジ板の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_1 : ヒンジ板のせん断応力度 (N/mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

(a) ヒンジピンに生じる曲げ応力度

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

ここで、

- σ_2 : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)
 Z_2 : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

(b) ヒンジピンに生じるせん断応力度

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

ここで、

- τ_2 : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm²)
 Q_2 : ヒンジピンのせん断力 (kN)
 A_2 : ヒンジピンのせん断断面積 (mm²)

(c) ヒンジピンに生じる組合せ応力度

ヒンジピン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、ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

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

ここで、

- $_s f_{t2}$: ヒンジピンの短期許容引張応力度 (N/mm²)
 σ_2 : ヒンジピンの曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_2 : ヒンジピンのせん断応力度 (N/mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し、ヒンジボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau_3 = (Q_3 \cdot 10^3) / A_3$$

ここで、

τ_3 : ヒンジボルトのせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : ヒンジボルトのせん断力 (kN)

A_3 : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(2) カンヌキ部

a. 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

$$\sigma_4 = (M_4 \cdot 10^6) / Z_4$$

ここで、

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

$$\tau_4 = (Q_4 \cdot 10^3) / A_4$$

ここで、

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。

$$\sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq_s f_{t4}$$

ここで、

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)

b. カンヌキ受けプレート

カンヌキ受け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、カンヌキ受け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) カンヌキ受けプレートに生じる曲げ応力度

$$\sigma_5 = (M_5 \cdot 10^6) / Z_5$$

ここで、

σ_5 : カンヌキ受けプレートの曲げ応力度 (N/mm²)

M_5 : カンヌキ受けプレートの曲げモーメント (kN・m)

Z_5 : カンヌキ受けプレートの断面係数 (mm³)

(b) カンヌキ受けプレートに生じるせん断応力度

$$\tau_5 = (Q_5 \cdot 10^3) / A_5$$

ここで、

τ_5 : カンヌキ受けプレートのせん断応力度 (N/mm²)

Q_5 : カンヌキ受けプレートのせん断力 (kN)

A_5 : カンヌキ受けプレートのせん断断面積 (mm²)

(c) カンヌキ受けプレートに生じる組合せ応力度

カンヌキ受けプレート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、カンヌキ受けプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sqrt{\sigma_5^2 + 3 \cdot \tau_5^2} \leq_s f_{t5}$$

ここで、

$_s f_{t5}$: カンヌキ受けプレートの短期許容引張応力度 (N/mm²)

σ_5 : カンヌキ受けプレートの曲げ応力度 (N/mm²)

τ_5 : カンヌキ受けプレートのせん断応力度 (N/mm²)

4.3.5 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 4.3-3 に示す。

表 4.3-3 耐震評価に用いる条件（水密扉 No.31）

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				31	
共通	W_1	kN	スラスト荷重	7.332	
	G_D	kN	扉重量	4.119	
	k_H	—	水平震度	1.22	
	k_{UD}	—	鉛直震度	0.78	
	L_1	mm	扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離	540	
	L_2	mm	扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離	148	
	L_3	mm	ヒンジ芯間距離	1570	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_4	mm	ヒンジ板の2軸間距離	80
		Z_1	mm ³	ヒンジ板の断面係数	10670
		A_1	mm ²	ヒンジ板のせん断断面積	1600
	ヒンジピン	L_5	mm	ヒンジ板と受板間距離	5
		Z_2	mm ³	ヒンジピンの断面係数	785.4
		A_2	mm ²	ヒンジピンのせん断断面積	314.2
ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4	
	A_3	mm ²	ヒンジボルトのせん断断面積	58	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	3
	カンヌキ	L_6	mm	カンヌキの突出長さ	45
		Z_4	mm ³	カンヌキの断面係数	169.6
		A_4	mm ²	カンヌキのせん断断面積	113.1
	カンヌキ受けプレート	L_7	mm	カンヌキ受けプレートの長さ	144
		Z_5	mm ³	カンヌキ受けプレートの断面係数	5520
A_5		mm ²	カンヌキ受けプレートのせん断断面積	2760	

4.4 タイプⅣ

4.4.1 評価対象部位

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。地震荷重により水密扉に生じる慣性力は、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。

タイプⅣ水密扉は No. 35 及び No. 36 であり、評価結果が厳しい評価対象部位を有することから、代表として「No. 35」の耐震評価結果を示す。

水密扉に作用する荷重の作用図を図 4.4-1 に、タイプⅣ水密扉リストを表 4.4-1 に示す。

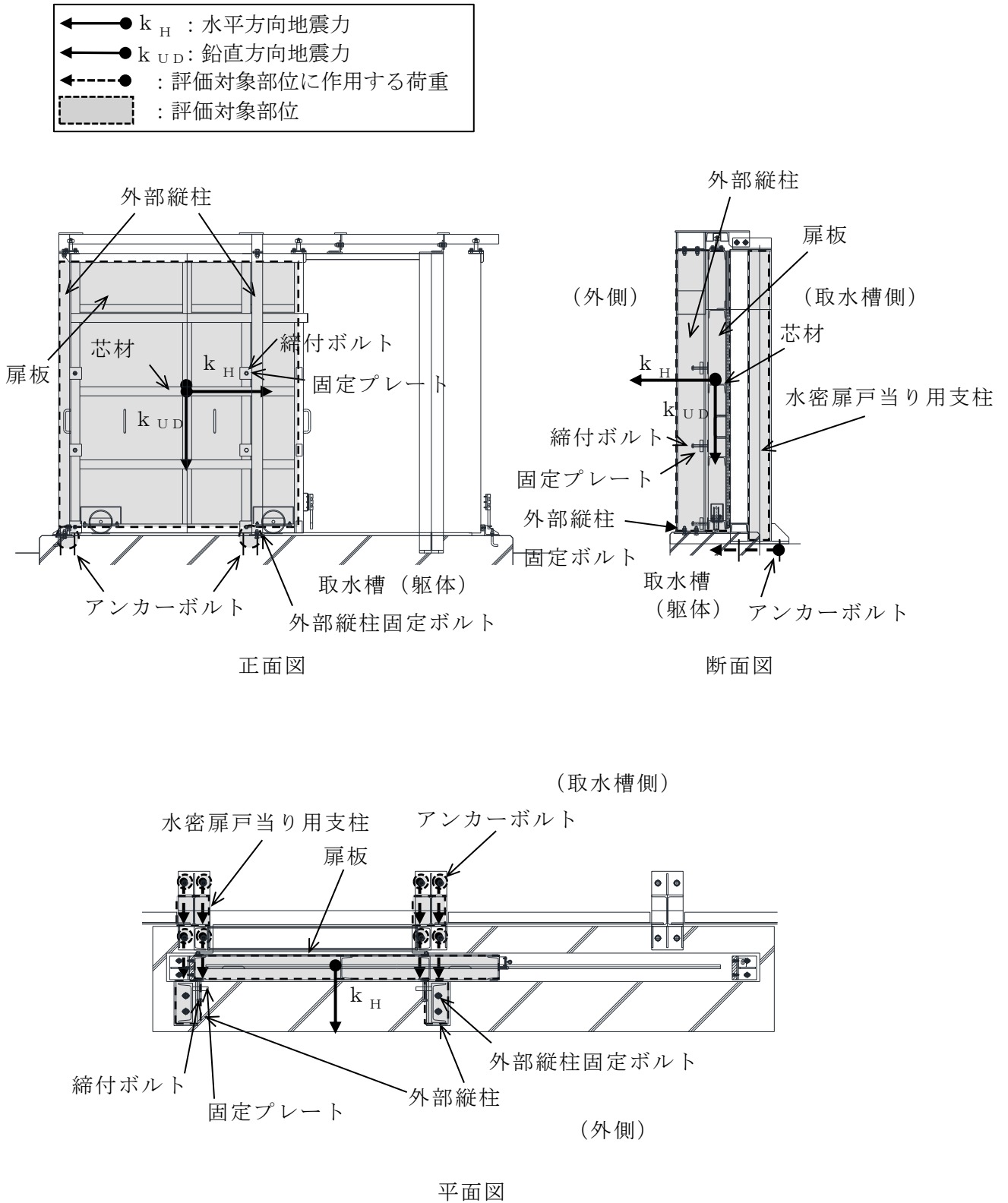


図 4.4-1 水密扉に作用する荷重の作用図
 取水槽除じん機エリア水密扉 (東)

表 4.4-1 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)
35	取水槽除じん機エリア水密扉（東）	○
36	取水槽除じん機エリア水密扉（西）	

4.4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.4.2.1 荷重の組合せ

水密扉の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s + W$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

W : 風荷重 (kN)

水密扉は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

4.4.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉の自重を考慮する。自重は「4.4.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

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

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

(3) 風荷重 (W)

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風の受圧面積を乗じた次式により算出する。風荷重の算定に用いる風圧力を表 4.4-2 に示す。

$$W = w \cdot A$$

- W : 風荷重 (kN)
w : 風圧力 (kN/m²)
A : 風の受圧面積 (m²)

表 4.4-2 風圧力

風圧力 w (kN/m ²)	1.71
-------------------------------	------

4.4.3 許容限界

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

4.4.3.1 使用材料

タイプIV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4.4-3に示す。

表 4.4-3 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

4.4.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」を踏まえて表 4.4-4 の値とする。

表 4.4-4 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	せん断
SS400 (t ≤ 40) *	235	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、「4.4.1 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」に基づき算出した表 4.4-5 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 4.4-5 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
35	取水槽除じん機エリア水密扉 (東)	90	51

4.4.4 評価方法

4.4.4.1 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ばりとして算定する。扉板に作用する荷重の例を図 4.4-2 に示す。

a. 扉板に作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_{s1} = G_1 \cdot k_H$$

S_{s1} : 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G_1 : 水密扉材の自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. 扉板に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重

$$w_{ss1} = B_3 \cdot w_{h1}$$

$$w_{h1} = p_{2'} + w$$

$$p_{2'} = S_{s1} / (B_2 \cdot L_2)$$

w_{ss1} : 扉板に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

B_3 : 荷重の載荷幅 (m)

w_{h1} : 扉板に作用する単位面積あたりの設計水平等分布荷重 (kN/m²)

$p_{2'}$: 扉板に作用する単位面積あたりの設計水平等分布地震荷重 (kN/m²)

w : 風圧力 (kN/m²)

S_{s1} : 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

B_2 : 水密扉幅 (m)

L_2 : 水密扉高さ (m)

c. 扉板に生じる曲げ応力度

$$M_1 = w_{ss1} \cdot L_3^2 / 8$$

M_1 : 扉板に生じる曲げモーメント (kN・m)

w_{ss1} : 扉板に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重
(kN/m)

L_3 : 扉板の部材長 (m)

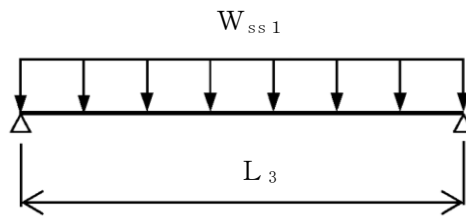
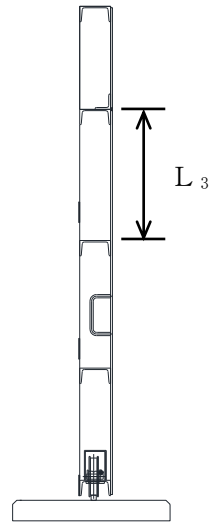


図 4.4-2 扉板に生じる荷重の例

(2) 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。芯材に作用する荷重の例を図 4.4-3 に示す。

a. 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_{s1} = G_1 \cdot k_H$$

S_{s1} : 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G_1 : 水密扉材の自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. 芯材に作用する単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{ss2} = B_4 \cdot w_{h1}$$

$$w_{h1} = p_2' + w$$

$$p_2' = S_{s1} / (B_2 \cdot L_2)$$

w_{ss2} : 芯材に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

B_4 : 荷重の載荷幅 (m)

w_{h1} : 扉板に作用する単位面積あたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

p_2' : 扉板に作用する単位面積あたりの設計水平等分布地震荷重 (kN/m²)

w : 風圧力 (kN/m²)

S_{s1} : 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

B_2 : 水密扉幅 (m)

L_2 : 水密扉高さ (m)

c. 芯材に生じる曲げ応力度

$$M_2 = w_{ss2} \cdot L_4^2 / 8$$

M_2 : 芯材の曲げモーメント (kN・m)

w_{ss2} : 対象芯材に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_4 : 芯材の部材長 (m)

d. 芯材に生じるせん断応力度

$$Q_2 = w_{ss2} \cdot L_4 / 2$$

Q_2 : 芯材のせん断力 (kN)

w_{ss2} : 芯材に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_4 : 芯材の部材長 (m)

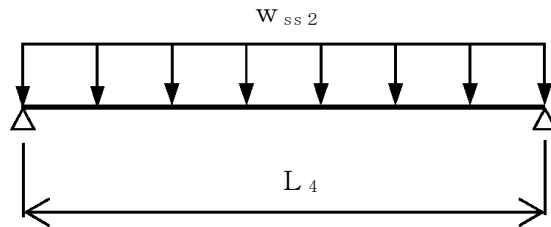


図 4.4-3 芯材に作用する荷重の例

(3) 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。
外部縦柱に作用する荷重の例を図 4.4-4 に示す。

a. 外部縦柱に作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_{s1} = G_1 \cdot k_H$$

S_{s1} : 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G_1 : 水密扉材の自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. 外部縦柱に作用する単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{h2} = (p_2' + w) \cdot B_5 / 2$$

$$p_2' = S_{s1} / (B_2 \cdot L_2)$$

w_{h2} : 外部縦柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

p_2' : 扉板に作用する単位面積あたりの設計水平等分布地震荷重 (kN/m²)

w : 風圧力 (kN/m²)

B_5 : 外部縦柱スパン (m)

S_{s1} : 扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

B_2 : 水密扉幅 (m)

L_2 : 水密扉高さ (m)

c. 外部縦柱に生じる曲げ応力度

$$M_3 = w_{h2} \cdot L_5^2 / 2$$

M_3 : 外部縦柱の曲げモーメント (kN・m)

w_{h2} : 外部縦柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_5 : 外部縦柱全長 (m)

d. 外部縦柱に生じるせん断応力度

$$Q_3 = w_{h2} \cdot L_5$$

Q_3 : 外部縦柱のせん断力 (kN)

w_{h2} : 外部縦柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_5 : 外部縦柱全長 (m)

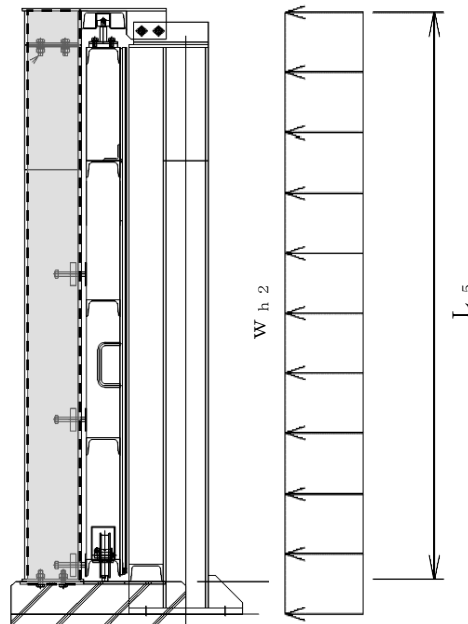


図 4.4-4 外部縦柱に生じる荷重の例

(4) 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。水密扉戸当り用支柱に作用する荷重の例を図 4.4-5 に示す。

a. 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_{s2} = G_2 \cdot k_H$$

$$S_{sv} = G_2 \cdot k_{UD}$$

S_{s2} : 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

G_2 : 水密扉材と壁材の合計自重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

S_{sv} : 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

k_{UD} : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

b. 水密扉戸当り用支柱に作用する単位長さあたりの等分布荷重

$$w_{h3} = W_h / L_1$$

$$W_h = S_{s2} + W_1$$

w_{h3} : 水密扉戸当り用支柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

W_h : 水密扉戸当り用支柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

L_1 : 水密扉戸当り用支柱全長 (m)

S_{s2} : 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

W_1 : 設計水平風荷重 (kN)

c. 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度

$$M_4 = w_{h3} \cdot L_1^2 / 2$$

M_4 : 水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント (kN・m)

w_{h3} : 水密扉戸当り用支柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_1 : 水密扉戸当り用支柱全長 (m)

d. 水密扉戸当り用支柱に生じる鉛直荷重

- ① 引張応力度（鉛直上向き）（安全側の検討として自重は考慮しない）

$$N_4 = S_{sv}$$

N_4 : 水密扉戸当り用支柱の引張荷重 (kN)

S_{sv} : 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

- ② 圧縮応力度（鉛直下向き）

$$N_5 = S_{sv} + G_2$$

N_5 : 水密扉戸当り用支柱の圧縮荷重 (kN)

S_{sv} : 水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

G_2 : 水密扉材と壁材の合計自重 (kN)

e. 水密扉戸当り用支柱に生じるせん断応力度

$$Q_4 = W_h$$

Q_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断力 (kN)

W_h : 水密扉戸当り用支柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

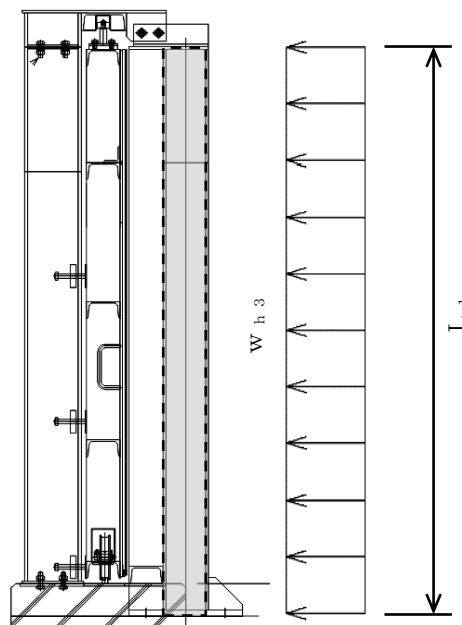


図 4.4-5 水密扉戸当り用支柱に生じる荷重の例

(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 4.4-6 に示す。

$$F_5 = W_{h1} \cdot L_5 \cdot B_5$$

F_5 : 締付ボルトに作用する荷重 (kN)

W_{h1} : 扉板に作用する単位面積あたりの設計水平等分布荷重
(kN/m²)

L_5 : 外部縦柱全長 (m)

B_5 : 外部縦柱スパン (m)

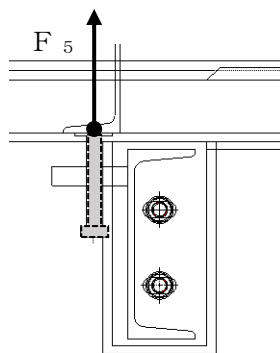


図 4.4-6 締付ボルトに生じる荷重の例

(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 4.4-7 に示す。

$$M_5 = (F_6 / n_6) \cdot L_6$$

$$F_6 = F_5$$

M_5 : 固定プレートの曲げモーメント (kN・mm)

F_6 : 固定プレートに作用する荷重 (kN)

n_6 : 固定プレートの枚数 (枚)

L_6 : 固定プレート固定端から締付ボルトまでの距離 (mm)

F_5 : 締付ボルトに作用する荷重 (kN)

$$Q_5 = F_6 / n_6$$

- Q_5 : 固定プレートのせん断力 (kN)
 F_6 : 固定プレートに作用する荷重 (kN)
 n_6 : 固定プレートの枚数 (枚)

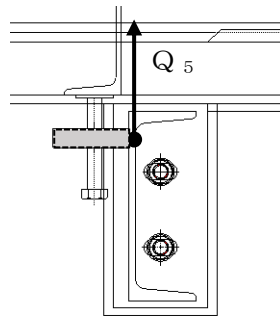


図 4.4-7 固定プレートに生じる荷重の例

(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 4.4-8 に、解析モデル概要図を図 4.4-9 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、「4.4.2 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。

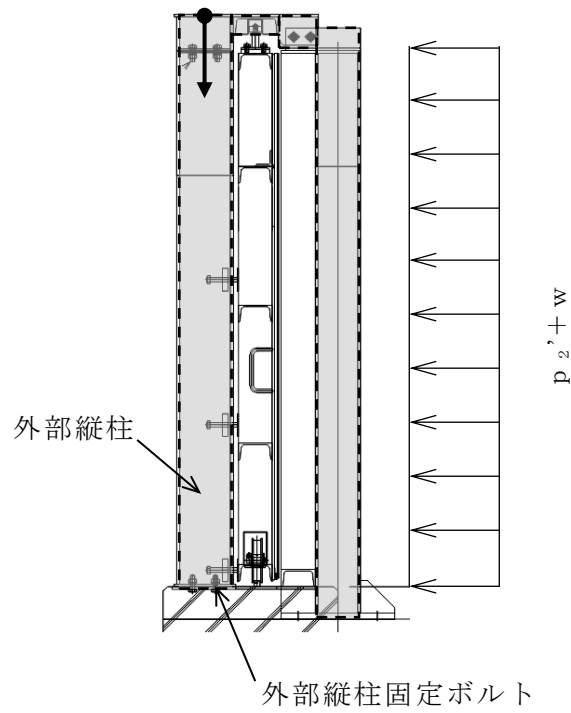


図 4.4-8 外部縦柱に生じる力の断面概念図

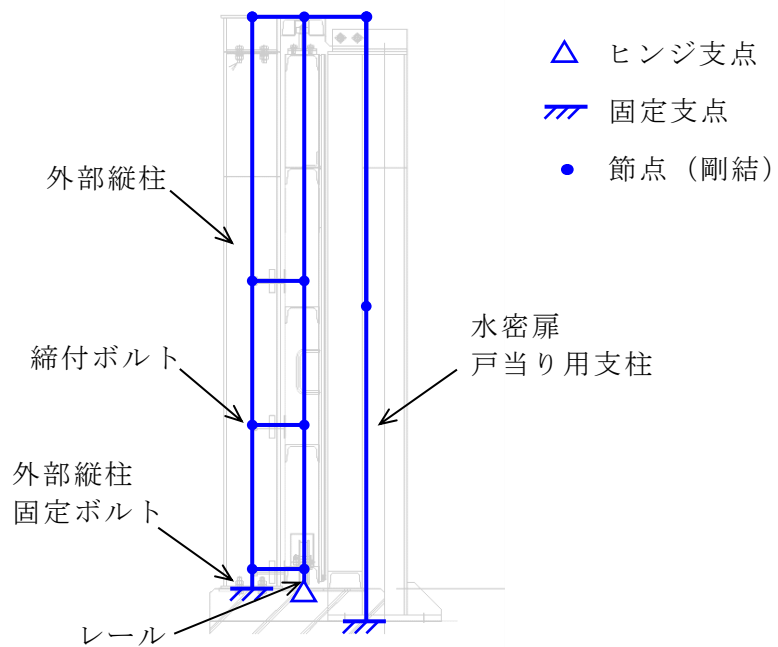


図 4.4-9 解析モデル概要図

(8) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる力は、支柱下端の断面力を基に算出する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 4.4-10 に示す。

$$T_{A1} = V_{A1} / N_{A1} + M_{A1} \cdot x_{iA1} / \sum n \cdot x_{iA1}^2$$

$$Q_{A1} = S_{A1} / N_{A1}$$

T_{A1} : アンカーボルト 1 本あたりの引張力 (kN)

Q_{A1} : アンカーボルト 1 本あたりのせん断力 (kN)

V_{A1} : 水密扉戸当り用支柱に発生する引張荷重 (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に発生する曲げモーメント (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に発生するせん断力 (kN)



図 4.4-10 アンカーボルトに生じる荷重の例

4.4.4.2 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

$$\tau_1 = (Q_1 \cdot 10^3) / (h_1 \cdot t_1)$$

τ_1 : 扉板のせん断応力度 (N/mm²)

Q_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) 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

$$\tau_2 = (Q_2 \cdot 10^3) / (h_2 \cdot t_2)$$

τ_2 : 芯材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : 芯材のせん断力 (kN)

h_2 : 荷重負担幅 (mm)

t_2 : せん断抵抗部材の厚さ (mm)

(3) 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

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

σ_3 : 外部縦柱の曲げ応力度 (N/mm²)

M_3 : 外部縦柱の曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : 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

$$\tau_3 = (Q_3 \cdot 10^3) / (h_3 \cdot t_3)$$

τ_3 : 外部縦柱のせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : 外部縦柱のせん断力 (kN)

h_3 : 外部縦柱のウェブ高 (mm)

t_3 : 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。

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

σ_3 : 外部縦柱の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_3 : 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)

(4) 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鉛直応力度

① 引張応力度 (鉛直上向き) (安全側の検討として自重は考慮しない)

$$\sigma_5 = (N_4 \cdot 10^3) / A$$

σ_5 : 水密扉戸当り用支柱の引張応力度 (N/mm²)

N_4 : 水密扉戸当り用支柱の引張荷重 (kN)

A : 水密扉戸当り用支柱の断面積 (mm²)

② 圧縮応力度 (鉛直下向き)

$$\sigma_6 = (N_5 \cdot 10^3) / A$$

σ_6 : 水密扉戸当り用支柱の圧縮応力度 (N/mm²)

N_5 : 水密扉戸当り用支柱の鉛直荷重 (kN)

A : 水密扉戸当り用支柱の断面積 (mm²)

c. 水密扉戸当り用支柱に生じるせん断応力度

$$\tau_4 = (Q_4 \cdot 10^3) / (h_4 \cdot t_4)$$

τ_4 : 水密扉戸当り用支柱のせん断応力度 (N/mm²)

Q_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)

d. 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。

① 曲げ応力度と引張応力度

$$\sigma_4/f_b + \sigma_5/f_t \leq 1$$

σ_4 : 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

f_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_5 : 水密扉戸当り用支柱に生じる引張応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

② 曲げ応力度と圧縮応力度

$$\sigma_4/f_b + \sigma_6/f_c \leq 1$$

σ_4 : 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

f_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

σ_6 : 水密扉戸当り用支柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

f_c : 短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

③ 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq f_t$$

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)

④ 曲げ応力度，引張応力度，せん断応力度

$$\sqrt{(\sigma_4 + \sigma_5)^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq f_t$$

σ_4 : 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

σ_5 : 水密扉戸当り用支柱に生じる引張応力度 (N/mm²)

τ_4 : 水密扉戸当り用支柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

f_t : 短期許容引張応力度 (N/mm²)

⑤ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度

$$\sqrt{(\sigma_4 + \sigma_6)^2 + 3 \cdot \tau_4^2} \leq f_t$$

- σ_4 : 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
 σ_6 : 水密扉戸当り用支柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)
 τ_4 : 水密扉戸当り用支柱に生じるせん断応力度 (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。

$$N_6 = F_5 / n_7$$

- N_6 : 締付ボルト 1 本あたりに作用する荷重 (kN/本)
 F_5 : 締付ボルトに作用する荷重 (kN)
 n_7 : 締付ボルト本数 (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

$$\sigma_7 = (M_5 \cdot 10^3) / Z_5$$

- σ_7 : 固定プレートの曲げ応力度 (N/mm²)
 M_5 : 固定プレートの曲げモーメント (kN・m)
 Z_5 : 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

$$\tau_5 = (Q_5 \cdot 10^3) / (h_5 \cdot t_5)$$

- τ_5 : 固定プレートのせん断応力度 (N/mm²)
 Q_5 : 固定プレートのせん断力 (kN)
 h_5 : 固定プレートの長さ (mm)
 t_5 : 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

$$\sigma_8 = P_1 / A_1$$

$$P_1 = (M_6 \cdot 10^3) \cdot \{ L_7 / (L_7^2 + L_8^2) \}$$

σ_8 : 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 : ボルトの断面積 (mm²)

M_6 : 外部縦柱固定部の曲げモーメント (kN・m)

L_7 : 固定端から内側のボルトまでの距離 (m)

L_8 : 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

$$\tau_6 = Q_6 / A_1$$

$$Q_6 = N_7 \cdot 10^3 / n_8$$

τ_6 : 外部縦柱固定ボルトのせん断応力度 (N/mm²)

Q_6 : 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 : ボルトの断面積 (mm²)

N_7 : 外部縦柱固定部のせん断力 (kN)

n_8 : 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 本あたりの引張力 (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 本あたりのせん断力 (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)

4.4.5 評価条件

「4.4.4 評価方法」に用いる評価条件を表4.4-6に示す。

表4.4-6 耐震評価に用いる条件（水密扉 No. 35）（1/3）

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				35
共通	S_{s1}	kN	扉板に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重	19.8
	G_1	kN	水密扉材の自重	11.0
	k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度	1.8
	w_{h1}	kN/m ²	扉板に作用する単位面積あたりの設計水平等分布荷重	6.09
	$p_{2'}$	kN/m ²	扉板に作用する単位面積あたりの設計水平等分布地震荷重	4.38
	B_2	m	水密扉幅	1.940
	L_2	m	水密扉高さ	2.333
	G_2	kN	水密扉材と壁材の合計自重	14.7
	k_{UD}	—	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度	0.8
扉板	w_{ss1}	kN/m	扉板に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重	6.08
	B_3	m	荷重の載荷幅	1.000
	w	kN/m ²	風圧力	1.71
	M_1	kN・m	扉板に生じる曲げモーメント	0.29
	L_3	m	扉板の部材長	0.613
	σ_1	N/mm ²	扉板の曲げ応力度	21.48
	Z_1	mm ³	扉板の断面係数	1.35×10^4
	τ_1	N/mm ²	扉板のせん断応力度	0.21
	Q_1	kN	扉板のせん断力	1.86
	h_1	mm	単位幅あたり高さ	1000
t_1	mm	扉板の厚さ	9	
芯材	w_{ss2}	kN/m	芯材に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重	3.73
	B_4	m	荷重の載荷幅	0.612
	M_2	kN・m	芯材の曲げモーメント	1.08
	L_4	m	芯材の部材長	1.520
	Q_2	kN	芯材のせん断力	2.83
	σ_2	N/mm ²	芯材の曲げ応力度	9.39
	Z_2	mm ³	芯材の断面係数	1.15×10^5
	τ_2	N/mm ²	芯材のせん断応力度	0.51
	h_2	mm	荷重負担幅	612
t_2	mm	せん断抵抗部材の厚さ	9	

表 4.4-6 耐震評価に用いる条件（水密扉 No. 35）（2/3）

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				35
外部縦柱	w_{h2}	kN/m	外部縦柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重	4.63
	B_5	m	外部縦柱スパン	1.520
	M_3	kN・m	外部縦柱の曲げモーメント	14.78
	L_5	m	外部縦柱全長	2.527
	Q_3	kN	外部縦柱のせん断力	11.70
	σ_3	N/mm ²	外部縦柱の曲げ応力度	44.25
	Z_3	mm ³	外部縦柱の断面係数	3.34×10^5
	τ_3	N/mm ²	外部縦柱のせん断応力度	5.80
	h_3	mm	外部縦柱のウェブ高	224
	t_3	mm	外部縦柱のウェブ厚	9
水密扉戸 当り用支 柱	S_{s2}	kN	水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重	26.46
	S_{sv}	kN	水密扉戸当り用支柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重	11.76
	w_{h3}	kN/m	水密扉戸当り用支柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重	13.15
	W_h	kN	水密扉戸当り用支柱に作用する水平方向の荷重	32.89
	L_1	m	水密扉戸当り用支柱全長	2.500
	W_1	kN	設計水平風荷重	6.43
	M_4	kN・m	水密扉戸当り用支柱の曲げモーメント	41.09
	N_4	kN	水密扉戸当り用支柱の引張荷重	11.76
	N_5	kN	水密扉戸当り用支柱の圧縮荷重	26.46
	Q_4	kN	水密扉戸当り用支柱のせん断力	32.89
	σ_4	N/mm ²	水密扉戸当り用支柱の曲げ応力度	87.06
	Z_4	mm ³	水密扉戸当り用支柱の断面係数	4.72×10^5
	σ_5	N/mm ²	水密扉戸当り用支柱の引張応力度	1.85
	A	mm ²	水密扉戸当り用支柱の断面積	6353
	σ_6	N/mm ²	水密扉戸当り用支柱の圧縮応力度	4.16
	τ_4	N/mm ²	水密扉戸当り用支柱のせん断応力度	23.36
	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 4.4-6 耐震評価に用いる条件（水密扉 No. 35）（3/3）

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.
				35
締付 ボルト	F_5	kN	締付ボルトに作用する荷重	23.39
	N_6	kN/本	締付ボルト 1 本あたりに作用する荷重	3.90
	n_7	本	締付ボルト本数	6
固定 プレート	M_5	kN・mm	固定プレートの曲げモーメント	195.00
	F_6	kN	固定プレートに作用する荷重	23.39
	n_6	枚	固定プレートの枚数	6
	L_6	mm	固定プレート固定端から締付ボルトまでの距離	50
	Q_5	kN	固定プレートのせん断力	3.90
	σ_7	N/mm ²	固定プレートの曲げ応力度	18.72
	Z_5	mm ³	固定プレートの断面係数	10417
	τ_5	N/mm ²	固定プレートのせん断応力度	1.56
	h_5	mm	固定プレートの長さ	100
	t_5	mm	固定プレートの厚さ	25
外部縦柱 固定 ボルト	σ_8	N/mm ²	外部縦柱固定ボルトの引張応力度	108.39
	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	26556
	A_1	mm ²	ボルトの断面積	245
	M_6	kN・m	外部縦柱固定部の曲げモーメント	5.28
	L_7	m	固定端から内側のボルトまでの距離	0.170
	L_8	m	固定端から外側のボルトまでの距離	0.070
	τ_6	N/mm ²	外部縦柱固定ボルトのせん断応力度	19.39
	Q_6	N	外部縦柱固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断力	4750
	N_7	kN	外部縦柱固定部のせん断力	9.50
	n_8	本	ボルトの本数	2
アンカー ボルト	T_{A1}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの引張力	61.88
	Q_{A1}	kN	アンカーボルト 1 本あたりのせん断力	8.22
	V_{A1}	kN	水密扉戸当り用支柱に発生する引張荷重	11.76
	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に発生する曲げモーメント	41.09
	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に発生するせん断力	32.89
	T_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	90
	Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	51

4.5 タイプV

4.5.1 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Vのうち、扉部については、「4.1 タイプI」及び「4.2 タイプII」で評価しているため、「4.5 タイプV」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）及び水密扉戸当り用支柱部（アンカーボルト）を評価対象部位とする。

タイプV水密扉リストを表4.5-1に示す。

また、代表として扉部及び支柱部について、評価結果が厳しい評価対象部位を有する「No.13,37」の耐震評価結果を示す。

水密扉に作用する荷重の例を図4.5-1に示す。

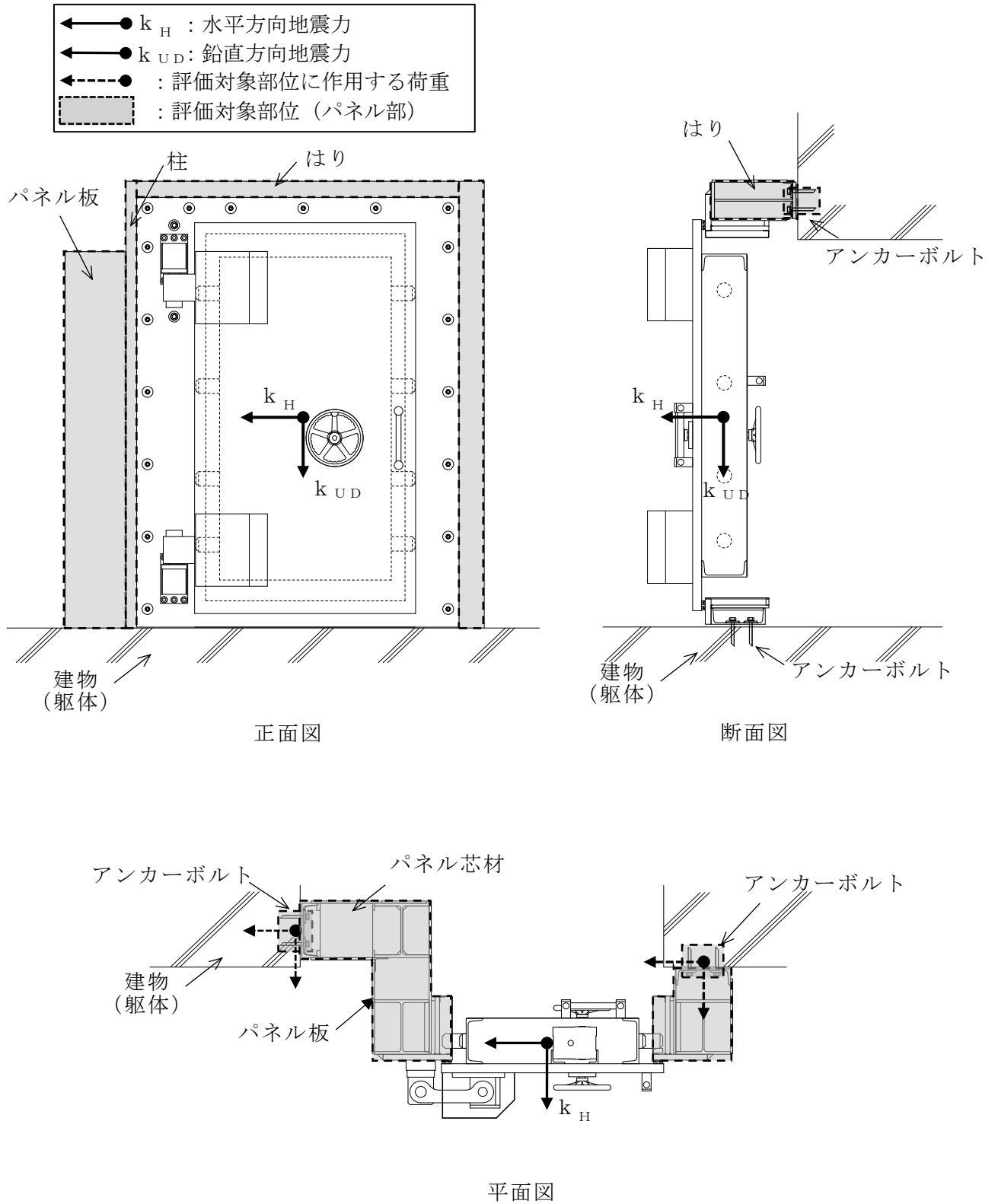


図 4.5-1(1) 水密扉に作用する荷重の作用図 (水密扉 No. 13)

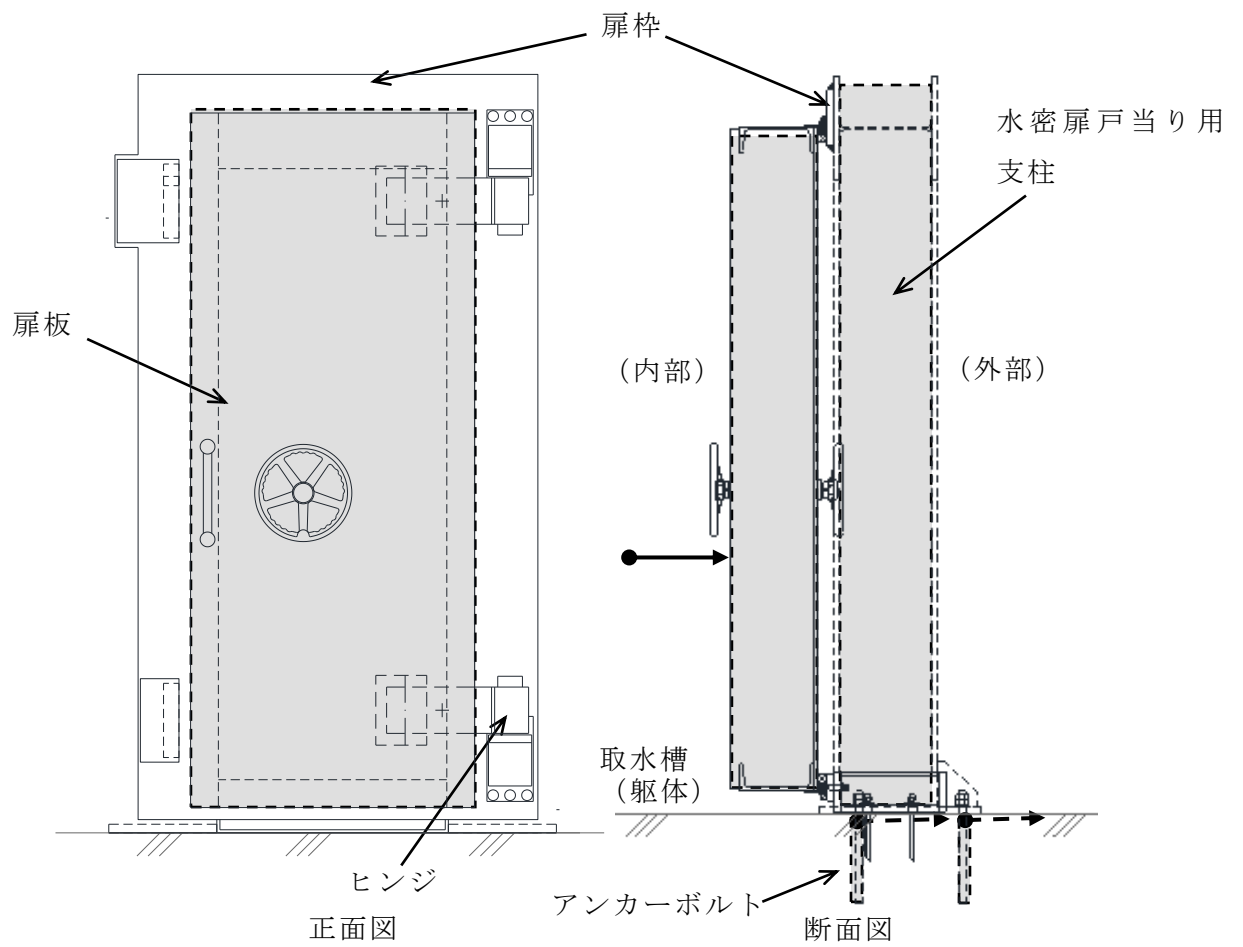


図 4.5-1(2) 水密扉に作用する荷重の作用図 (水密扉 No. 37)

表 4.5-1 タイプV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	
21	タービン建物地下1階封水回収ポンプ室北側水密扉	
27	廃棄物処理建物地下1階被服置場北側水密扉	
33	制御室建物2階チェックポイント連絡水密扉	
37	取水槽除じん機エリア水密扉 (北)	○

4.5.2 荷重及び荷重の組合せ

4.5.2.1 荷重の組合せ

パネル部の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

パネル部は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

4.5.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重としてパネル部の自重を考慮する。自重は「4.5.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

Sクラス及びC-2クラスの地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。Bクラスの地震荷重は地震力 S_B による荷重を考慮する。なお制御室建物及び廃棄物処理建物に設置されるBクラスの水密扉は保守的に基準地震動 S_s による荷重を考慮する。地震荷重は「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとし、パネル部については組合せ係数法を考慮する。

4.5.3 許容限界

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

4.5.3.1 使用材料

タイプVを構成するパネル部（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4.5-2に示す。

表 4.5-2 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-12
	柱	SS400	H-300×300×10×15 [-300×90×9×13
	はり	SS400	BH-470×200×12×19
	パネル芯材	SS400	[-300×90×9×13
	アンカーボルト	SS400	M20

4.5.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 4.5-3 の値とする。

表 4.5-3 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

アンカーボルトの許容限界は、「4.5.1 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 4.5-4 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 4.5-4 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
13	原子炉建物地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉	39	39
37	取水槽除じん機エリア水密扉 (北)	72	27

4.5.4 評価方法

4.5.4.1 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。パネル板に作用する荷重の例を図 4.5-2 に示す。

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

ここで、

M_1 : パネル板の曲げモーメント (kN・m/m)

G_P : パネル板の自重 (kN/m)

L_1 : パネル板の短辺長さ (mm)

k_H : 水平方向の設計震度

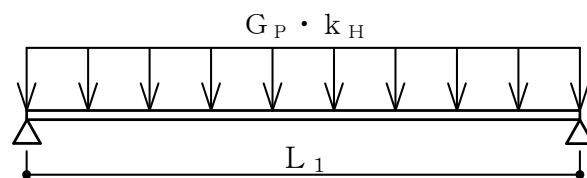


図 4.5-2 パネル板に作用する荷重の例

(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。パネル芯材に作用する荷重の例を図 4.5-3 に示す。

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

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

ここで、

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_B : パネル芯材の自重 (パネル板の自重を含む) (kN/m)

k_H : 水平方向の設計震度

L_2 : パネル芯材の支持スパン (mm)

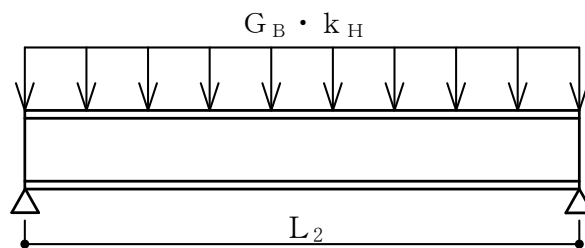


図 4.5-3 パネル芯材に作用する荷重の例

(3) 柱、はり及びアンカーボルト

地震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 4.5-4 及び図 4.5-5 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 : $G = 79000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

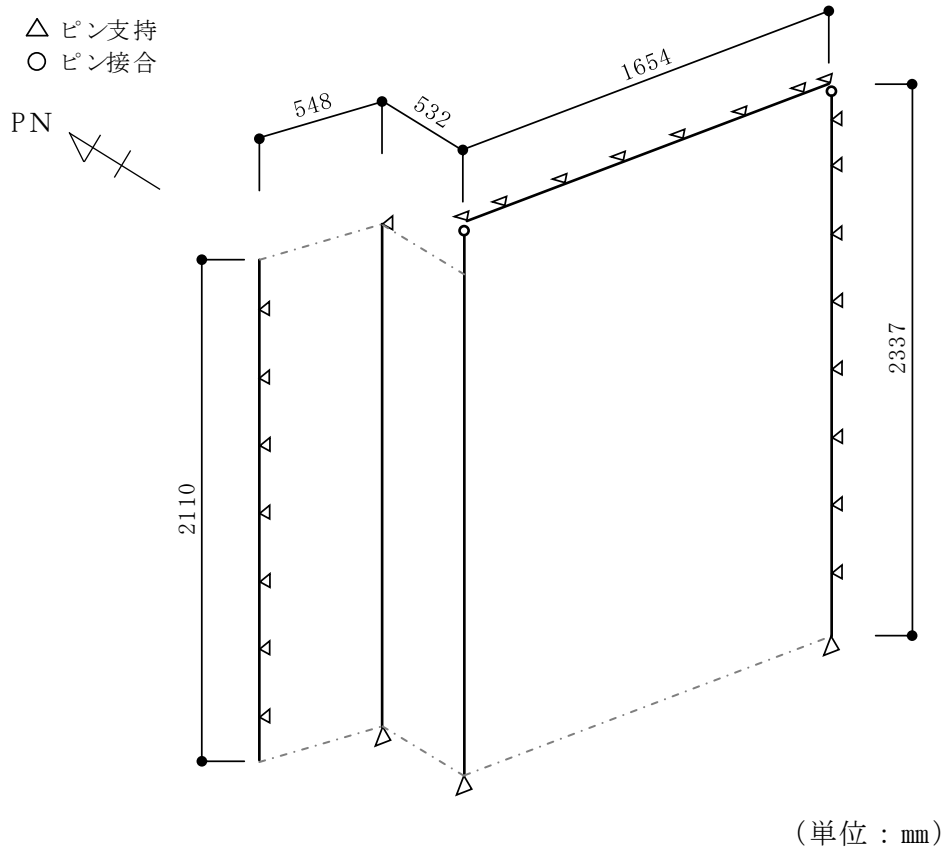


図 4.5-4 評価モデル図

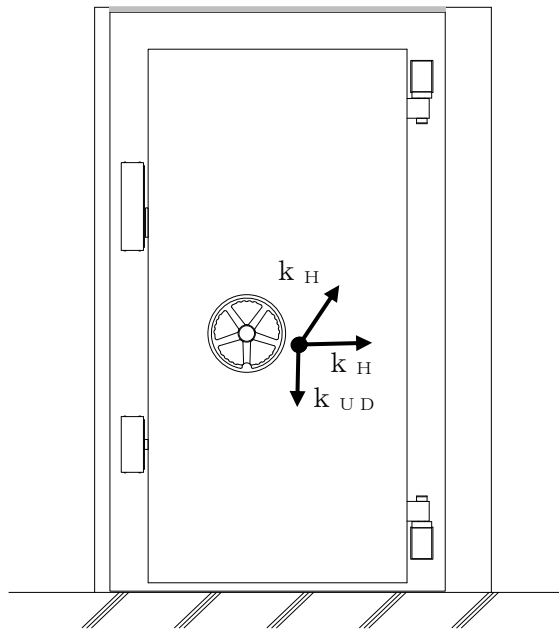


図 4.5-5 評価モデルに作用する荷重の例

(4) 水密扉戸当り用支柱部アンカーボルト (水密扉 No. 37)

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。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 4.5-6 に示す。

a. 水密扉戸当り用支柱に生じる曲げモーメント

$$M_{\max 1}' = w_h \cdot L_2 \cdot L_3$$

$$w_h = (P_1' + W) / L_2$$

$$P_1' = k_H \cdot (G_W + G_D)$$

$$W = w \cdot B \cdot L_2$$

$M_{\max 1}'$: 扉開放時の柱に発生する最大曲げモーメント (kN・m)

w_h : 扉開放時の柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_2 : 柱全長 (m)

L_3 : 柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置 (m)

P_1' : 扉開放時の柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

W : 扉開放時の風荷重 (kN)

k_H : 水平震度

G_W : 防水壁自重 (kN)

G_D : 扉開放時の水密扉自重 (kN)

w : 風圧力 (kN/m²)

B : 扉開放時の受圧幅 (m)

b. 水密扉戸当り用支柱に生じる引張力

$$V_{t\max 1}' = V_1'$$

$$V_1' = k_{UD} \cdot (G_W + G_D)$$

$V_{t\max 1}'$: 扉開放時の柱に発生する最大引張荷重 (kN)

V_1' : 扉開放時の柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重 (kN)

k_{UD} : 鉛直震度

G_W : 防水壁自重 (kN)

G_D : 扉開放時の水密扉自重 (kN)

- c. 水密扉戸当り用支柱に生じるせん断力

$$S_{\max 1}' = W_h$$

$$W_h = P_1' + W$$

$S_{\max 1}'$: 扉開放時の柱に発生する最大せん断力 (kN)

W_h : 扉開放時の柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

P_1' : 扉開放時の柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重 (kN)

W : 扉開放時の風荷重 (kN)

- d. アンカーボルトの引張力

$$F_1' = V_{t\max 1}' / N + M_{\max 1}' \cdot x_i / \sum n \cdot x_i^2$$

F_1' : 扉開放時のアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

$V_{t\max 1}'$: 扉開放時の柱に発生する最大引張荷重 (kN)

N : アンカーボルトの総本数 (本)

$M_{\max 1}'$: 扉開放時の柱に発生する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)

- e. アンカーボルトのせん断力

$$Q_1' = S_{\max 1}' / N$$

Q_1' : 扉開放時のアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

$S_{\max 1}'$: 扉開放時の柱に発生する最大せん断力 (kN)

N : アンカーボルトの総本数 (本)

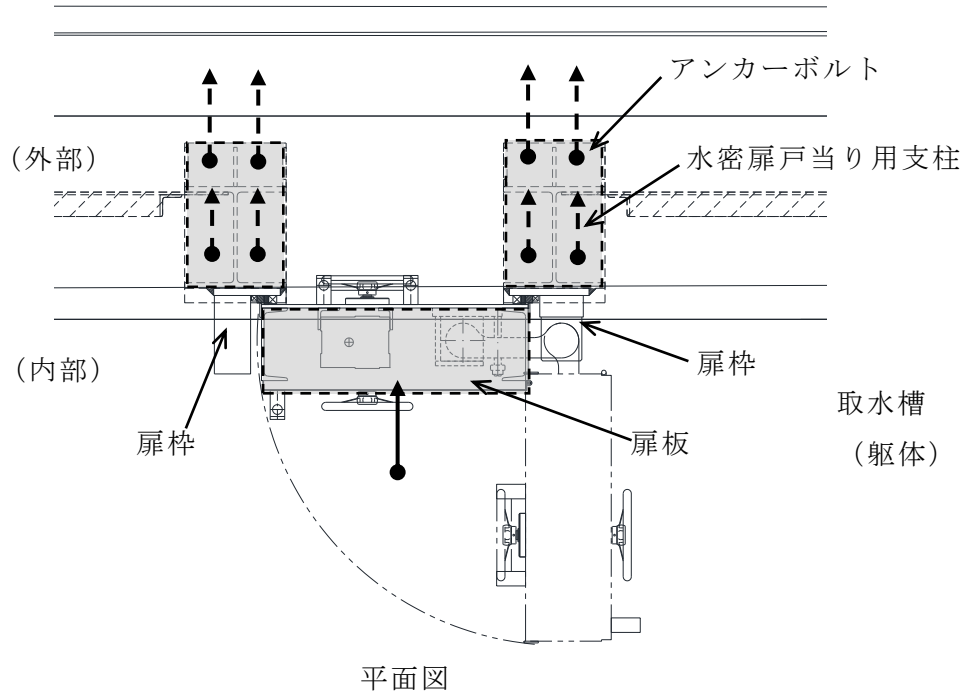


図 4.5-6 アンカーボルトに作用する荷重の例

4.5.4.2 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、許容限界以下であることを確認する。なお、水平及び鉛直方向の荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

(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

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

ここで、

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)

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

$$\sigma_{b2} = (M_2 \cdot 10^6) / Z_2$$

ここで、

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

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

ここで、

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

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

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

ここで，

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)

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

$$\tau_{x3} = (Q_{x3} \cdot 10^3) / A_{sx3}$$

$$\tau_{y3} = (Q_{y3} \cdot 10^3) / A_{sy3}$$

ここで，

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_{sx3} : 柱の強軸方向のせん断断面積 (mm²)

A_{sy3} : 柱の弱軸方向のせん断断面積 (mm²)

c. 柱に生じる軸応力度

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

ここで、

- $\sigma_{c(t)3}$: 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及び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。

$$\sigma_{bx3} / s f_{bx3} + \sigma_{by3} / s f_{by3} + \sigma_{c(t)3} / s f_{c(t)3} \leq 1.0$$

ここで、

- 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。

$$\sqrt{(\sigma_{bx3} + \sigma_{by3} + \sigma_{c(t)3})^2 + 3\tau_3^2} \leq s f_{t3}$$

ここで、

- 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及びせん断応力度を算定し、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

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

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

ここで、

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)

M_{x4} : はりの強軸回りの曲げモーメント (kN・m)

M_{y4} : はりの弱軸回りの曲げモーメント (kN・m)

Z_{x4} : はりの強軸回りの断面係数 (mm³)

Z_{y4} : 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

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

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

ここで、

τ_{x4} : はりの強軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

τ_{y4} : はりの弱軸方向のせん断応力度 (N/mm²)

Q_{x4} : はりの強軸方向のせん断力 (kN)

Q_{y4} : はりの弱軸方向のせん断力 (kN)

A_{sx4} : はりの強軸方向のせん断断面積 (mm²)

A_{sy4} : 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

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

ここで、

- $\sigma_{c(t)4}$: 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及び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。

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

ここで、

- 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。

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

ここで、

- 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。

$$(Q_5 / Q_{5a})^2 + (T_5 / T_{5a})^2 \leq 1.0$$

$$Q_5 / Q_{5a} \leq 1.0$$

ここで，

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)

$$T_5 / T_{5a} \leq 1.0$$

ここで，

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)

4.5.5 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 4.5-5 に示す。

表 4.5-5(1) 耐震評価に用いる条件 (水密扉 No. 13)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				13	
共通	k_H	—	水平震度	0.98	
	k_{UD}	—	鉛直震度	0.97	
パネル部	パネル板	G_P	kN/m	パネル板の自重	0.9240
		L_1	mm	パネル板の短辺長さ	550
		Z_1	mm ³ /m	パネル板の断面係数	24000
	パネル芯材	G_B	kN/m	パネル芯材の自重	0.8130
		L_2	mm	パネル芯材の支持スパン	330
		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	2.135
		M_{y3}	kN・m	柱の弱軸回りの曲げモーメント	5.337
		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	2.001
		Q_{y3}	kN	柱の弱軸方向のせん断力	5.003
		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	3.130
		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	0.003000
		M_{y4}	kN・m	はりの弱軸回りの曲げモーメント	0.01700
		Z_{x4}	mm ³	はりの強軸回りの断面係数	1989000
		Z_{y4}	mm ³	はりの弱軸回りの断面係数	254000
		Q_{x4}	kN	はりの強軸方向のせん断力	0.07600
		Q_{y4}	kN	はりの弱軸方向のせん断力	0.3820
		A_{Sx4}	mm ²	はりの強軸方向のせん断断面積	5184
		A_{Sy4}	mm ²	はりの弱軸方向のせん断断面積	7600
		$N_{c(t)4}$	kN	はりの圧縮又は引張軸力	0.07000
		A_{g4}	mm ²	はりの断面積	12780
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	9	
	T_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	5	

表 4.5-5(2) 耐震評価に用いる条件 (水密扉 No. 37)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				37	
共通	k_H	—	水平震度	1.2	
	k_{UD}	—	鉛直震度	0.6	
水密扉戸 当り用 支柱部	柱	M_{max1}'	kN・m	扉開放時の柱に発生する最大曲げモーメント	35.13
		w_h	kN/m	扉開放時の柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重	11.24
		L_2	m	柱全長	2.500
		L_3	m	柱に作用する単位長さあたりの水平方向の等分布荷重を集中荷重にした時の作用位置	1.250
		P_1'	kN	扉開放時の柱に作用する基準地震動 S_s による水平方向の設計地震荷重	24.36
		W	kN	扉開放時の風荷重	3.75
		G_w	kN	防水壁自重	6.0
		G_D	kN	扉開放時の水密扉自重	14.3
		w	kN/m ²	風圧力	1.71
		B	m	扉開放時の受圧幅	0.875
		V_{tmax1}'	kN	扉開放時の柱に発生する最大引張荷重	12.18
		V_1'	kN	扉開放時の柱に作用する基準地震動 S_s による鉛直方向の設計地震荷重	12.18
	S_{max1}'	kN	扉開放時の柱に発生する最大せん断力	28.11	
	W_h	kN	扉開放時の柱に作用する水平方向の荷重	28.11	
	アンカー ボルト	F_1'	kN	扉開放時のアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	53.44
N		本	アンカーボルトの総本数	4	
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_1'		kN	扉開放時のアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	7.03	

5. 評価結果

水密扉の評価結果をタイプごとに表 5-1～表 5-5 に示す。パネル部の各部材ごとに検定比が最大となる代表部材を図 5-1 に示す。水密扉及びパネル部の断面検定を行った結果，発生応力度又は荷重が許容限界値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。

表 5-1 タイプ I の断面検定結果

水密扉 No.	対象評価部位		分類	発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容限 界値 (N/mm ²)	発生応力度 ／ 許容限界値	
24	ヒンジ部	ヒンジ板	曲げ	62	235	0.27	
			せん断	4	135	0.03	
			組合せ	63	235	0.27	
		ヒンジピン	曲げ	265	345	0.77	
			せん断	22	199	0.12	
			組合せ	268	345	0.78	
		ヒンジボルト	せん断	25	375	0.07	
		カンヌキ部	カンヌキ	曲げ	43	205	0.21
				せん断	6	118	0.06
	組合せ			45	205	0.22	
	カンヌキ 受けピン		曲げ	147	345	0.43	
			せん断	11	199	0.06	
			組合せ	149	345	0.44	
	カンヌキ 受けボルト		引張	57	651	0.09	
	アンカーボルト*		せん断	4	25	0.16	
			引張	4	23	0.18	
		組合せ	—	—	0.06		

注記*：アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

表 5-2 タイプ II の断面検定結果

水密扉 No.	対象評価部位		分類	発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容限 界値 (N/mm ²)	発生応力度 / 許容限界値	
12	ヒンジ部	ヒンジ板	曲げ	31	215	0.15	
			せん断	3	124	0.03	
			組合せ	32	215	0.15	
		ヒンジピン	曲げ	48	345	0.14	
			せん断	8	199	0.05	
			組合せ	50	345	0.15	
	ヒンジボルト	せん断	18	375	0.05		
	カンヌキ 部	カンヌキ	せん断	6	20	0.30	
		カンヌキ 受けボルト	引張	19	235	0.09	
	アンカーボルト*			せん断	5.1	8	0.64
				引張	5.1	30	0.17
				組合せ	—	—	0.44
28	ヒンジ部	ヒンジ板	曲げ	69	215	0.33	
			せん断	6	124	0.05	
			組合せ	70	215	0.33	
		ヒンジピン	曲げ	166	345	0.49	
			せん断	27	199	0.14	
			組合せ	173	345	0.51	
	ヒンジボルト	せん断	51	375	0.14		
	カンヌキ 部	カンヌキ	せん断	16	20	0.80	
		カンヌキ 受けボルト	引張	49	235	0.21	
	アンカーボルト*			せん断	2	22	0.10
				引張	2	20	0.10
				組合せ	—	—	0.02

注記* : アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

表 5-3 タイプⅢの断面検定結果

水密扉 No.	対象評価部位		分類	発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容限 界値 (N/mm ²)	発生応力度 / 許容限界値	
31	ヒンジ部	ヒンジ板	曲げ	55	205	0.27	
			せん断	5	118	0.05	
			組合せ	56	205	0.28	
		ヒンジピン	曲げ	33	205	0.17	
			せん断	17	118	0.15	
			組合せ	45	205	0.22	
		ヒンジボルト	せん断	39	118	0.34	
		カンヌキ 部	カンヌキ	曲げ	445	651	0.69
				せん断	15	375	0.04
	組合せ			446	651	0.69	
	カンヌキ 受けプレート		曲げ	44	235	0.19	
			せん断	1	135	0.01	
			組合せ	45	235	0.20	

表 5-4 タイプⅣの断面検定結果(1/2)

水密扉 No.	対象評価部位		発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生応力度 / 許容限界値
35	扉板	曲げ応力度	22	235	0.10
		せん断応力度	1	135	0.01
	芯材	曲げ応力度	10	235	0.05
		せん断応力度	1	135	0.01
	外部縦柱	曲げ応力度	45	235	0.20
		せん断応力度	6	135	0.05
		組合せ応力度 (曲げ+せん断)	46	235	0.20
	水密扉戸当 り用支柱	曲げ応力度	88	235	0.38
		せん断応力度	24	135	0.18
		組合せ応力度 (上向き) (曲げ+引張)	—	—	0.38
		組合せ応力度 (下向き) (曲げ+圧縮)	—	—	0.39
		組合せ応力度 (曲げ+せん断)	96	235	0.41
		組合せ応力度 (曲げ+引張+せん断) (上向き)	98	235	0.42
		組合せ応力度 (曲げ+圧縮+せん断) (下向き)	100	235	0.43

表 5-4 タイプⅣの断面検定結果(2/2)

水密扉 No.	対象評価部位		発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	発生応力度 / 許容限界値
35	締付ボルト	軸力	4	58	0.07
	固定 プレート	曲げ応力度	19	235	0.09
		せん断応力度	2	135	0.02
		組合せ応力度 (曲げ+せん断)	19	235	0.09
	外部縦柱 固定ボルト	引張応力度	109	235	0.47
		せん断応力度	20	135	0.15
	アンカー ボルト*	引張力	62	90	0.69
		せん断力	9	51	0.18
		組合せ	—	—	0.50

注記* : アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

表 5-5 タイプVの断面検定結果(1/2)

水密扉 No.	対象評価部位		分類	発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容 限界値 (N/mm ²)	発生応力度 / 許容限界値
13	パネル部	パネル板	曲げ	2	235	0.01
		パネル 芯材	曲げ	1	235	0.01
			せん断	1	135	0.01
		柱	曲げ(強軸)	2	230	0.01
			曲げ(弱軸)	12	230	0.06
			せん断	1	135	0.01
			軸力	1	223	0.01
			組合せ (曲げ+軸力)	-	-	0.08
			組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	16	235	0.07
			はり	曲げ(強軸)	1	234
		曲げ(弱軸)		1	234	0.01
		せん断		1	135	0.01
		軸力		1	235	0.01
		組合せ (曲げ+軸力)		-	-	0.03
		組合せ (曲げ+せん断 +軸力)		4	235	0.02
		アンカー ボルト*	せん断	9	39	0.24
			引張	5	39	0.13
			組合せ (せん断+引張)	-	-	0.07

注記* : アンカーボルトの評価は単位をkNとする。

表 5-5 タイプVの断面検定結果(2/2)

水密扉 No.	対象評価部位		分類	発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容 限界値 (N/mm ²)	発生応力度 / 許容限界値
37	水密扉戸 当り用支 柱部	アンカー ボルト*	せん断	8	27	0.30
			引張	54	72	0.75
			組合せ (せん断+引張)	—	—	0.62

注記* : アンカーボルトの評価は単位を kN とする。

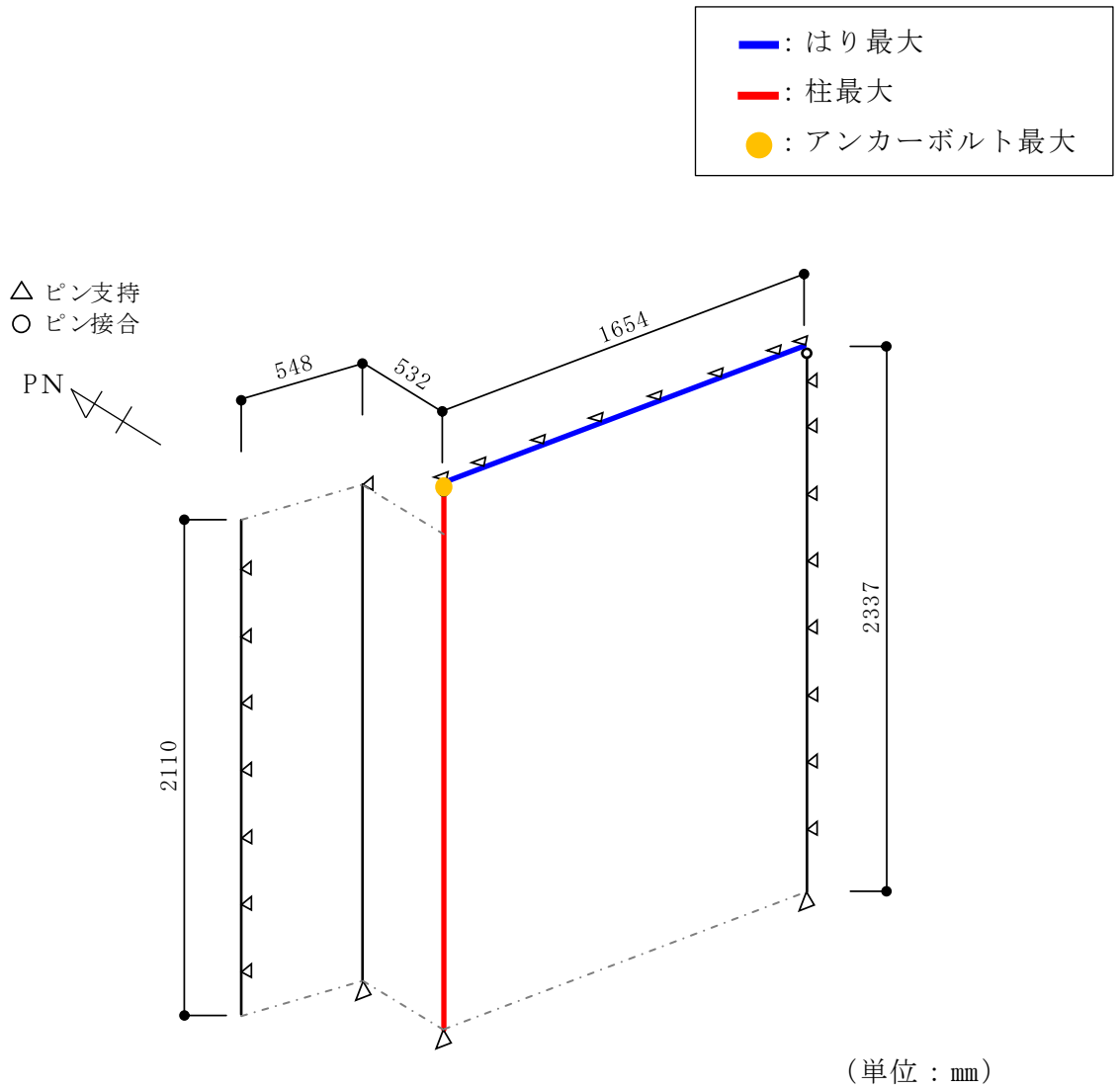


図 5-1 検定比最大箇所 (パネル部)

VI-2-10-2-10 床ドレン逆止弁の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	4
2.6 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	10
4.3 固有周期の計算結果	11
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重及び荷重の組合せ	12
5.2.1 荷重の設定	12
5.2.2 荷重の組合せ	12
5.3 許容応力	13
5.4 設計用地震力	15
5.5 計算方法	16
5.6 計算条件	21
6. 機能維持評価	27
7. 評価結果	27

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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床 dren 逆止弁が設計用地震力（基準地震動 S_s ）に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

床 dren 逆止弁は、浸水防護施設として S クラス及び C クラス施設に分類される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価及び機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

床 dren 逆止弁の設置位置を表 2-1 に示す。

表 2-1 床 dren 逆止弁の設置位置

機器名称	設置場所	設置階	高さ (m)
床 dren 逆止弁	取水槽	—	EL 1.1
	タービン建物	地下 1 階	EL 2.0
	原子炉建物	地下 2 階	EL 1.3 EL 2.8

2.2 構造計画

床ドレン逆止弁は、フロート式の逆止弁であり、配管内で逆流が発生するとフロートが押し上げられ、弁座に密着することで止水する。床ドレン逆止弁の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 構造計画

計画の概要			概略構造図
型式	基礎・支持構造	主体構造	
80A 型 (ボルト取付式)	弁本体を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	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。	
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

床ドレン逆止弁の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す床ドレン逆止弁の構造を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、床ドレン逆止弁の機能維持評価は、床ドレン逆止弁の固有周期を考慮して機能維持評価用加速度を設定し、設定した機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。なお、機能確認済加速度には、正弦波加振試験において、止水性の機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。床ドレン逆止弁の耐震評価フローを図2-1に示す。

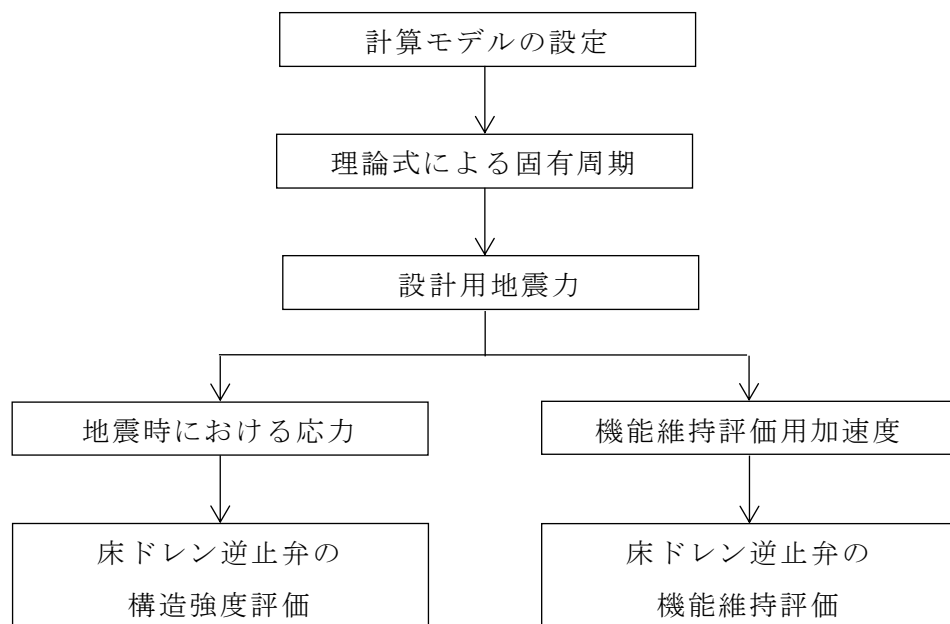


図2-1 床ドレン逆止弁の耐震評価フロー

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応力評価に用いる記号を表 2-3 及び表 2-4 に示す。

表 2-3 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	—
y _g	フロートガイドの図心 G と X 軸の距離	mm

表 2-4 床ドレン逆止弁の応力評価に用いる記号 (1/2)

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
A_1	弁本体の断面積	mm^2
A_2	フロートガイドの最小断面積	mm^2
A_3	基礎ボルトの断面積	mm^2
A_4	配管の最小断面積	mm^2
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_1	弁本体の外径	mm
D_2	フロートガイドの最小直径	mm
D_3	配管の外径	mm
D_P	基礎ボルトの水平間距離	mm
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 (=9.80665)	m/s^2
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 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_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
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
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	フロートガイドの本数	—
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
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

表 2-4 床ドレン逆止弁の応力評価に用いる記号 (2/2)

記号	記号の説明	単位
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
D	固定荷重	N
W_{d1}	弁本体の常時荷重	N
W_{d2}	フロートガイドの常時荷重	N
σ_{bH}	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 本当たりに加わる引張応力	MPa
σ_{bV}	鉛直方向地震荷重により基礎ボルト 1 本当たりに加わる引張応力	MPa
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}	弁本体に加わる引張応力	MPa
σ_{V2}	フロートガイドの最小断面積に加わる引張応力	MPa
σ_{V3}	配管の最小断面積に加わる引張応力	MPa
τ_3	基礎ボルト 1 本当たりに加わるせん断応力	MPa
f_{t0}	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_{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
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 2-5 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	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	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

床ドレン逆止弁の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる弁本体、フロートガイド、基礎ボルト及び取付部について実施する。床ドレン逆止弁の評価部位については、表 2-2 の概略構造図に示す。

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 つの断面をもつはりの組合せとして設定する。

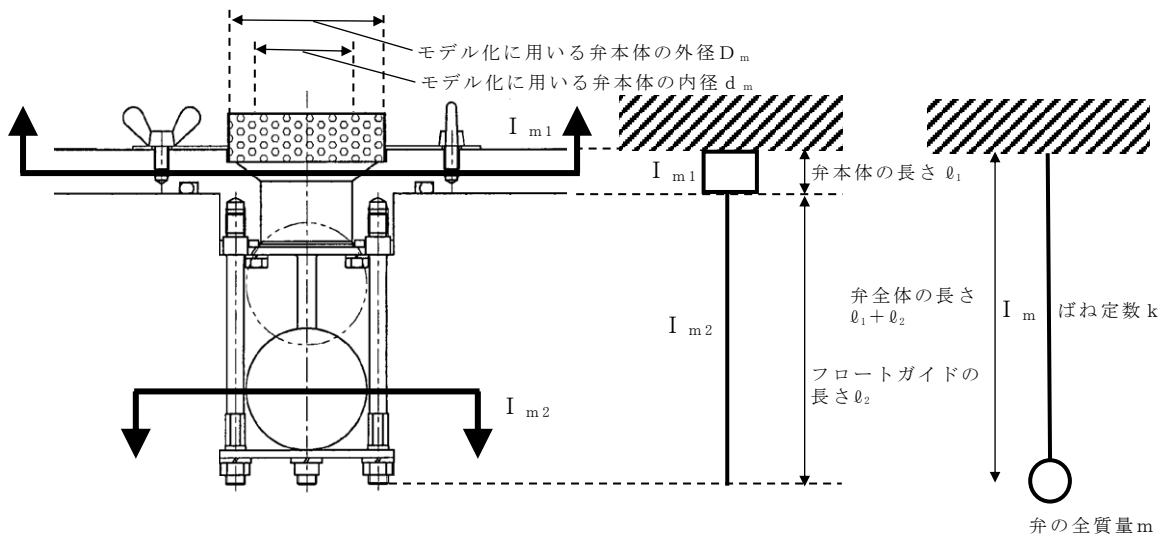


図 4-1 床ドレン逆止弁のモデル化の概略

(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。

$$T = \frac{1}{f} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{(\ell_1 + \ell_2)^3} \times 10^3 \dots\dots\dots (4.1.3)$$

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。

$$I_{m1} = \left(D_m^4 - d_m^4 \right) \cdot \frac{\pi}{64} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

- 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。

$$I_a = D_{fm}^4 \cdot \frac{\pi}{64} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

$$I_{m2} = 2 \cdot I_a + (n_f - 2) \cdot \left(I_a + (y_g)^2 \cdot A \right) \dots\dots\dots (4.1.6)$$

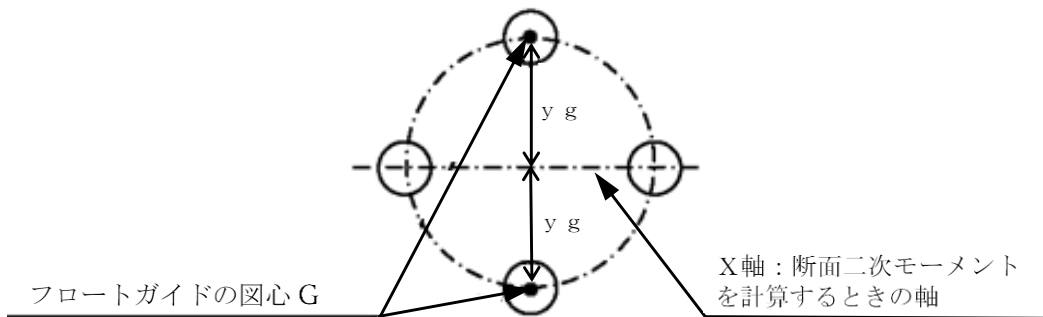


図 4-2 フロートガイドの断面 (4本の例)

- 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。

$$I_m = \frac{(\ell_1 + \ell_2)^3 \cdot I_{m1} \cdot I_{m2}}{I_{m1} \cdot \ell_2^3 + I_{m2} \cdot (\ell_1^3 + 3\ell_1 \cdot \ell_2^2 + 3\ell_1^2 \cdot \ell_2)} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

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 (-)
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 (-)
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 (-)
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

4.1(1)項 a.～c.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は床ドレン逆止弁に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

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。

$$W_{d1} = m_1 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.2.1.1)$$

$$W_{d2} = m_2 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.2.1.2)$$

(2) 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s 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。

$$F_{H1} = m_1 \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.2.1.3)$$

$$F_{H2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.2.1.4)$$

$$F_{V1} = m_1 \cdot C_V \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.2.1.5)$$

$$F_{V2} = m_2 \cdot C_V \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.2.1.6)$$

5.2.2 荷重の組合せ

床ドレン逆止弁の耐震計算にて考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	荷重の組合せ*1,*2	許容応力状態
浸水防護施設 (浸水防止設備)	床ドレン逆止弁	S, C	D + S_s	Ⅲ _A S

注記*1: Dは固定荷重, S_s は基準地震動による地震荷重を示す。

*2: 固定荷重 (D) 及び基準地震動 (S_s) の組合せが荷重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を表 5-2 に，許容応力評価条件を表 5-3 にそれぞれ示す。また，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を表 5-4 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応力

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		
	引 張	曲 げ	組合せ* ³	引 張	せん断	組合せ* ⁴
Ⅲ _A S* ⁵	1.2・S	1.2・S	1.2・S	1.5・f _t	1.5・f _s	f _{t s}

注記*1：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：引張と曲げの組合せである。

*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 $f_{t s}$ は，次のいずれか小さい方の値

$$f_{t s} = 1.4 \cdot f_{t o} - 1.6 \cdot \tau$$

$$f_{t s} = f_{t o}$$

*5：地震後，津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し，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，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 (1/2)

許容 応力 状態	型式	評価部位	許容応力 (ボルト以外)			許容応力 (ボルト)		
			一次応力			一次応力		
			引 張 1.2・S (MPa)	曲 げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)	引 張 1.5・f _t (MPa)	せん断 1.5・f _s (MPa)	組合せ f _{ts} (MPa)
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

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（2/2）

許容 応力 状態	型式	評価部位	許容応力 (ボルト以外)			許容応力 (ボルト)		
			一次応力			一次応力		
			引 張 1.2・S (MPa)	曲 げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)	引 張 1.5・f _t (MPa)	せん断 1.5・f _s (MPa)	組合せ f _{t s} (MPa)
Ⅲ _A S	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	—	—	—

5.4 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。基準地震動 S_s 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 5-5 設計用地震力

地震動	据付場所及び 床面高さ* ¹ (m)	地震による設計震度* ²	
		水平方向 C _H	鉛直方向 C _V
基準地震動 S _s	取水槽 EL 1.1	1.86* ³	1.41* ³
	タービン建物 EL 2.0		
	原子炉建物 EL 1.3		
	原子炉建物 EL 2.8		

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（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

5.5 計算方法

(1) 弁本体

弁本体の発生応力を算出する。弁本体の応力評価に用いる断面積 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。

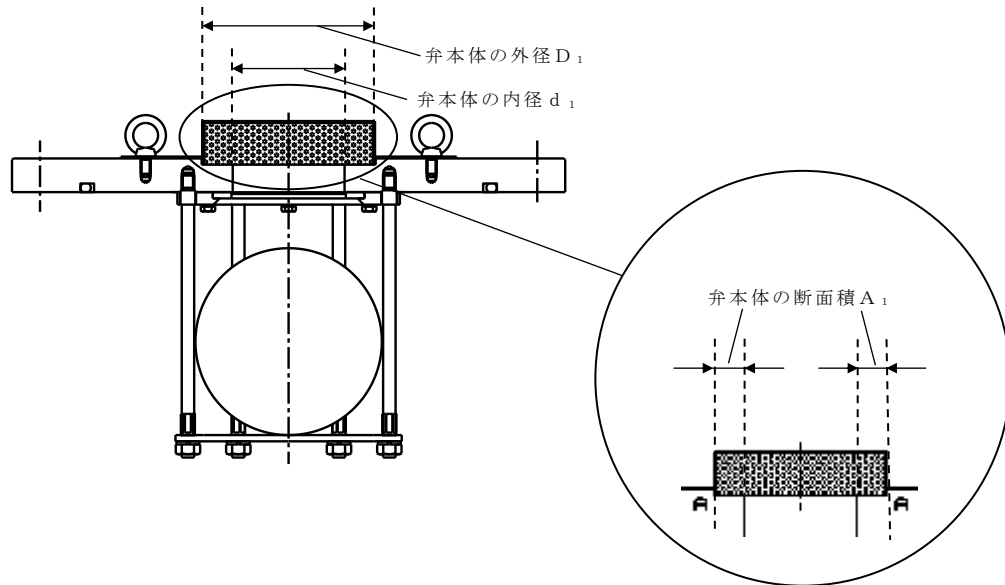


図 5-1 床ドレン逆止弁本体の構造図（300A 型（ボルト取付式）の例）

a. 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、弁本体に加わる引張応力 σ_{V1} を以下の式より算出する。

$$\sigma_{V1} = \frac{W_{d1} + F_{V1}}{A_1} \dots\dots\dots (5.5.1)$$

b. 水平応答加速度負荷時

弁本体の最下端に集中荷重が負荷された片持ちはりとして、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。

$$M_1 = F_{H1} \cdot L_1 \dots\dots\dots (5.5.2)$$

$$I_1 = \left(D_1^4 - d_1^4 \right) \cdot \frac{\pi}{64} \dots\dots\dots (5.5.3)$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot \left(\frac{D_1}{2} \right)}{I_1} \dots\dots\dots (5.5.4)$$

(2) フロートガイド

フロートガイドの応力評価に用いるフロートガイドの最小断面積 A_2 は、図 5-2 に示すフロートガイドの最小直径 D_2 から求める。フロートガイドの最小断面積 A_2 はフロートガイドのうち最も肉厚が薄い断面を適用する。

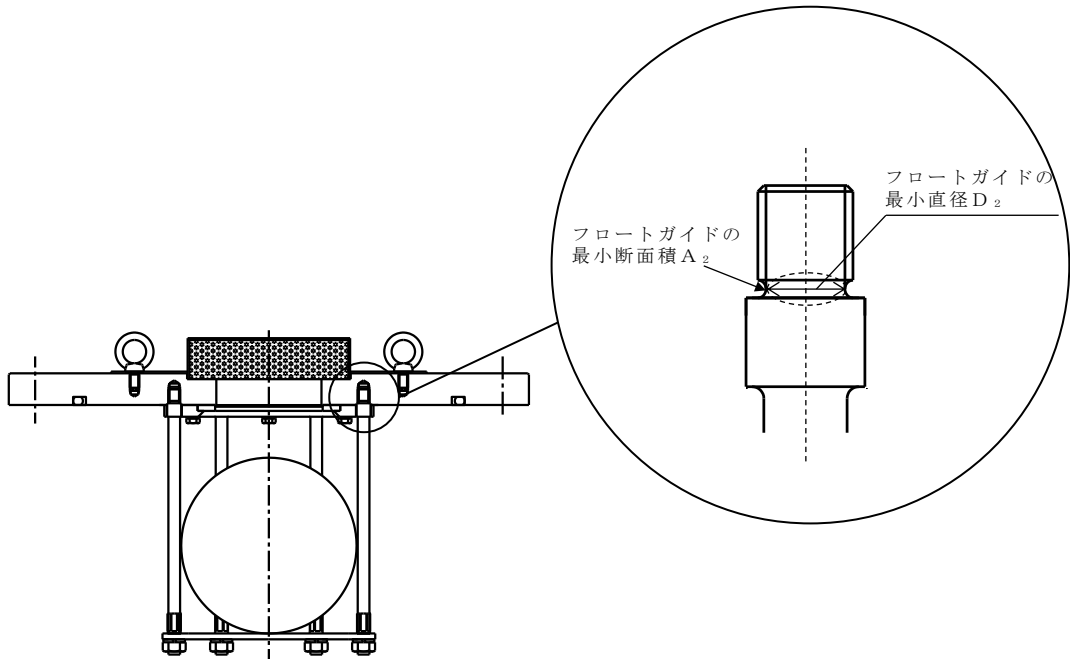


図 5-2 フロートガイドの応力評価に用いる断面積（300A 型（ボルト取付式）の例）

a. 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、フロートガイドの最小断面積に加わる引張応力 σ_{v2} を以下の式より算出する。

$$\sigma_{v2} = \frac{W_{d2} + F_{v2}}{A_2} \dots\dots\dots (5.5.5)$$

b. 水平応答加速度負荷時

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はりとして、水平応答加速度にフロートガイドの最小断面積に加わる曲げ応力 σ_{H2} を以下の式より算出する。

$$M_2 = F_{H2} \cdot L_2 \quad \dots\dots\dots (5.5.6)$$

$$I_2 = D_2^4 \cdot \frac{\pi}{64} \quad \dots\dots\dots (5.5.7)$$

$$\sigma_{H2} = \frac{M_2 \cdot \left(\frac{D_2}{2}\right)}{I_2} \quad \dots\dots\dots (5.5.8)$$

(3) 基礎ボルト

a. 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、基礎ボルト 1 本あたりに加わる引張応力 σ_{bV} を以下の式より算出する。

$$\sigma_{bV} = \frac{F_{V1} + W_{d1}}{A_3 \cdot n} \quad \dots\dots\dots (5.5.9)$$

b. 水平応答加速度負荷時

(a) せん断応力

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。

$$\tau_3 = \frac{F_{H1}}{A_3 \cdot n} \quad \dots\dots\dots (5.5.10)$$

(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_{bH} を以下の式より算出する。図5-3にモーメントによる引張応力の作用イメージを示す。

$$\sigma_{bH} = \frac{F_{H1} \cdot L_1}{D_P \cdot A_3} \dots\dots\dots (5.5.11)$$

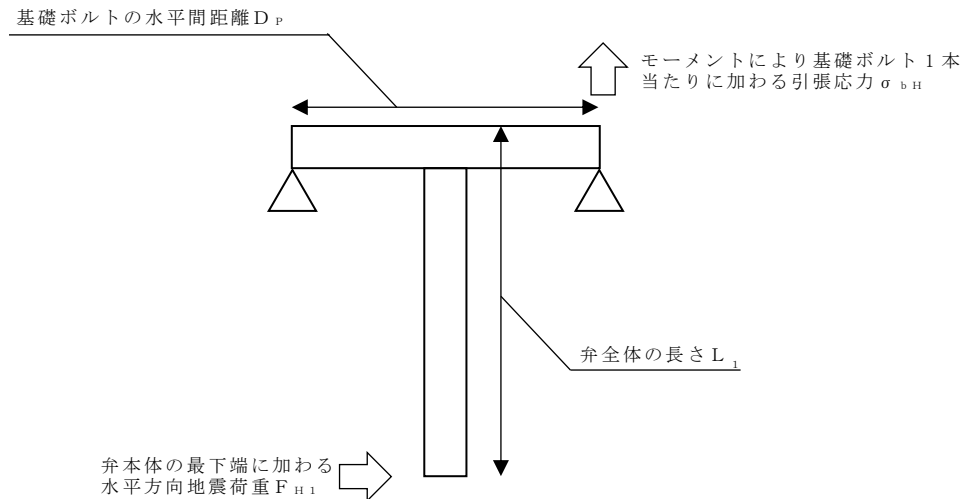


図5-3 モーメントによる引張応力の作用イメージ

(4) 取付部

a. 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、取付部の配管の最小断面積に加わる引張応力 σ_{v3} を以下の式より算出する。配管の最小断面積 A_4 は、ねじ山がかみ合うことにより荷重は分散されるが、図5-4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_3 を計算に用いる。

$$\sigma_{v3} = \frac{W_{d1} + F_{v1}}{A_4} \dots\dots\dots (5.5.12)$$

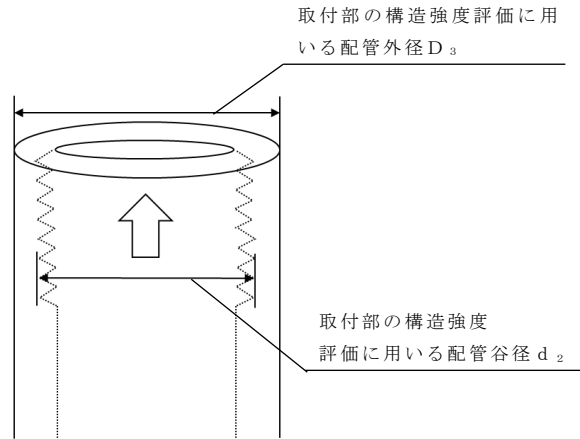


図 5-4 取付部の構造強度評価に用いる断面積

b. 水平応答加速度負荷時

水平応答加速度により，床ドレン逆止弁取付部の配管に加わる曲げ応力 σ_{H3} を以下の式より算出する。取付部境界から弁全体の最下端までの長さ L_3 について図 5-5 に示す。

$$M_3 = F_{H1} \cdot L_3 \quad \dots\dots\dots (5.5.13)$$

$$I_3 = \left(D_3^4 - d_2^4 \right) \cdot \frac{\pi}{64} \quad \dots\dots\dots (5.5.14)$$

$$\sigma_{H3} = \frac{M_3 \cdot \left(\frac{D_3}{2} \right)}{I_3} \quad \dots\dots\dots (5.5.15)$$

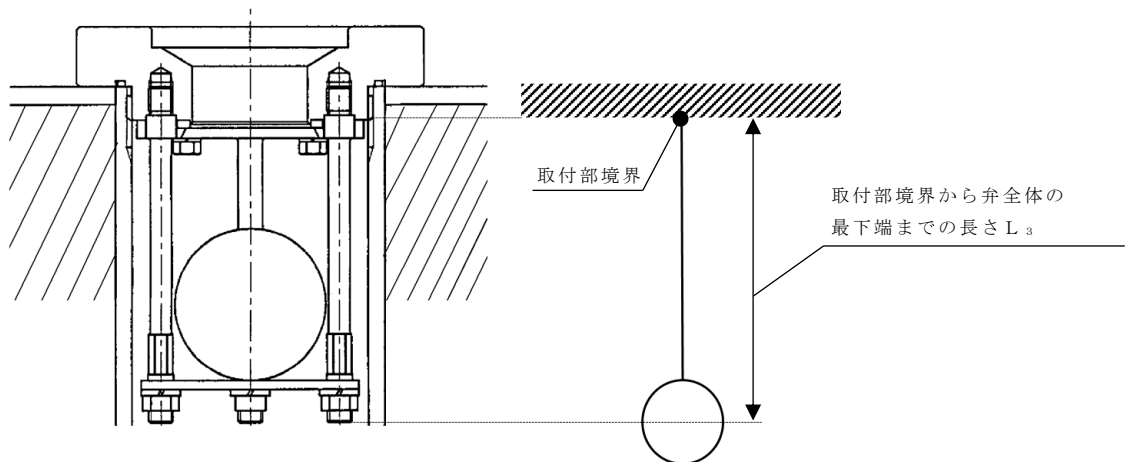


図 5-5 取付部境界から弁全体の最下端までの長さ

5.6 計算条件

床ドレン逆止弁の応力評価に用いる計算条件を表 5-6～表 5-8 に示す。

表 5-6 80A 型（ボルト取付式）の応力評価に用いる計算条件(1/2)

弁本体の材質	弁本体の断面積 A_1 (mm^2)	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SUS316L	2.937×10^3	5	139

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)
72	38

フロートガイドの材質	フロートガイドの最小断面積 A_2 (mm^2)	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)
SUS316L	34.21	0.05	102

フロートガイドの最小直径 D_2 (mm)	フロートガイドの本数 n_f (-)
6.6	4

表 5-6 80A 型 (ボルト取付式) の応力評価に用いる計算条件 (2/2)

基礎ボルトの材質	基礎ボルトの 断面積 A_3 (mm^2)	基礎ボルトの本数 n (-)	基礎ボルトの 水平間距離 D_P (mm)
SUS316L	113.1	2	260

重力加速度 g (m/s^2)
9.80665

表 5-7 300A 型 (ボルト取付式) の応力評価に用いる計算条件 (1/2)

弁本体の材質	弁本体の断面積 A_1 (mm^2)	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SUS316L	1.965×10^4	35	242

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)
182	90

フロートガイドの材質	フロートガイドの最小断面積 A_2 (mm^2)	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)
SUS316L	55.42	0.15	215

フロートガイドの最小直径 D_2 (mm)	フロートガイドの本数 n_f (-)
8.4	6

表 5-7 300A 型 (ボルト取付式) の応力評価に用いる計算条件 (2/2)

基礎ボルトの材質	基礎ボルトの 断面積 A_s (mm^2)	基礎ボルトの本数 n (-)	基礎ボルトの 水平間距離 D_P (mm)
SUS316L	314.2	8	400

重力加速度 g (m/s^2)
9.80665

表 5-8 80A 型（ねじ込み取付式）の応力評価に用いる計算条件(1/2)

弁本体の材質	弁本体の断面積 A_1 (mm^2)	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SUS303	2.937×10^3	2.19	130

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)
72	38

フロートガイドの材質	フロートガイドの最小断面積 A_2 (mm^2)	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)
SUS304	34.21	0.05	110

フロートガイドの最小直径 D_2 (mm)	フロートガイドの本数 n_f (-)
6.6	4

表 5-8 80A 型（ねじ込み取付式）の応力評価に用いる計算条件 (2/2)

配管の材質	配管の最小断面積 A_4 (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_3 (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

6. 機能維持評価

床ドレン逆止弁の固有周期を考慮して、地震時における床ドレン逆止弁の機能維持評価用加速度を設定し、設定した機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、正弦波加振試験において、止水性の機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。床ドレン逆止弁の機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

具体的な機能維持確認として、床ドレン逆止弁に対して、正弦波により水平方向及び鉛直方向の加振試験を実施後、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」に示す津波による溢水又は内部溢水を踏まえ、それらの浸水後の水位を上回る圧力として 0.30MPa の水圧にて漏えい試験を実施し、漏えい量が許容漏えい量以下であることを確認した。本漏えい試験の結果により、床ドレン逆止弁の地震時及び地震後の機能維持を確認した。

表 6-1 床ドレン逆止弁の機能確認済加速度

評価部位	機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
	水平方向	鉛直方向
床ドレン逆止弁	6.0	6.0

7. 評価結果

床ドレン逆止弁の耐震評価結果を以下に示す。(1)及び(2)に示す評価結果から、床ドレン逆止弁が耐震性を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

基準地震動 S_s に対する評価部位の応力評価結果を表 7-1 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 7-1 基準地震動 S_s に対する評価部位の応力評価

(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	引張	1	133
		曲げ	1	133
		組合せ*1	1	133
	フロートガイド	引張	1	133
		曲げ	4	133
		組合せ*1	4	133
	基礎ボルト	引張*2	1	105
		せん断	1	80
300A 型 (ボルト取付式)	弁本体	引張	1	133
		曲げ	1	133
		組合せ*1	1	133
	フロートガイド	引張	1	133
		曲げ	11	133
		組合せ*1	11	133
	基礎ボルト	引張*2	2	105
		せん断	1	80
80A 型 (ねじ込み取付式)	弁本体	引張	1	154
		曲げ	1	154
		組合せ*1	1	154
	フロートガイド	引張	1	154
		曲げ	4	154
		組合せ*1	4	154
	取付部	引張	1	154
		曲げ	1	154
		組合せ*1	1	154

注記*1：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、 $\sigma_{bH} + \sigma_{bV}$ の和

(2) 機能維持評価結果

床ドレン逆止弁の機能維持評価結果を表 7-2 に示す。機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることから、床ドレン逆止弁が機能維持することを確認した。

表 7-2 床ドレン逆止弁の機能維持評価結果

評価部位	設置床 (m)	据付場所	機能確認済加速度との比較			
			水平加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			機能維持 評価用 加速度 ^{*1}	機能確認済 加速度	機能維持 評価用 加速度 ^{*1}	機能確認済 加速度
床ドレン 逆止弁	EL 1.1	取水槽	1.55 ^{*2}	6.0	1.17 ^{*2}	6.0
	EL 2.0	タービン建物				
	EL 1.3	原子炉建物				
	EL 2.8	原子炉建物				

注記*1: 機能維持評価用加速度は、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、最大となる加速度を設定した。

*2: 設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

VI-2-10-2-11 隔離弁，機器・配管の耐震性についての計算書

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 構造計画	2
2.3 固有値解析及び構造強度評価	4
2.3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	4
2.3.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
2.3.3 解析モデル及び諸元	9
2.3.4 固有周期	9
2.3.5 設計用地震力	11
2.3.6 計算方法	12
2.3.7 計算条件	13
2.3.8 応力の評価	14
2.4 評価結果	15
2.4.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
3. 循環水ポンプ	27
3.1 概要	27
3.2 一般事項	27
3.2.1 構造計画	27
3.3 固有値解析及び構造強度評価	29
3.3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	29
3.3.2 荷重の組合せ及び許容応力	29
3.3.3 解析モデル及び諸元	34
3.3.4 固有周期	34
3.3.5 設計用地震力	39
3.3.6 計算方法	41
3.3.7 計算条件	42
3.3.8 応力の評価	43
3.4 評価結果	44
3.4.1 設計基準対象施設としての評価結果	44

4. 隔離弁, 配管	69
4.1 概要	69
4.2 配置概要, 概略系統図及び鳥瞰図	70
4.2.1 配置概要	70
4.2.2 概略系統図	71
4.2.3 鳥瞰図	76
4.3 計算条件	78
4.3.1 計算方法	78
4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	79
4.3.3 設計条件	81
4.3.4 材料及び許容応力	88
4.3.5 設計用地震力	89
4.4 解析結果及び評価	90
4.4.1 固有周期及び設計震度	90
4.4.2 評価結果	96

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、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

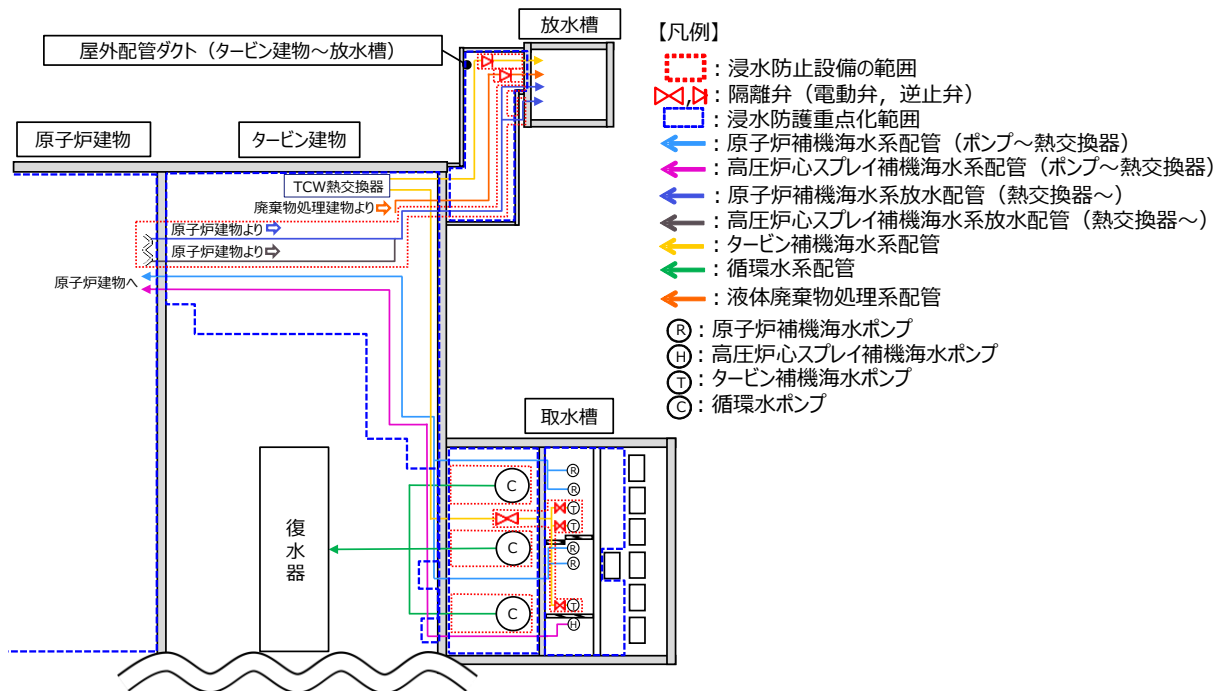


図1-1 隔離弁、機器・配管の概要図

2. タービン補機海水ポンプ

2.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、タービン補機海水ポンプが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説明するものである。

タービン補機海水ポンプは、設計基準対象施設のうち浸水防止設備としてSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

なお、タービン補機海水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、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」に基づく評価を基本とし、浸水防止設備としての評価部位も評価を実施する。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

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>

2.3 固有値解析及び構造強度評価

2.3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

タービン補機海水ポンプの固有値解析及び構造強度評価は、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」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平方向はスペクトルモーダル解析、鉛直方向は静的解析を用いて行う。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、S R S S法を適用する。タービン補機海水ポンプは浸水防止設備であるため、評価部位としてディスチャージケーシングの評価を実施する。ディスチャージケーシングの耐震計算方法は上記方針によらないため、「2.3.6 計算方法」に基づき実施する。

2.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

タービン補機海水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2.3-1 に示す。

(2) 許容応力

タービン補機海水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2.3-2 及び表 2.3-3 のとおりとする。

(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 2.3-4 に示す。

表 2.3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

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*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
				$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他のポンプの支持構造物を含む。

表 2.3-2 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
ⅢA S	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。	左欄の 1.5 倍の値	[*] S_d 又は S_s 地震動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	
ⅣA S	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値		

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。

表 2.3-3 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
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A 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 2.3-4 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 (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
コラムパイプ		最高使用温度	30	—	245	400	—
基礎ボルト		周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	30	—	205	520	205
原動機取付ボルト		周囲環境温度	<input type="text"/>	—	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* :

2.3.3 解析モデル及び諸元

- (1) モデル化に際しては、シャフト及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体積質量を考慮する。
- (2) 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耐震性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) 解析コードは、「MSC NASTRAN」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。

2.3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 2.3-5、振動モード図を図 2.3-1 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 2.3-5 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	0.228	1.995	1.995	—

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。

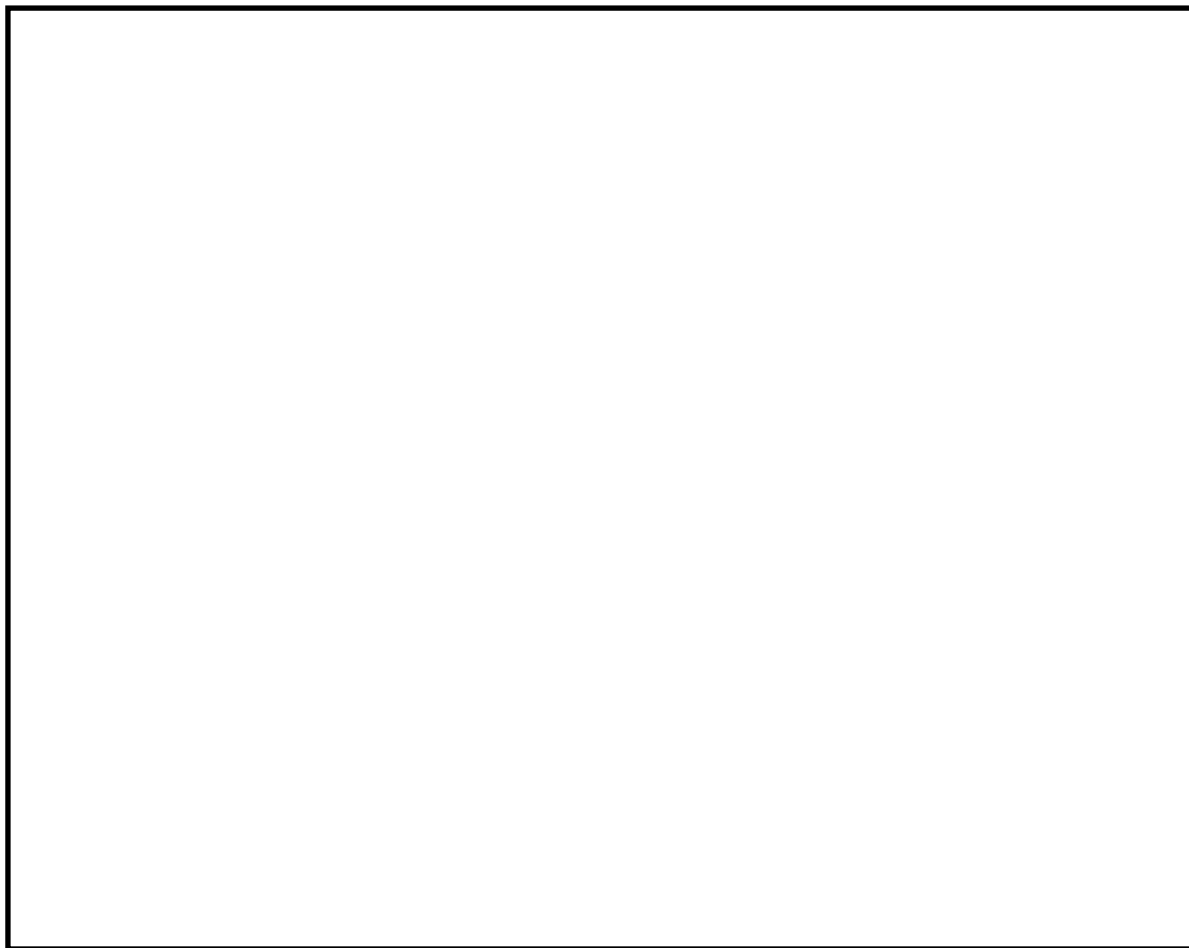


図 2.3-1 振動モード図 (1次モード 水平方向 0.228s)

2.3.5 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 2.3-6 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」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 2.3-6 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：0.228 ^{*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 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}	応答水平震度 ^{*5}		応答鉛直 震度 ^{*5}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.228	4.16	5.01	—	4.16	5.01	—
動的震度 ^{*6, *7}		1.41	1.67	1.28	1.41	1.67	1.28
静的震度 ^{*8}		0.58	0.58	0.29	—	—	—

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Ⅱ（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：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度及び設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*8：3.6・C_i 及び 1.2・C_v より定めた震度

2.3.6 計算方法

(1) 記号の説明

タービン補機海水ポンプのディスチャージケーシングの応力評価に使用する記号を表 2.3-7 に示す。

表 2.3-7 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _d	ディスチャージケーシングの断面積	mm ²
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 _d	ディスチャージケーシングの内径	mm
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
M _d	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}	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 _d	ポンプ床下部質量	kg
P _d	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
S _{d a}	ディスチャージケーシングの許容応力	MPa
t _d	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
Z _d	ディスチャージケーシングの断面係数	mm ³
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 _{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
σ _{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
σ _{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
σ _{d C V 2}	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 _{d Z P}	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
σ _{d θ 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

(2) 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。

a. ポンプ振動による震度により生じる水平方向の応力

$$\sigma_{dCH1} = \frac{M_{dCp}}{Z_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.1)$$

b. 水平方向地震による応力

$$\sigma_{dCH2} = \frac{M_d}{Z_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.2)$$

c. 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

$$\sigma_{dCV1} = \frac{(1+C_p) \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.3)$$

d. 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV2} = \frac{C_v \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.4)$$

e. 内圧による応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.5)$$

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.6)$$

以上の a. ～e. の各応力から，一次一般膜応力は

$$\sigma_d = \text{Max} \left(\sigma_{dCH1} + \sigma_{dCV1} + \sqrt{(\sigma_{dCH2})^2 + (\sigma_{dCV2})^2} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P} \right) \dots\dots\dots (2.3.6.2.7)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.3.7 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。

2.3.8 応力の評価

(1) ディスチャージケーシングの応力評価

2.3.6 (2)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 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s 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。	$0.6 \cdot S_u$

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。

2.4 評価結果

2.4.1 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耐震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耐震性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 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	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	0.228	0.05 以下	C _H =1.67*2 又は*3	C _V =1.28*2	C _H =1.67*4 又は*5	C _V =1.28*4	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）及び静的震度を上回る設計震度
- *3：設計用床応答スペクトルⅡ（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
- *4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度
- *5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）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) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					8	8	—	198*1	504*1	205	205	205
ポンプ取付ボルト (i=2)					12	12	2.334×10 ⁶	205*2	520*2	205	205	205
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	2.334×10 ⁶	198*1	504*1	205	205	205

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出

(3) 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

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	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) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		M _{C_pi} (N・mm)	F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)							
ポンプ取付ボルト (i=2)							
原動機取付ボルト (i=4)							

(2) コラムパイプに作用する力

(単位：N・mm)

部材	M		M _{C_p}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
コラムパイプ			

(3) 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_p}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
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	$T_{H1}=0.228$
鉛直方向	$T_{V1}=0.05$ 以下

1.4.2 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 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	$\sigma_{b1}=73$	$f_{ts1}=153^*$	$\sigma_{b1}=73$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{b1}=23$	$f_{sb1}=118$	$\tau_{b1}=23$	$f_{sb1}=118$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	$\sigma_{b2}=62$	$f_{ts2}=153^*$	$\sigma_{b2}=62$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=118$
原動機取付ボルト (i=4)		引張	$\sigma_{b4}=37$	$f_{ts4}=153^*$	$\sigma_{b4}=37$	$f_{ts4}=153^*$
		せん断	$\tau_{b4}=22$	$f_{sb4}=118$	$\tau_{b4}=22$	$f_{sb4}=118$

注記*： $f_{tsi}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{toi}-1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$
 すべて許容応力以下である。

1.4.3 コラムパイプの応力 (単位：MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma=150$ $S_a=240$
		基準地震動 S _s	$\sigma=150$ $S_a=240$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 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	
		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 又は静的震度	$\sigma_d=164$ $S_{da}=240$
		基準地震動 S _s	$\sigma_d=164$ $S_{da}=240$

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 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

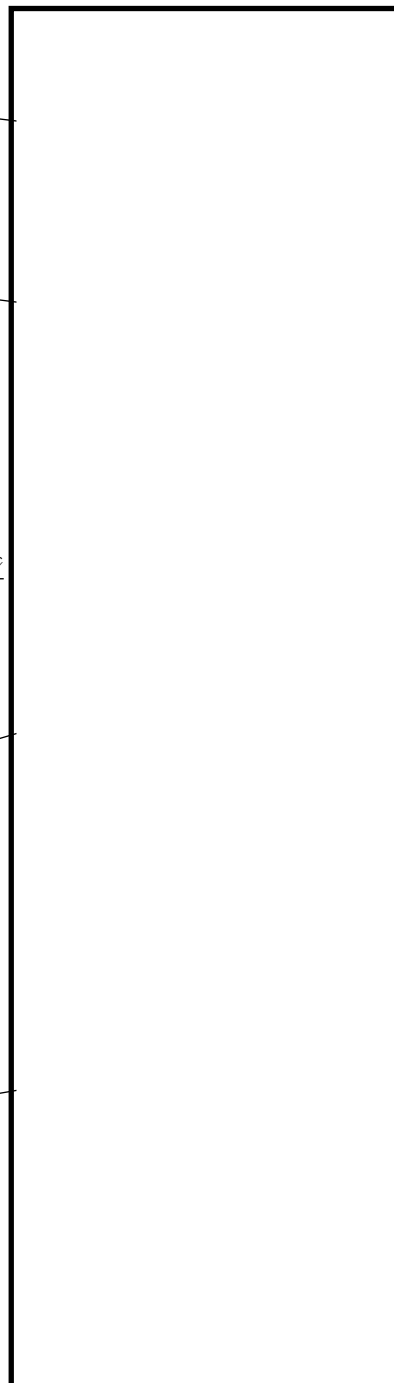
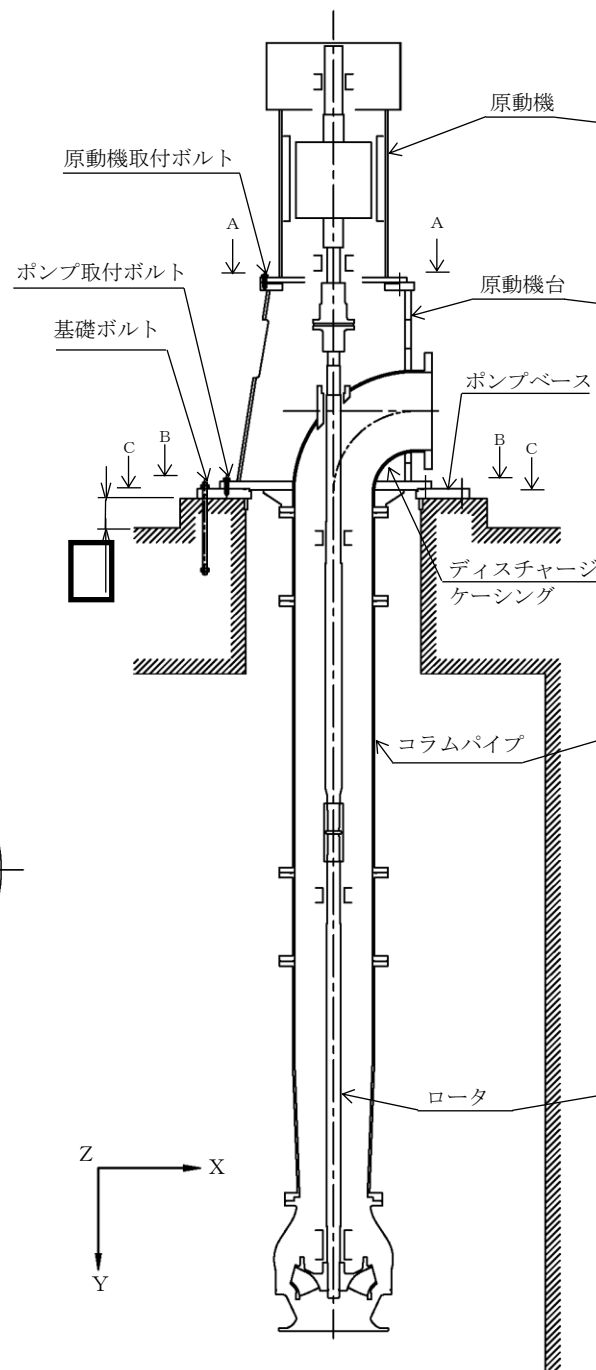
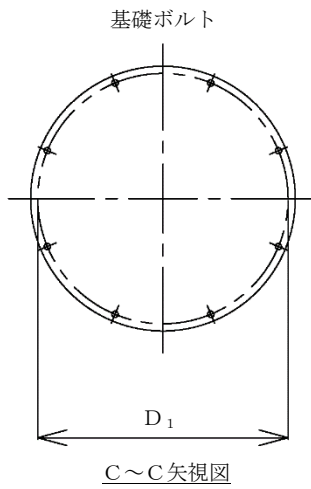
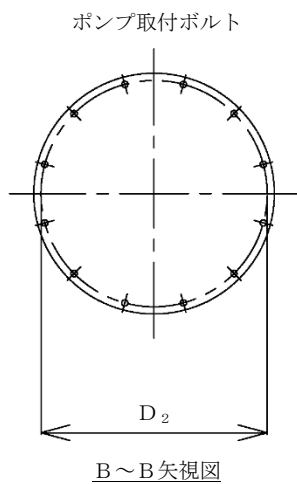
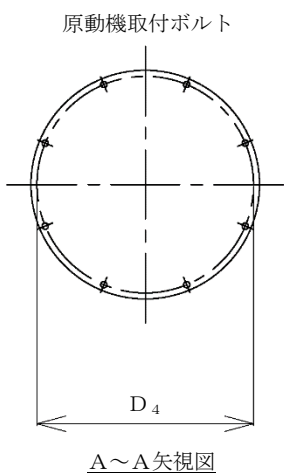
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(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-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、循環水ポンプが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説明するものである。

循環水ポンプは、設計基準対象施設のうち浸水防止設備としてSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

なお、循環水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、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」に基づく評価を基本とし、浸水防止設備としての評価部位も評価を実施する。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

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。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>(単位: mm)</p>

3.3 固有値解析及び構造強度評価

3.3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

循環水ポンプの固有値解析及び構造強度評価は、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」に記載の耐震計算方法に基づき行う。ただし、解析モデルにおいてディスチャージケーシングに接続される短管の剛性を考慮することとしており、短管の剛性が NS 方向及び EW 方向で異なることから、各方向で異なるモデルにより耐震評価を行う。なお、水平方向はスペクトルモーダル解析、鉛直方向は静的解析を用いて行う。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、S R S S法を適用する。

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及びポンプ振動によりポンプベースに作用する荷重は、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構造強度評価を行う。

循環水ポンプは浸水防止設備であるため、評価部位としてディスチャージケーシングの評価を実施する。リブ溶接部及びディスチャージケーシングの耐震計算方法は上記方針によらないため、「3.3.6 計算方法」に基づき実施する。

3.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

循環水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3.3-1 に示す。

(2) 許容応力

循環水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3.3-2 及び表 3.3-3 のとおりとする。

(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 3.3-4 に示す。

表 3.3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

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*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
				$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他のポンプの支持構造物を含む。

表 3.3-2 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
ⅢA S	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 $1.2 \cdot S_y$ との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	* S_d 又は S_s 地震動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	
ⅣA S	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値		

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。

表 3.3-3 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
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A 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 3.3-4 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 (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
コラムパイプ		最高使用温度	30	—	235	400	—
基礎ボルト		周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	30	—	205	520	205
ディスチャージケーシング		最高使用温度	30	—	235	400	—

注記* :

3.3.3 解析モデル及び諸元

- (1) モデル化に際しては、ロータ、保護管及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体积質量を考慮する。
- (2) 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【循環水ポンプの耐震性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) 解析コードは、「MSC NASTRAN」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。

3.3.4 固有周期

固有値解析のうち NS 方向モデルの結果を表 3.3-5 に、EW 方向モデルの結果を表 3.3-6 に示す。振動モード図のうち NS 方向モデルの図を図 3.3-1、図 3.3-2 及び図 3.3-3 に、EW 方向モデルの図を図 3.3-4、図 3.3-5 及び図 3.3-6 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 3.3-5 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	-9.020	—	—
2 次	水平	0.129	3.091	—	—
3 次	水平	0.073	-1.920	—	—
4 次	水平	0.059	-0.550	—	—
5 次	水平	0.051	-0.066	—	—
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 3.3-1 振動モード図 (NS 方向モデル) (1 次モード 水平方向 0.138s)

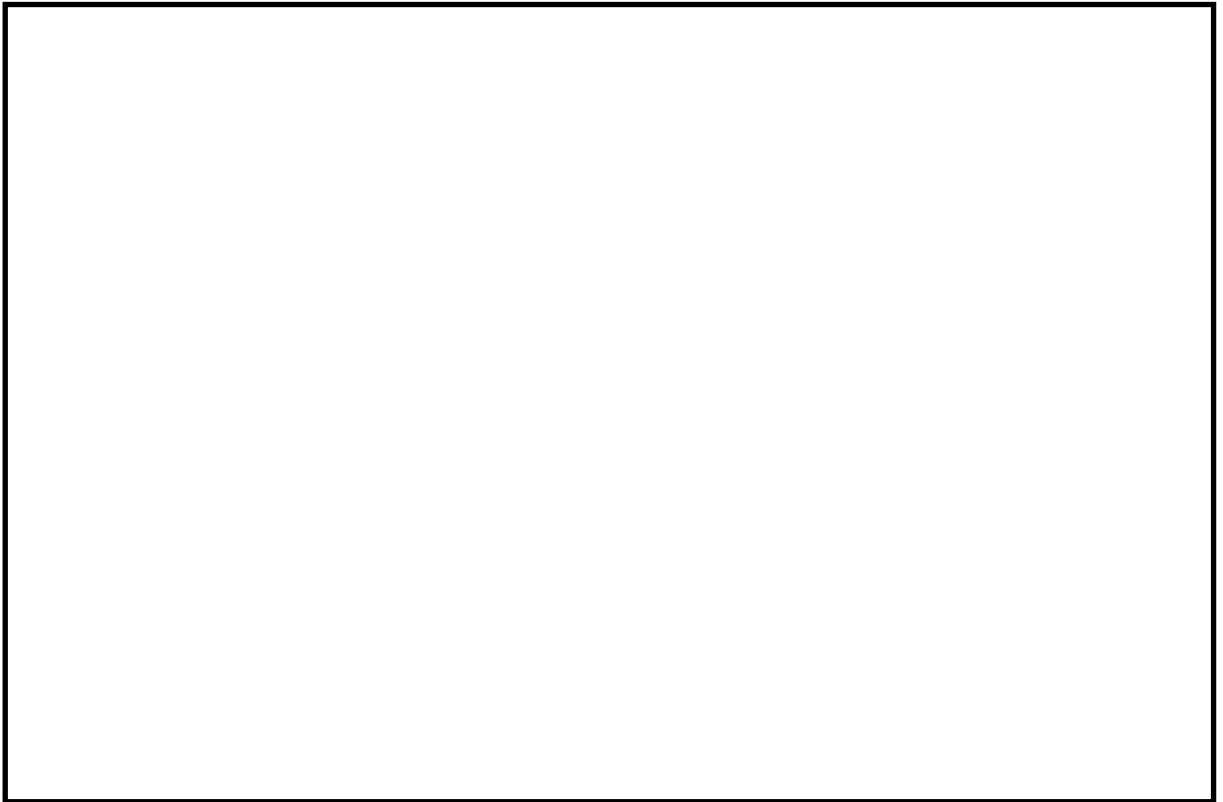


図 3.3-2 振動モード図 (NS 方向モデル) (2 次モード 水平方向 0.129s)

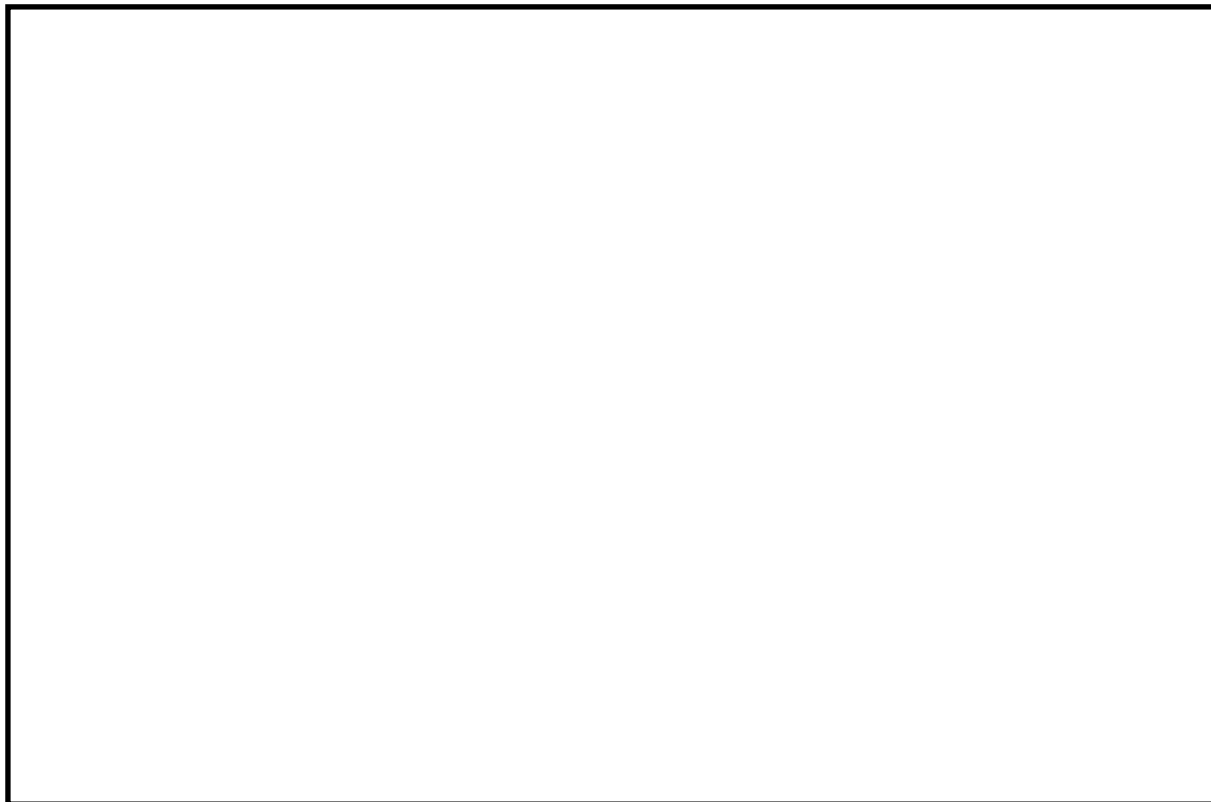


図 3.3-3 振動モード図 (NS 方向モデル) (3 次モード 水平方向 0.073s)

表 3.3-6 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	—	-9.032	—
2 次	水平	0.129	—	3.014	—
3 次	水平	0.073	—	-1.911	—
4 次	水平	0.059	—	-0.532	—
5 次	水平	0.051	—	-0.066	—
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 3.3-4 振動モード図 (EW 方向モデル) (1 次モード 水平方向 0.138s)



図 3.3-5 振動モード図 (EW 方向モデル) (2 次モード 水平方向 0.129s)

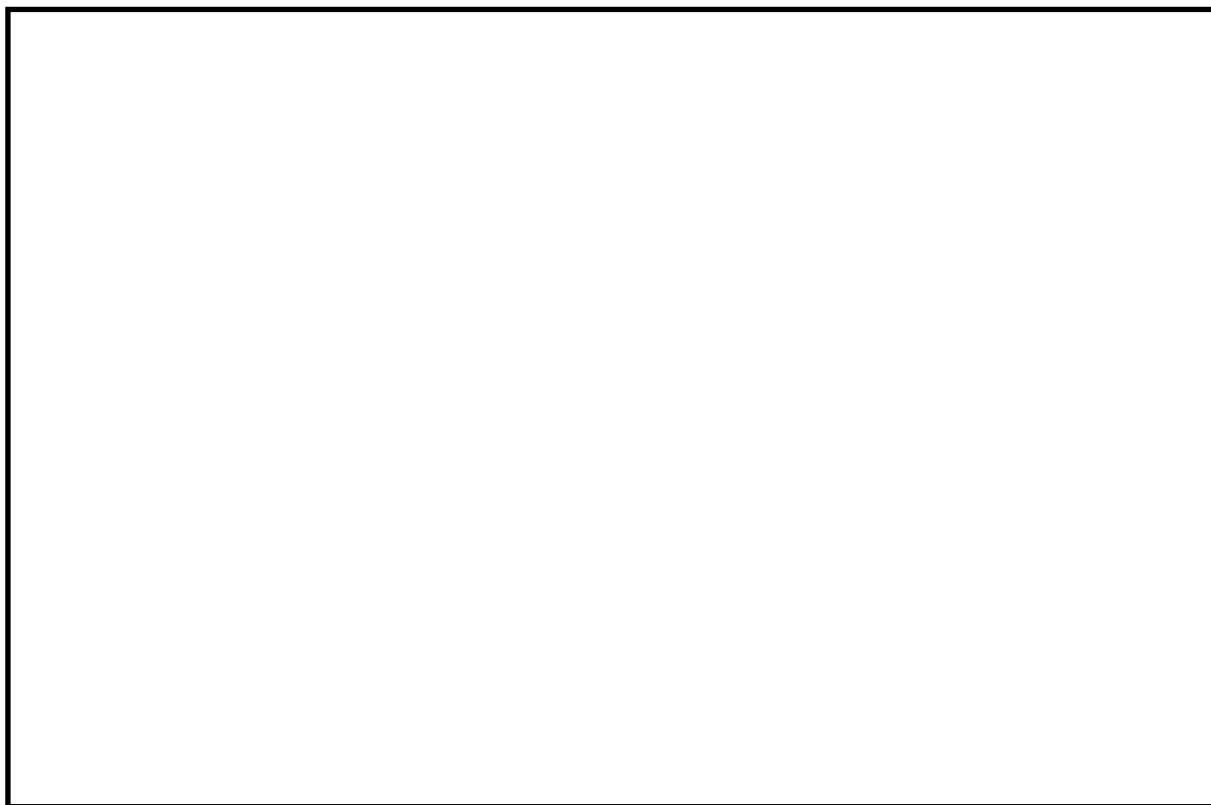


図 3.3-6 振動モード図 (EW 方向モデル) (3 次モード 水平方向 0.073s)

3.3.5 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3.3-7に、EW方向の評価に用いるものを表3.3-8に示す。

「弾性設計用地震動S_d又は静的震度」及び「基準地震動S_s」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 3.3-7 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 又は静的震度			基準地震動S _s		
モード ^{*3}	固有周期(s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直震度 ^{*4}	応答水平震度 ^{*5}		応答鉛直震度 ^{*5}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	0.138	2.70	—	—	4.68	—	—
2次	0.129	2.70	—	—	4.68	—	—
3次	0.073	1.34	—	—	2.58	—	—
4次	0.059	1.47	—	—	2.78	—	—
5次	0.051	1.13	—	—	2.25	—	—
動的震度 ^{*6, *7}		0.80	—	0.63	1.41	—	1.26
静的震度 ^{*8}		0.58	—	0.29	—	—	—

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）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトルⅠ（基準地震動S_s）により得られる震度

*6：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）を上回る設計震度及び設計用震度Ⅰ（基準地震動S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を1.2倍した震度

*8：3.6・C_i及び1.2・C_vより定めた震度

表 3.3-8 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 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}	応答水平震度 ^{*5}		応答鉛直 震度 ^{*5}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.138	—	4.04	—	—	5.73	—
2 次	0.129	—	3.36	—	—	5.45	—
3 次	0.073	—	1.03	—	—	2.63	—
4 次	0.059	—	1.24	—	—	2.26	—
5 次	0.051	—	1.21	—	—	1.95	—
動的震度 ^{*6, *7}		—	0.95	0.63	—	1.67	1.26
静的震度 ^{*8}		—	0.58	0.29	—	—	—

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）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*6：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度及び設計用震度 II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*8： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

3.3.6 計算方法

(1) 記号の説明

循環水ポンプのディスチャージケーシングの応力評価に使用する記号を表 3.3-9 に示す。

表 3.3-9 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _d	ディスチャージケーシングの断面積	mm ²
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	リブ外径	mm
D _d	ディスチャージケーシングの内径	mm
d	リブ内径	mm
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
L	溶接部のど厚	mm
M _d	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}	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 _d	ポンプ床下部質量	kg
P _d	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
Q	溶接部に作用するせん断力	N
S _{d a}	ディスチャージケーシングの許容応力	MPa
t _d	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
Z _d	ディスチャージケーシングの断面係数	mm ³
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 _{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
σ _{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
σ _{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
σ _{d C V 2}	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 _{d Z P}	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
σ _{d θ 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
τ	溶接部に作用するせん断応力	MPa

(2) 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。

a. ポンプ振動による震度により生じる水平方向の応力

$$\sigma_{dCH1} = \frac{M_{dCp}}{Z_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.1)$$

b. 水平方向地震による応力

$$\sigma_{dCH2} = \frac{M_d}{Z_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.2)$$

c. 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

$$\sigma_{dCV1} = \frac{(1+C_p) \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.3)$$

d. 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV2} = \frac{C_v \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.4)$$

e. 内圧による応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.5)$$

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.6)$$

以上の a. ~e. の各応力から、一次一般膜応力は

$$\sigma_d = \text{Max}(\sigma_{dCH1} + \sigma_{dCV1} + \sqrt{(\sigma_{dCH2})^2 + (\sigma_{dCV2})^2} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P}) \dots\dots\dots (3.3.6.2.7)$$

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) 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。

$$\tau = \frac{Q}{\left(\pi \cdot \frac{D+d}{2}\right) \cdot L} \dots\dots\dots (3.3.6.2.8)$$

3.3.7 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。

3.3.8 応力の評価

(1) ディスチャージケーシングの応力評価

3.3.6 (2)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 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s 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。	$0.6 \cdot S_u$

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) リブ溶接部の応力評価

3.3.6 (3)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	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
せん断応力	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_s^*$

3.4 評価結果

3.4.1 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耐震評価結果を以下に示す。NS 方向及び EW 方向で解析モデルが異なるため、各方向に対する耐震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 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	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 _H =1.41*4 又は*5	C _V =1.26*4	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)

*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 (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

*5: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s) により得られる震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	1.337×10 ⁸	198*1	504*1	205	205	205
ポンプ取付ボルト (i=2)					24	24	1.337×10 ⁸	205*2	520*2	205	205	205

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	235* (16mm<厚さ ≤40mm)	400* (16mm<厚さ ≤40mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

(3) 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

(4) リブ溶接部

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D (mm)	d (mm)	L (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) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		M _{C_pi} (N・mm)	F _{b_i} (N)		Q _{b_i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)							
ポンプ取付ボルト (i=2)							

(2) コラムパイプに作用する力

(単位：N・mm)

部材	M		M _{C_p}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
コラムパイプ			

(3) 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 _{dC_p}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
ディスチャージ ケーシング			

(4) 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 又は静的震度	基準地震動 S _s
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	$T_{H1}=0.138$
鉛直方向	$T_{V1}=0.050$ 以下

1.4.2 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 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	$\sigma_{b1}=19$	$f_{ts1}=153^*$	$\sigma_{b1}=99$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=118$	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=118$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	$\sigma_{b2}=16$	$f_{ts2}=153^*$	$\sigma_{b2}=59$	$f_{ts2}=140^*$
		せん断	$\tau_{b2}=31$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=52$	$f_{sb2}=118$

注記*: $f_{tsi}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{toi}-1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$
 すべて許容応力以下である。

1.4.3 コラムパイプの応力 (単位: MPa)

部材	材料	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	$\sigma = 53$	$S_a = 235$
		基準地震動 S s	$\sigma = 80$	$S_a = 240$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 ディスチャージケーシングの応力 (単位: MPa)

部材	材料	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	一次一般膜応力	
			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 又は静的震度	$\sigma_d = 53$	$S_{da} = 235$
		基準地震動 S s	$\sigma_d = 80$	$S_{da} = 240$

すべて許容応力以下である。

1.4.5 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 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
リブ		せん断	5	133	8	159

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

(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	

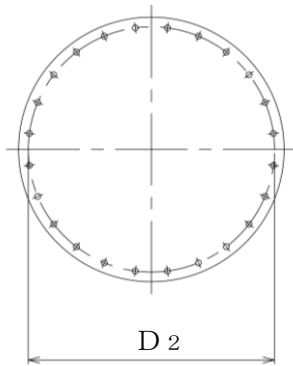
(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
50	
51	
52	

(5) 材料物性値

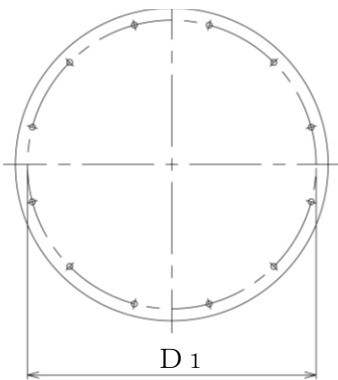
材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.01×10^5		0.3	
4		2.00×10^5		0.3	
5		2.01×10^5		0.3	
6	70	1.98×10^5		0.3	

ポンプ取付ボルト

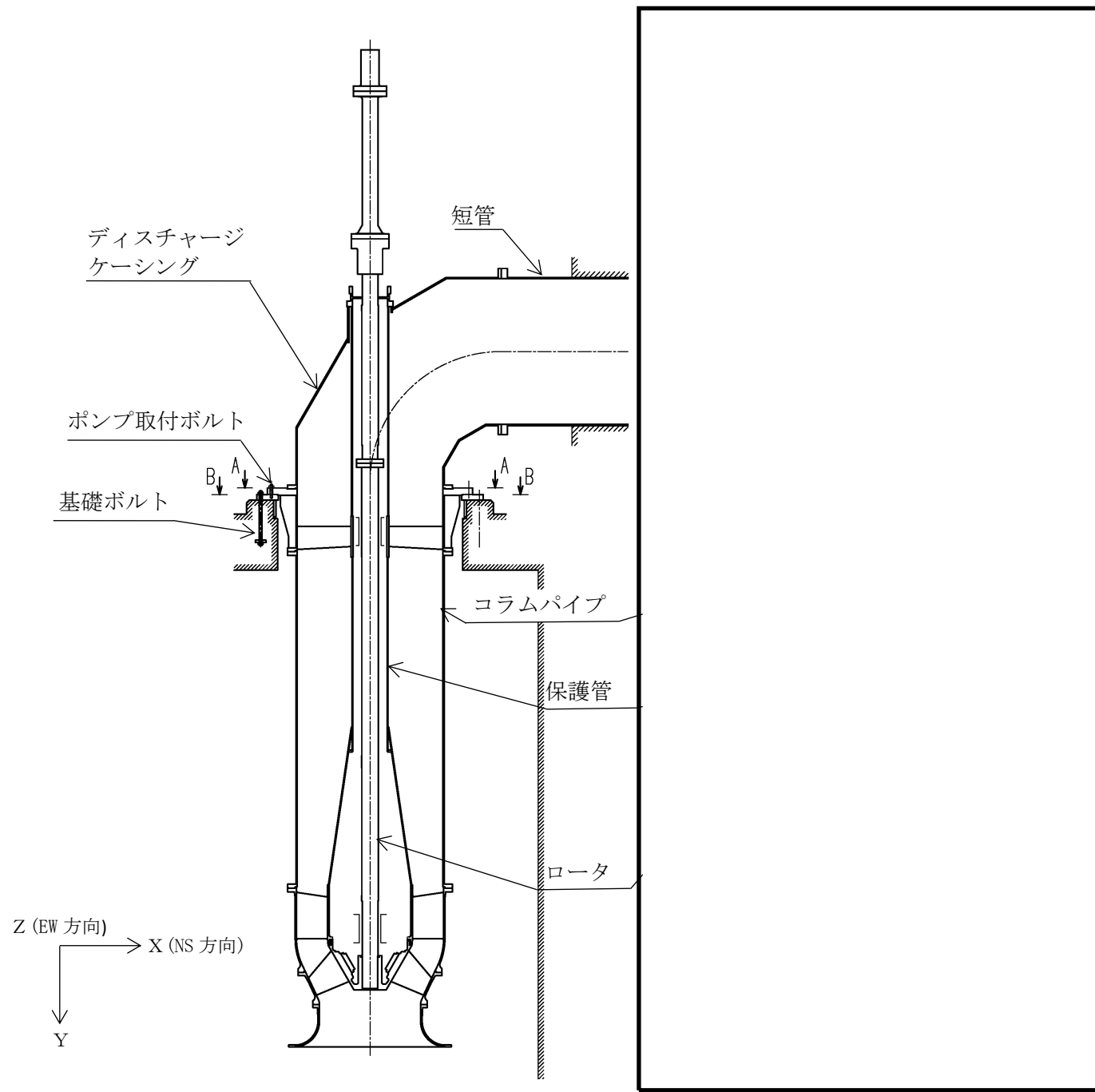


A~A矢视图

基礎ボルト



B~B矢视图



【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 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	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 _H =1.67 ^{*4} 又は*5	C _V =1.26 ^{*4}	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) 及び静的震度を上回る設計震度

*3: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d) により得られる震度

*4: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

*5: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s) により得られる震度

2.2 機器要目

(1) ボルト

(2) コラムパイプ

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	1.337×10 ⁸	198 ^{*1}	504 ^{*1}	205	205	205
ポンプ取付ボルト (i=2)					24	24	1.337×10 ⁸	205 ^{*2}	520 ^{*2}	205	205	205

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	235 [*] (16mm<厚さ≤40mm)	400 [*] (16mm<厚さ≤40mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

(3) ディスチャージケーシング

(4) リブ溶接部

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

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D (mm)	d (mm)	L (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) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		M _{Cp i} (N・mm)	F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)							
ポンプ取付ボルト (i=2)							

(2) コラムパイプに作用する力

(単位：N・mm)

部材	M		M _{Cp}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
コラムパイプ			

(3) 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 Cp}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
ディスチャージ ケーシング			

(4) 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 又は静的震度	基準地震動 S _s
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	$T_{H1}=0.138$
鉛直方向	$T_{V1}=0.050$ 以下

2.4.2 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 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	$\sigma_{b1}=60$	$f_{ts1}=153^*$	$\sigma_{b1}=132$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=118$	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=118$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	$\sigma_{b2}=41$	$f_{ts2}=152^*$	$\sigma_{b2}=79$	$f_{ts2}=127^*$
		せん断	$\tau_{b2}=40$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=61$	$f_{sb2}=118$

注記*: $f_{tsi}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{toi}-1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$
 すべて許容応力以下である。

2.4.3 コラムパイプの応力 (単位: MPa)

部材	材料	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	$\sigma = 71$	$S_a = 235$
		基準地震動 S s	$\sigma = 95$	$S_a = 240$

すべて許容応力以下である。

59

2.4.4 ディスチャージケーシングの応力 (単位: MPa)

部材	材料	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	一次一般膜応力	
			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 又は静的震度	$\sigma_d = 71$	$S_{da} = 235$
		基準地震動 S s	$\sigma_d = 95$	$S_{da} = 240$

すべて許容応力以下である。

2.4.5 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 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
リブ		せん断	5	133	9	159

すべて許容応力以下である。

2.5 その他の機器要目

(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	

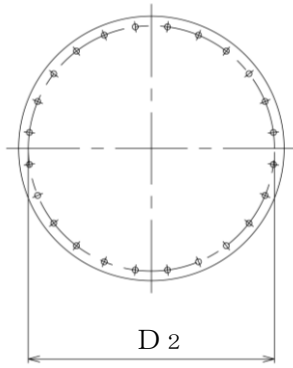
(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
50	
51	
52	

(5) 材料物性値

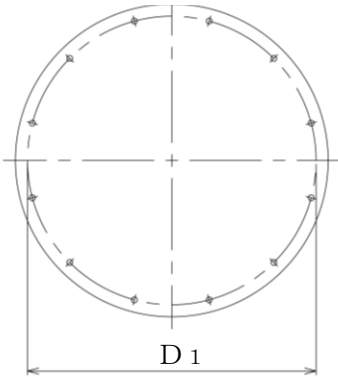
材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.01×10^5		0.3	
4		2.00×10^5		0.3	
5		2.01×10^5		0.3	
6	70	1.98×10^5		0.3	

ポンプ取付ボルト

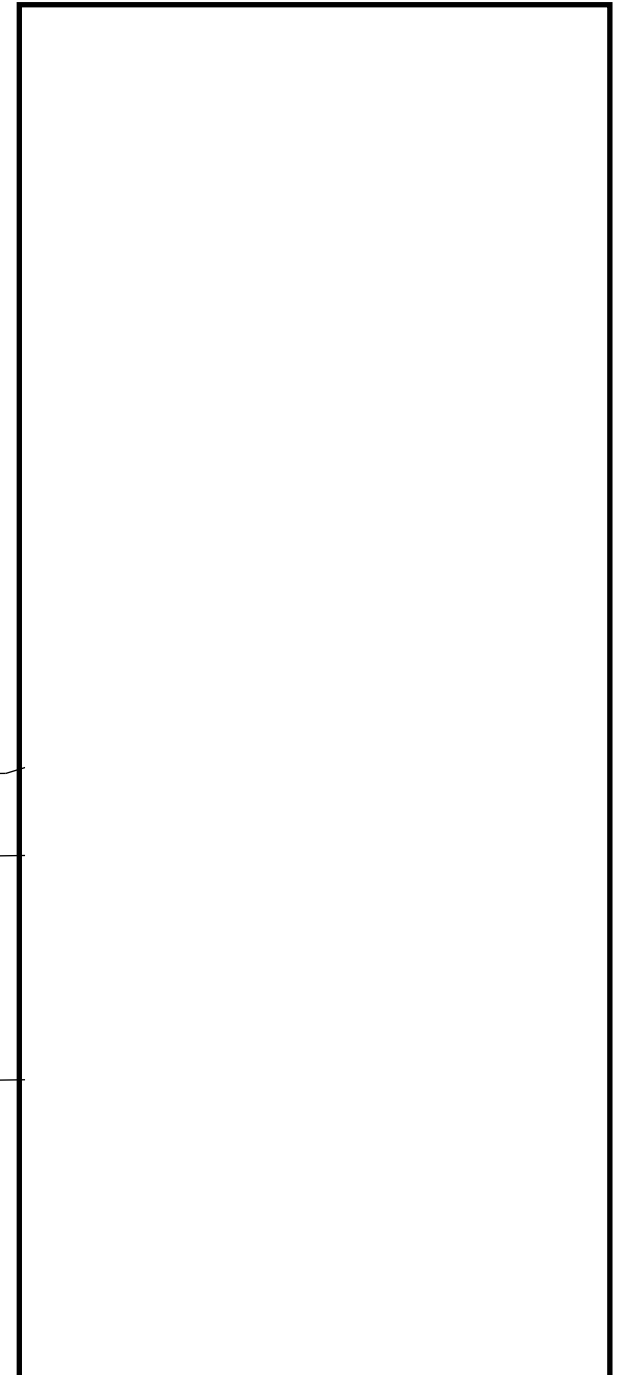
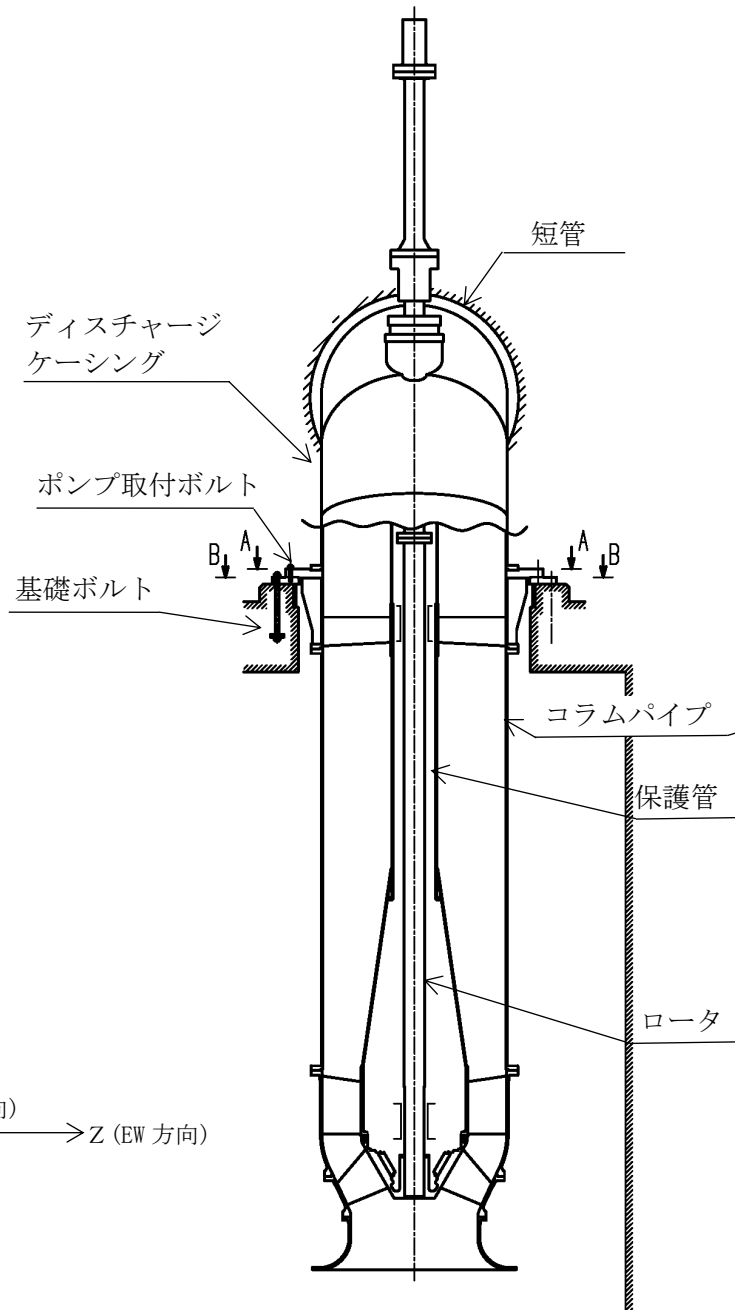
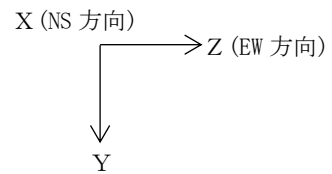


A~A 矢視図

基礎ボルト



B~B 矢視図



4. 隔離弁，配管

4.1 概要

本計算書は，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」（以下「基本方針」という。）に基づき，浸水防護施設の管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持でき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 (4)に記載する。

(2) 支持構造物

浸水防護施設の管の支持点のうち，種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

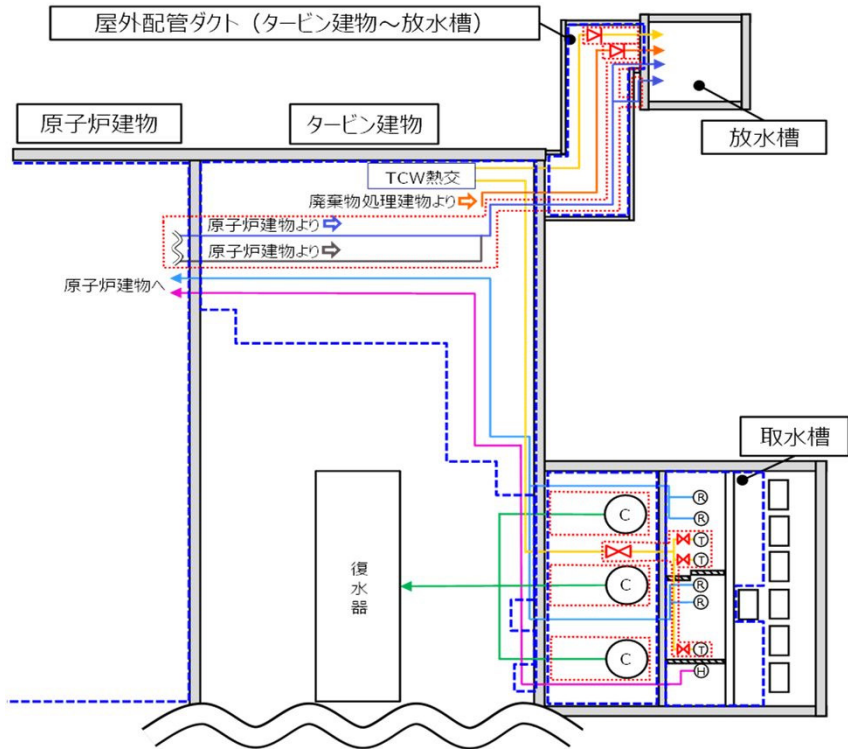
(3) 弁

機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，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
- ✕ : 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）


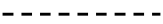
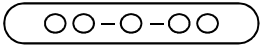


- R : 原子炉補機海水ポンプ（Sクラス）
- H : 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（Sクラス）
- T : タービン補機海水ポンプ（Cクラス）
- C : 循環水ポンプ（Cクラス）

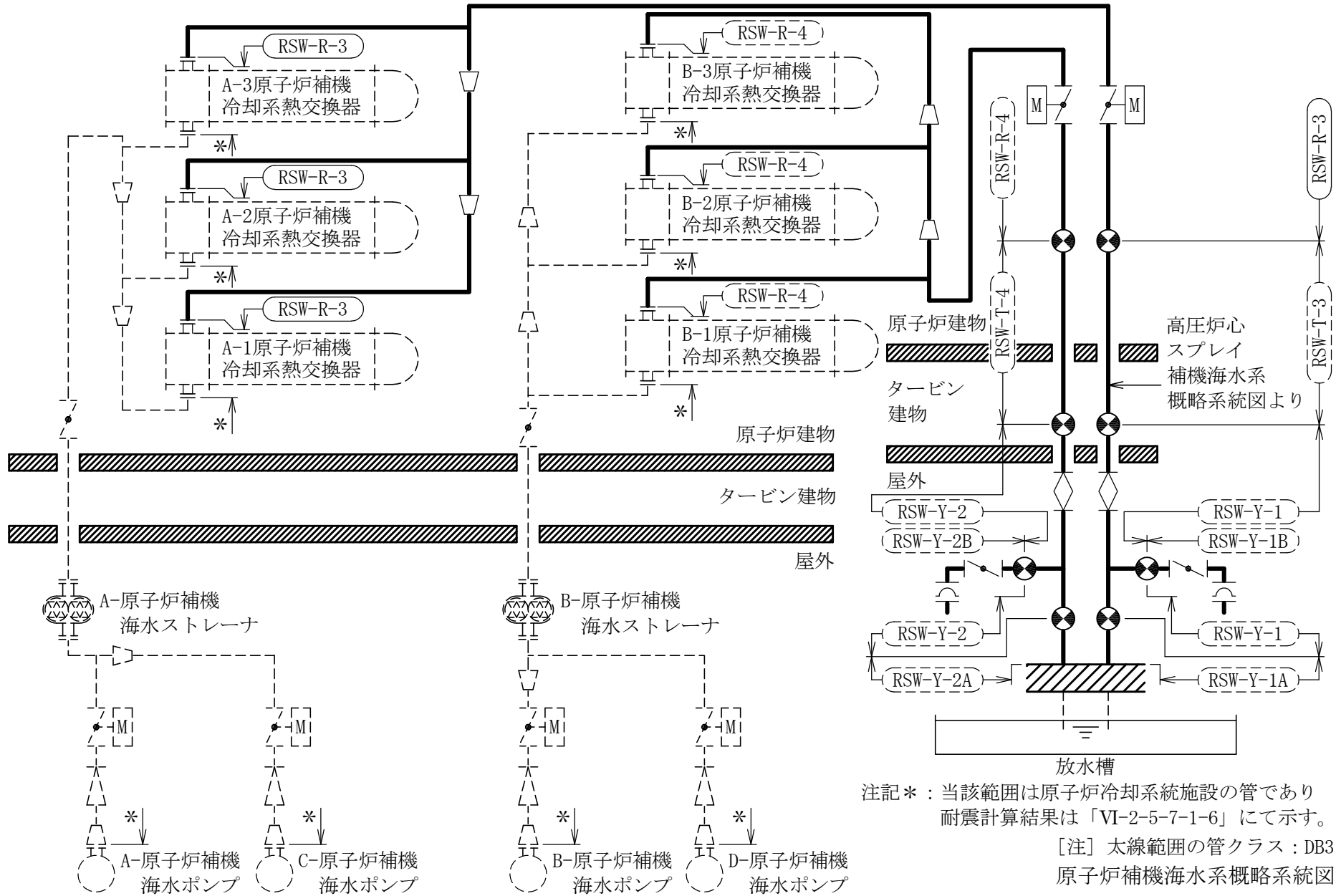
注) 浸水防護機能を除く耐震クラスを記載

図4.2-1 配置概要

4.2.2 概略系統図

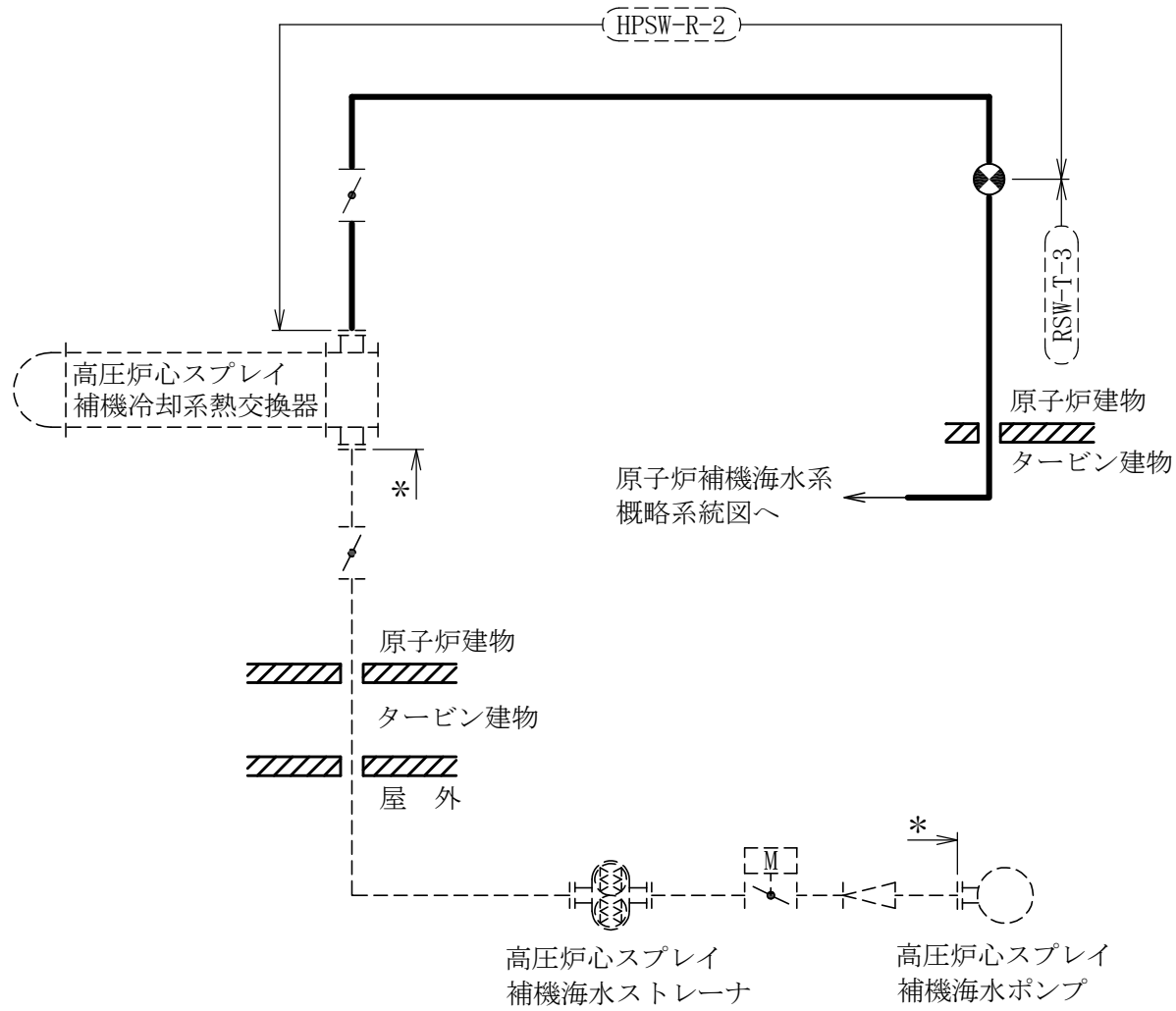
概略系統図記号凡例

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
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



注記* : 当該範囲は原子炉冷却系統施設の管であり耐震計算結果は「VI-2-5-7-1-6」にて示す。

[注] 太線範囲の管クラス : DB3
原子炉補機海水系概略系統図

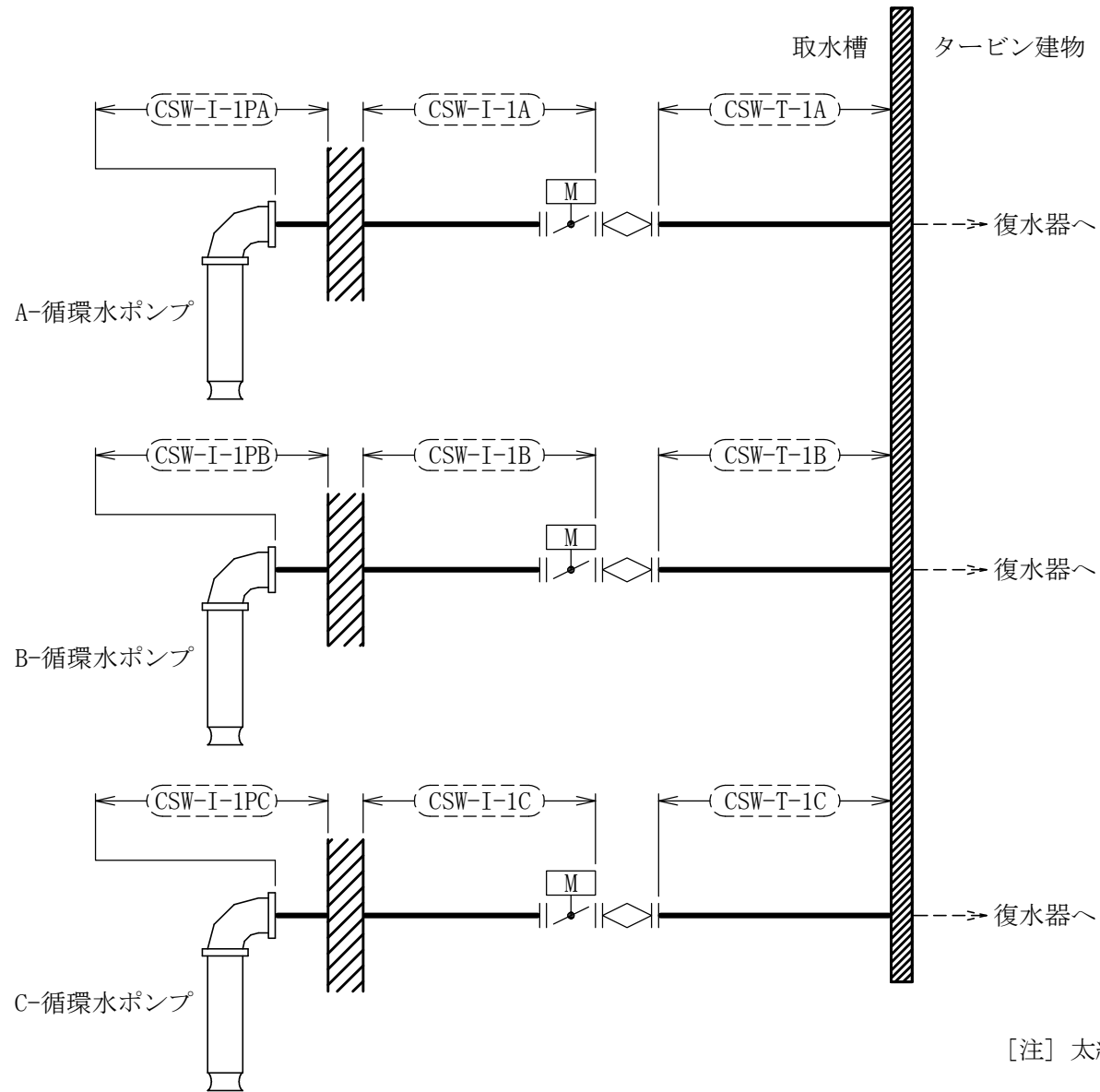


73

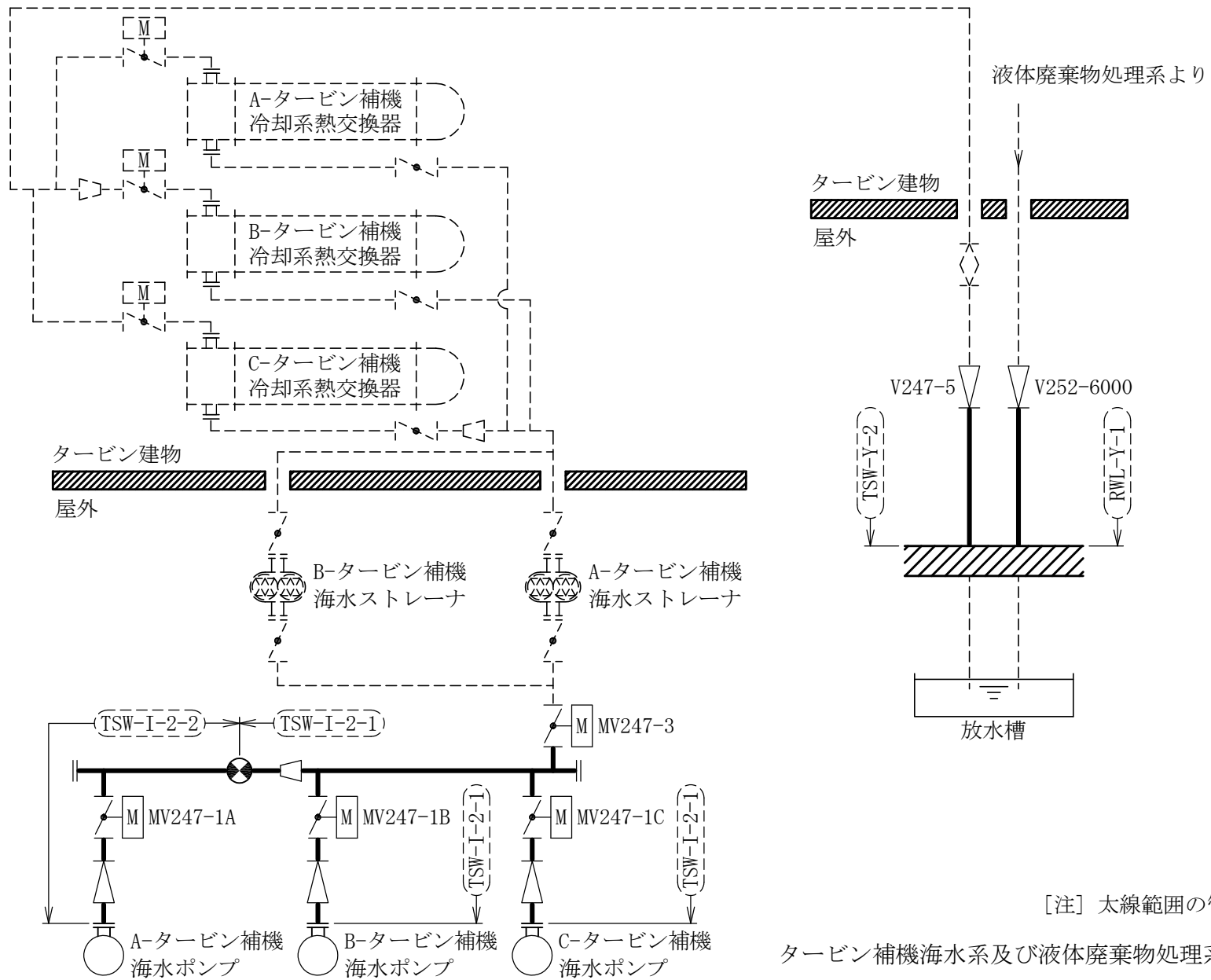
注記*：当該範囲は原子炉冷却系統施設の管であり耐震計算結果は「VI-2-5-7-2-6」にて示す。

[注] 太線範囲の管クラス：DB3

高圧炉心スプレイ補機海水系概略系統図





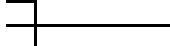
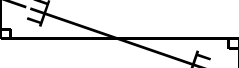

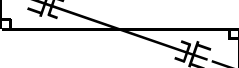

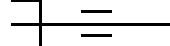
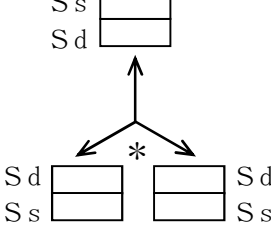


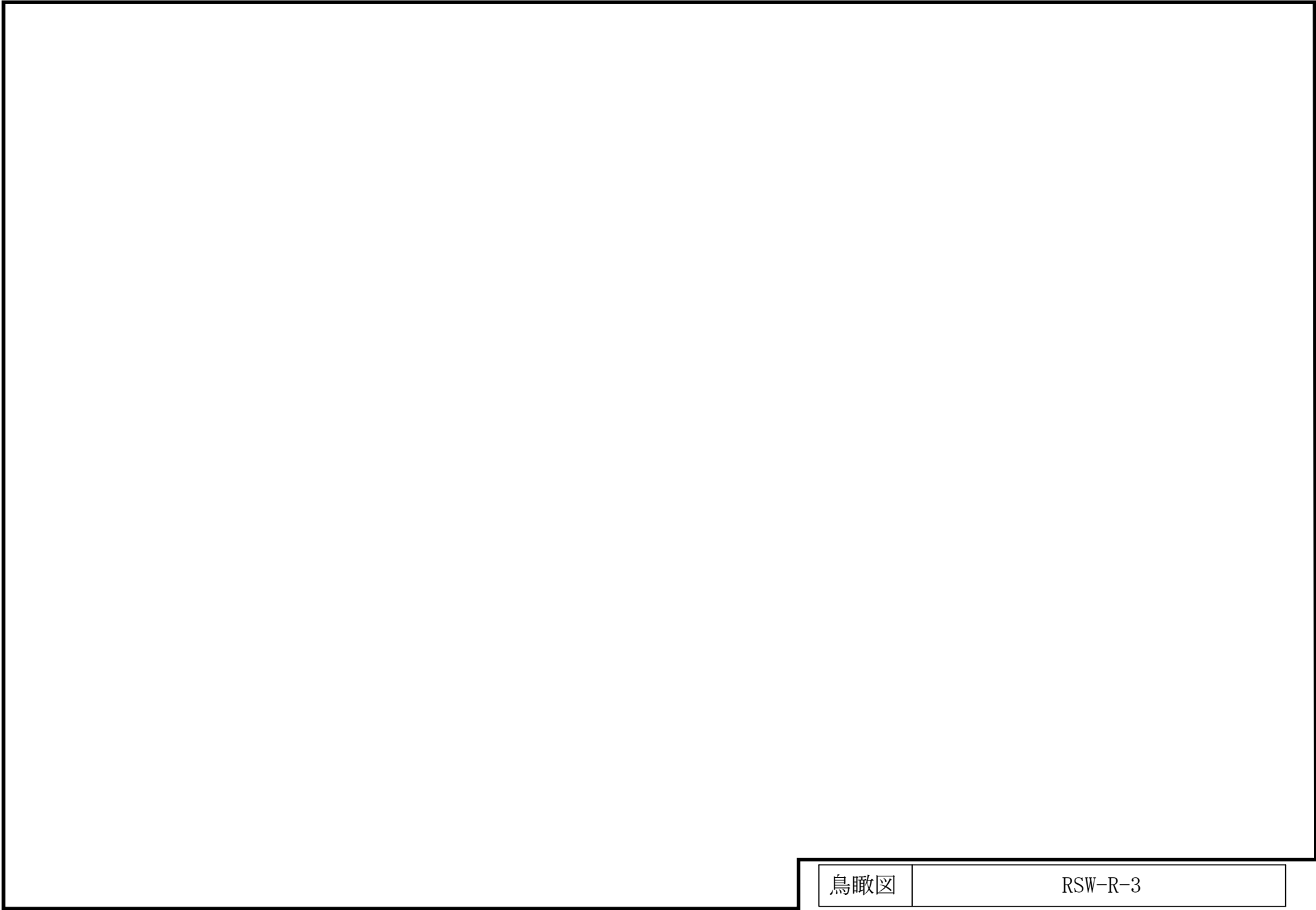
[注] 太線範囲の管クラス : DB3
 循環水系概略系統図
 (取水槽廻り)



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、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」又は「M S A P」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。

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, *2	許容応力状態
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*3	$I_L + S_d^{*3}$	$III_A S^{*3}$
					$II_L + S_d^{*3}$	
					$I_L + S_s$	$IV_A S$
					$II_L + S_s$	
		高圧炉心スプレイ補機海水系	クラス3管	S*3	$I_L + S_d^{*3}$	$III_A S^{*3}$
					$II_L + S_d^{*3}$	
					$I_L + S_s$	$IV_A S$
					$II_L + S_s$	
		循環水系	クラス3管	S*3	$I_L + S_d^{*3}$	$III_A S^{*3}$
					$II_L + S_d^{*3}$	
					$I_L + S_s$	$IV_A S$
					$II_L + S_s$	
タービン補機海水系	クラス3管	S*3	$I_L + S_d^{*3}$	$III_A S^{*3}$		
			$II_L + S_d^{*3}$			
			$I_L + S_s$	$IV_A S$		
			$II_L + S_s$			

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, *2}	許容応力状態
浸水防護施設 (浸水防止設備)	—	液体廃棄物処理系	クラス3管	S ^{*3}	I _L + S _d ^{*3}	III _A S ^{*3}
					II _L + S _d ^{*3}	
					I _L + S _s	IV _A S
					II _L + S _s	

注記*1：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*2：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*3：基準地震動S_sに対する浸水防止機能保持の信頼性を高めるために、従来からのSクラス設備の耐震設計と同様に、弾性設計用地震動S_dによる地震力に対しておおむね弾性状態にとどまる設計とする。
(許容応力状態III_ASの許容限界を適用)

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	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~12, 15~73N 22~79N	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	—	—
2	13~19	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	—	—
3	20~52F, 60F~67A	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	—	—
4	55F~60F	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	—	—

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	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~12, 15~73N 22~79N	457.2	9.5	SM41A	S	201933
2	13~19	558.8	9.5	SM41A	S	201933
3	20~52F, 60F~67A	711.2	9.5	SM41A	S	201933
4	55F~60F	711.2	9.5	SM400A	S	201933

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1N～12, 15～73N, 22～79N
<input type="checkbox"/>	13～19
<input type="checkbox"/>	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
	53		540
	5401		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方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1N						
401						
** 6001 **						
11						
18						
2201						
29						
33						
42						
50						
58						
64						
67A						
73N						
79N						

S2 補 VI-2-10-2-11 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	400	—
SM400A	40	—	245	400	—

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 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		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							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。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。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：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

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)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)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RSW-R-3

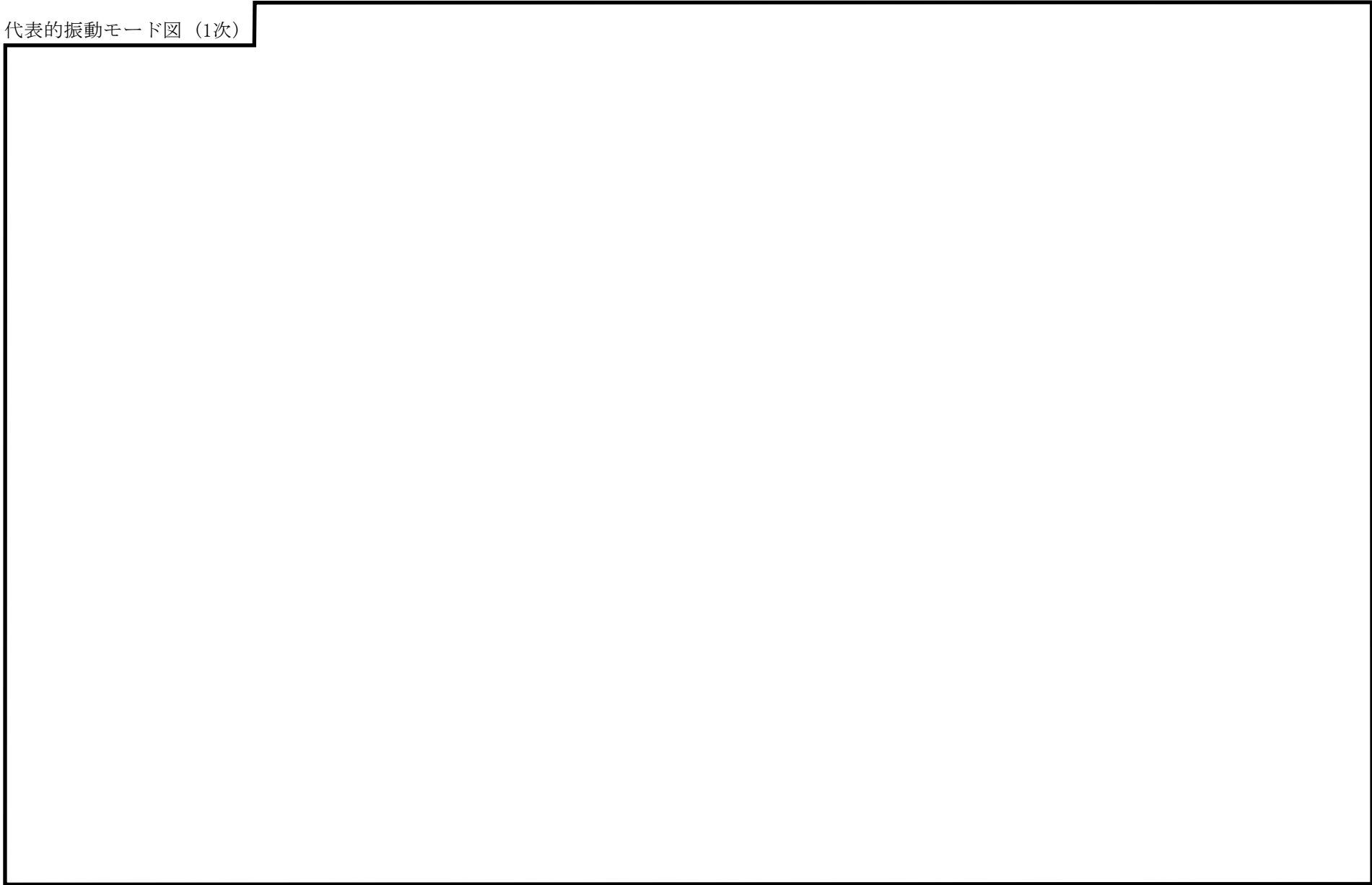
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

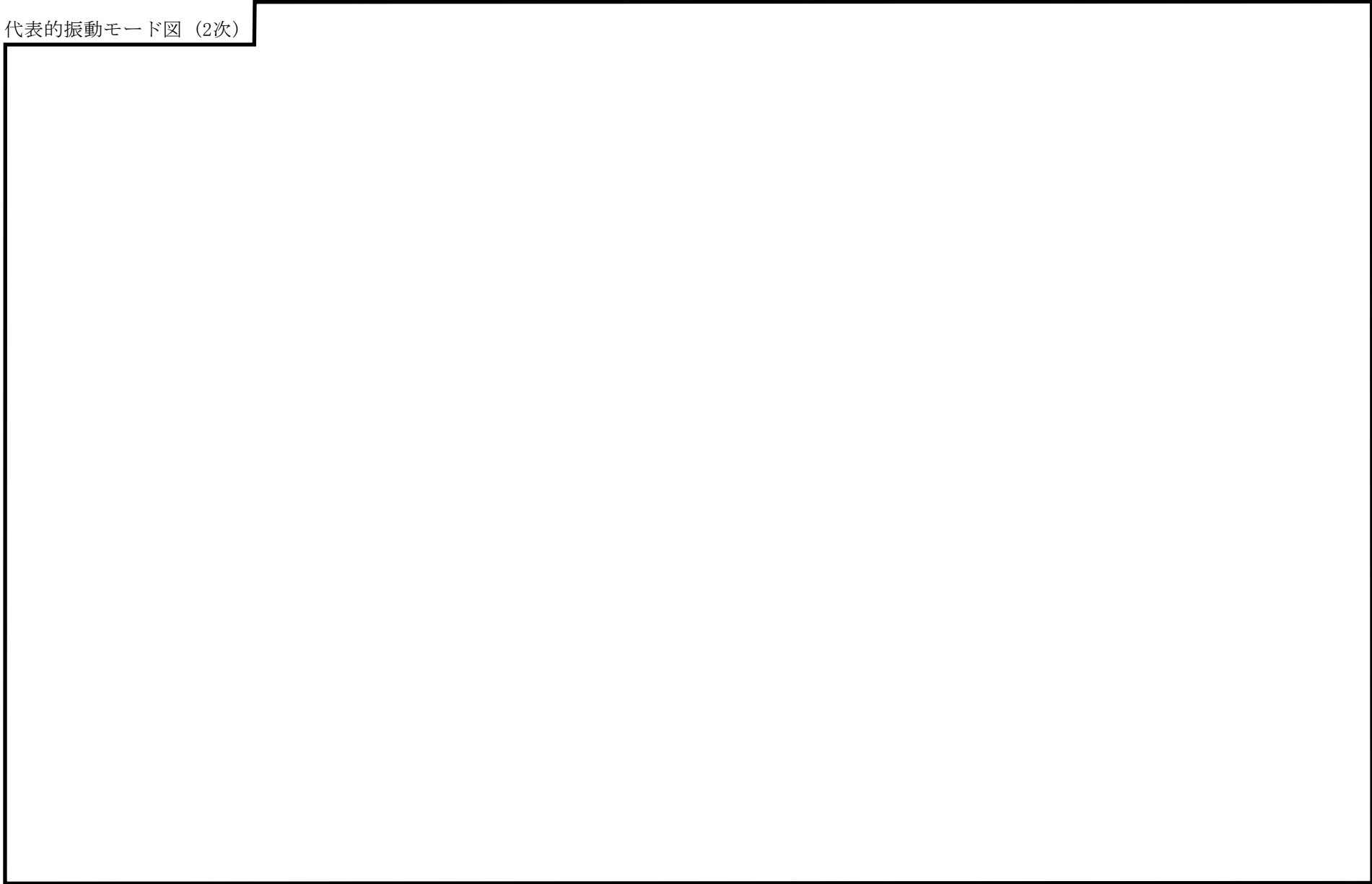
代表的振動モード図

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。

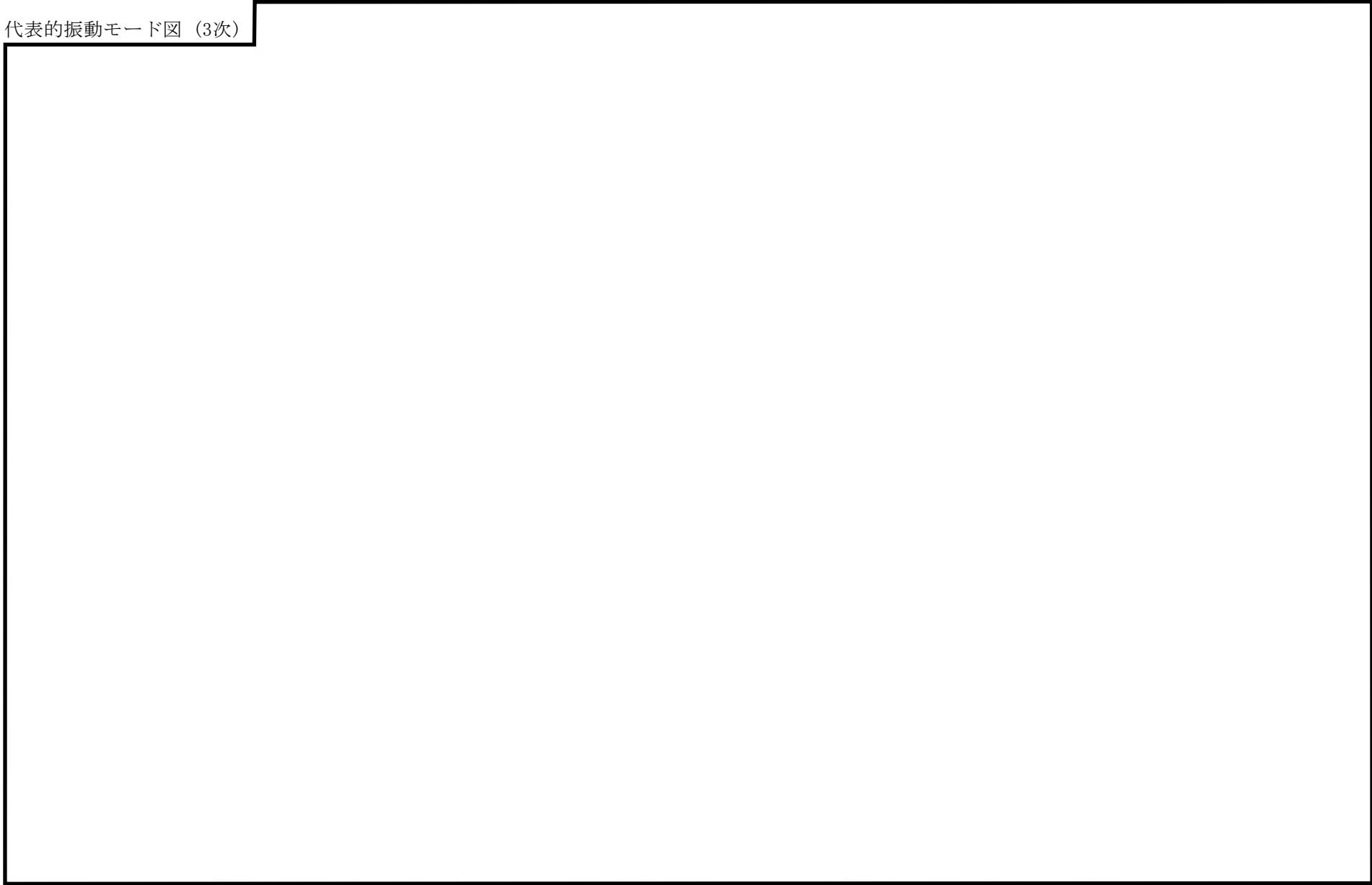
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



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及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

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		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
III _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	RSW-R-3	22	148	245	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RSW-R-3	22	253	490	—
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RSW-R-3	22	265	360	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RSW-R-3	22	488	490	—

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 $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

(2) 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構 造物の耐震計 算について」参 照	—	—	—	
SNO-RSW-788	オイルスナッパ	SN-100		260	1500	—	
RE-RSW-MH0017	ロッドレストレイント	RSA60		660	1080	—	
SH-RSW-284	スプリングハンガ	VSB2F-22		113	170		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-RSW-728	レストレイント	ラグ	SGV410	40	535	73	74	—	—	—	組合せ	44	70
AN-RSW-MH0003	アンカ	ラグ	STPG370	40	86	84	580	38	36	10	組合せ	143	430

(3) 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
MV247-1A	電動バタフライ弁	β (S s)	2.3	1.0	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
MV247-1B	電動バタフライ弁	β (S s)	2.3	1.0	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
MV247-1C	電動バタフライ弁	β (S s)	2.3	1.0	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
MV247-3	電動バタフライ弁	β (S s)	2.3	1.0	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
V247-5	逆止弁	β (S s)	2.8	1.9	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
V252-6000	逆止弁	β (S s)	2.8	1.9	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

(4) 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結果を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	RSW-R-3	22	148	245	1.65	○	22	253	490	1.93	—	○
2	RSW-R-4	16	113	245	2.16	—	39	147	490	3.33	—	—
3	RSW-T-3	66	92	215	2.33	—	66	179	430	2.40	—	—
4	RSW-T-4	10	56	245	4.37	—	2F	123	490	3.98	—	—
5	RSW-Y-1	411	50	245	4.90	—	8	35	490	14.00	—	—
6	RSW-Y-1A	813	35	245	7.00	—	1	15	490	32.66	—	—
7	RSW-Y-1B	816	47	245	5.21	—	816	34	490	14.41	—	—
8	RSW-Y-2	511	48	245	5.10	—	802	32	490	15.31	—	—
9	RSW-Y-2A	814	34	245	7.20	—	814	12	490	40.83	—	—
10	RSW-Y-2B	2	35	245	7.00	—	2	32	490	15.31	—	—
11	HPSW-R-2	36	71	215	3.02	—	36	94	430	4.57	—	—
12	CSW-T-1A	8A	32	235	7.34	—	8A	20	470	23.50	—	—
13	CSW-T-1B	8A	32	235	7.34	—	8A	20	470	23.50	—	—
14	CSW-T-1C	8A	32	235	7.34	—	8A	20	470	23.50	—	—
15	CSW-I-1A	1A	16	235	14.68	—	1A	6	470	78.33	—	—

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結果を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	CSW-I-1B	1A	16	235	14.68	—	1A	6	470	78.33	—	—
17	CSW-I-1C	1A	16	235	14.68	—	1A	6	470	78.33	—	—
18	CSW-I-1PA	4A	33	235	7.12	—	4A	23	470	20.43	—	—
19	CSW-I-1PB	4A	33	235	7.12	—	4A	23	470	20.43	—	—
20	CSW-I-1PC	4A	33	235	7.12	—	4A	23	470	20.43	—	—
21	TSW-I-2-1	441	62	245	3.95	—	441	87	490	5.63	—	—
22	TSW-I-2-2	401	57	245	4.29	—	401	39	490	12.56	—	—
23	TSW-Y-2	7	63	245	3.88	—	7	77	490	6.36	—	—
24	RWL-Y-1	852	44	231	5.25	—	852	51	463	9.07	—	—

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結果を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RSW-R-3	22	265	360	1.35	○	22	488	490	1.00	—	○
2	RSW-R-4	16	183	360	1.96	—	16	285	490	1.71	—	—
3	RSW-T-3	66	192	333	1.73	—	66	399	430	1.07	—	—
4	RSW-T-4	10	69	360	5.21	—	15	246	490	1.99	—	—
5	RSW-Y-1	8	69	360	5.21	—	802	81	490	6.04	—	—
6	RSW-Y-1A	813	42	360	8.57	—	813	29	490	16.89	—	—
7	RSW-Y-1B	816	66	360	5.45	—	816	74	490	6.62	—	—
8	RSW-Y-2	511	77	360	4.67	—	511	86	490	5.69	—	—
9	RSW-Y-2A	814	41	360	8.78	—	814	27	490	18.14	—	—
10	RSW-Y-2B	2	50	360	7.20	—	2	59	490	8.30	—	—
11	HPSW-R-2	36	143	333	2.32	—	36	240	430	1.79	—	—
12	CSW-T-1A	8A	41	360	8.78	—	8A	39	470	12.05	—	—
13	CSW-T-1B	8A	41	360	8.78	—	8A	39	470	12.05	—	—
14	CSW-T-1C	8A	41	360	8.78	—	8A	39	470	12.05	—	—
15	CSW-I-1A	1A	18	360	20.00	—	1A	10	470	47.00	—	—

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結果を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	CSW-I-1B	1A	18	360	20.00	—	1A	10	470	47.00	—	—
17	CSW-I-1C	1A	18	360	20.00	—	1A	10	470	47.00	—	—
18	CSW-I-1PA	4A	45	360	8.00	—	4A	47	470	10.00	—	—
19	CSW-I-1PB	4A	45	360	8.00	—	4A	47	470	10.00	—	—
20	CSW-I-1PC	4A	45	360	8.00	—	4A	47	470	10.00	—	—
21	TSW-I-2-1	441	92	360	3.91	—	441	147	490	3.33	—	—
22	TSW-I-2-2	401	75	360	4.80	—	401	75	490	6.53	—	—
23	TSW-Y-2	7	101	360	3.56	—	7	155	490	3.16	—	—
24	RWL-Y-1	852	96	366	3.81	—	852	158	463	2.93	—	—

VI-2-10-2-12 タービン補機海水系隔離システムの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 漏えい検知器	2
2.1 概要	2
2.2 一般事項	2
2.2.1 構造計画	2
2.2.2 評価方針	6
2.2.3 適用規格・基準等	7
2.2.4 記号の説明	8
2.2.5 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	11
2.4.1 固有値解析方法	11
2.4.2 解析モデル及び諸元	12
2.4.3 固有値解析結果	14
2.5 構造強度評価	16
2.5.1 構造強度評価方法	16
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	16
2.5.3 設計用地震力	20
2.5.4 計算方法	21
2.5.5 計算条件	25
2.5.6 応力の評価	26
2.6 機能維持評価	27
2.6.1 電氣的機能維持評価方法	27
2.7 評価結果	28
2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果	28

3. 防護設備制御盤 (2-1007)	45
3.1 概要	45
3.2 一般事項	45
3.2.1 構造計画	45
3.3 固有周期	47
3.3.1 固有周期の確認	47
3.4 構造強度評価	48
3.4.1 構造強度評価方法	48
3.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	48
3.4.3 計算条件	48
3.5 機能維持評価	52
3.5.1 電氣的機能維持評価方法	52
3.6 評価結果	53
3.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	53

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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、タービン補機海水系隔離システムが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

タービン補機海水系隔離システムは、漏えい検知器及び防護設備制御盤から構成される。タービン補機海水系隔離システムの構成を図1-1に示す。

「2. 漏えい検知器」においては、タービン補機海水系隔離システムのうち漏えい検知器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明する。構造強度評価として、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について評価を実施し、電気的機能維持評価として、電極式水位検出器を評価対象部位として評価を実施する。

「3. 防護設備制御盤」においては、タービン補機海水系隔離システムのうち防護設備制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明する。構造強度評価として、耐震評価上厳しくなる取付ボルト部について評価を実施し、電気的機能維持評価として、防護設備制御盤に設置される器具を評価対象部位として評価を実施する。

電気的機能維持評価では、機能維持評価用加速度がすべて機能維持確認済加速度以下であることで評価する。

タービン補機海水系隔離システムは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

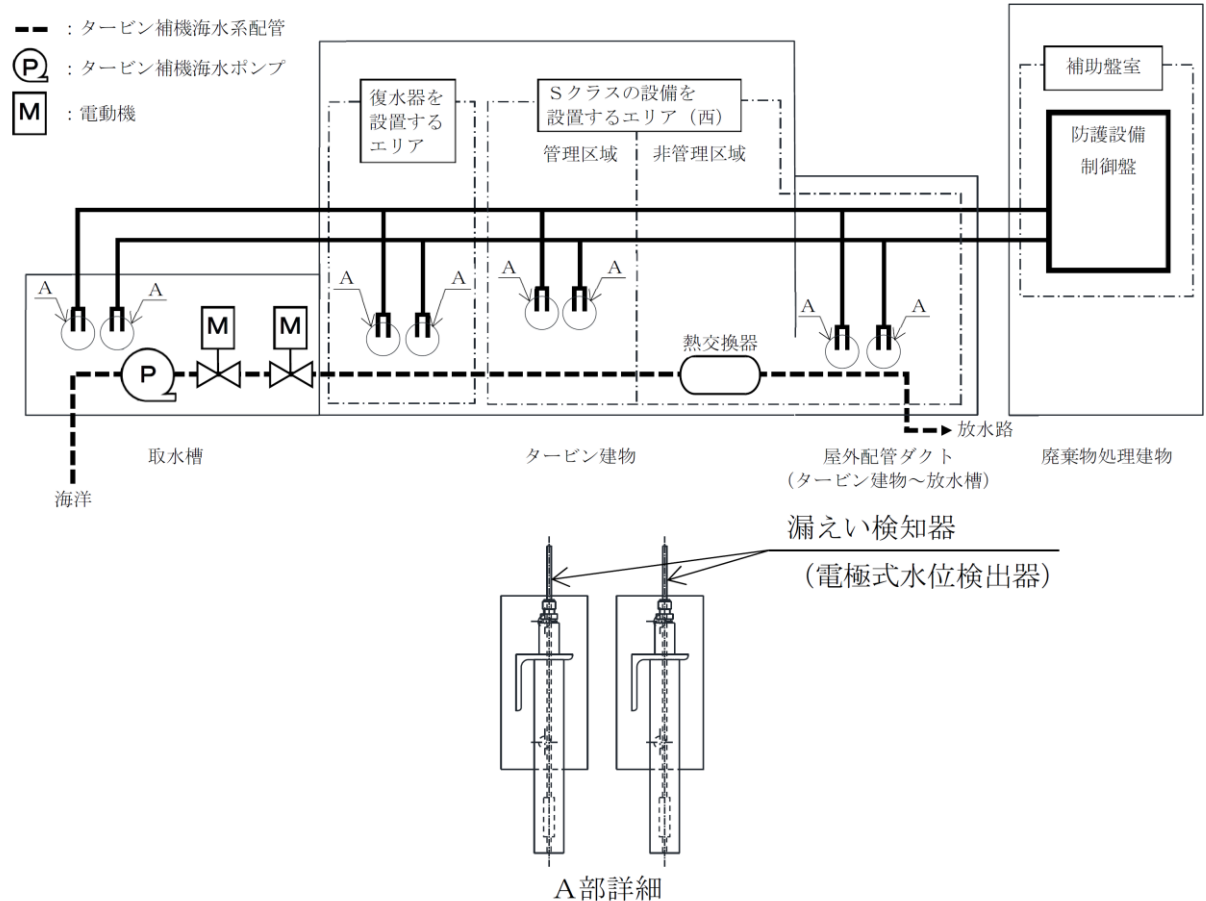


図1-1 タービン補機海水系隔離システムの構成

2. 漏えい検知器

2.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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、漏えい検知器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

漏えい検知器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画 (1/3)

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、圧縮継手によりサポート鋼材（保護管を含む）に固定する。 サポート鋼材（保護管を含む）は、基礎ボルトにより壁面に設置する。</p>	<p>電極式水位検出器</p>	<p>(正面図) (側面図)</p>

表 2-1 構造計画 (2/3)

計画の概要		概略構造図				
基礎・支持構造	主体構造					
		対象機器	LE245-5A-1	LE245-5A-2	LE245-5B-1	LE245-5B-2
		たて				
		横				
		高さ				
		対象機器	LE245-5C-1	LE245-5C-2	LE245-6A-1	LE245-6A-2
		たて				
		横				
		高さ				
		対象機器	LE245-6B-1	LE245-6B-2	LE245-6C-1	LE245-6C-2
		たて				
		横				
		高さ				

(単位 : mm)

表 2-1 構造計画 (3/3)

計画の概要		概略構造図				
基礎・支持構造	主体構造					
		対象機器	LE245-7A-1	LE245-7A-2	LE245-7B-1	LE245-7B-2
		たて				
		横				
		高さ				
		対象機器	LE245-7C-1	LE245-7C-2	LE245-8A-1	LE245-8A-2
		たて				
		横				
		高さ				
		対象機器	LE245-8B-1	LE245-8B-2	LE245-8C-1	LE245-8C-2
		たて				
		横				
		高さ				

(単位：mm)

2.2.2 評価方針

漏えい検知器の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2.1 構造計画」にて示す漏えい検知器の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、漏えい検知器の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「2.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.7 評価結果」に示す。

漏えい検知器の耐震評価フローを図2-1に示す。

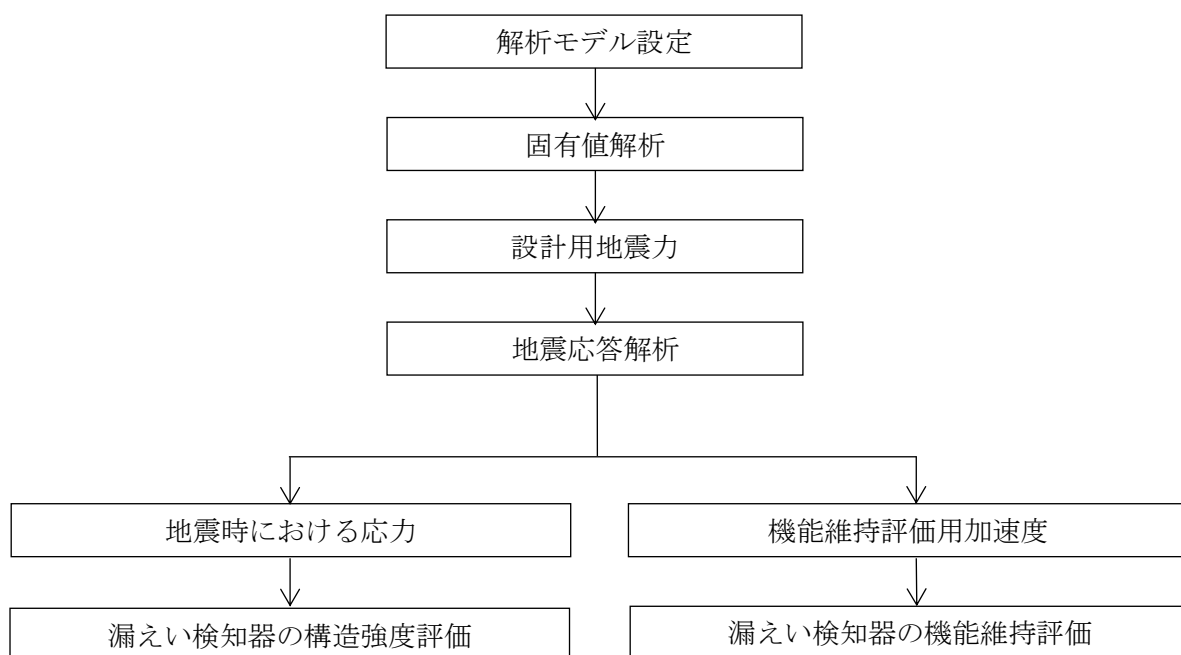


図2-1 漏えい検知器の耐震評価フロー

2.2.3 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。)

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
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 _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-3121.1(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 _{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
Q _b	基礎ボルトに作用するせん断力（1本あたり）	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°Cにおける値	MPa
W ₁	検出器の荷重	N
W ₂	保護管の荷重	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
π	円周率	—
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

2.2.5 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 に示すとおりである。

表 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 桁以下となる場合は、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

漏えい検知器の耐震評価は、「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。漏えい検知器の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4 固有周期

2.4.1 固有値解析方法

漏えい検知器の固有値解析方法を以下に示す。

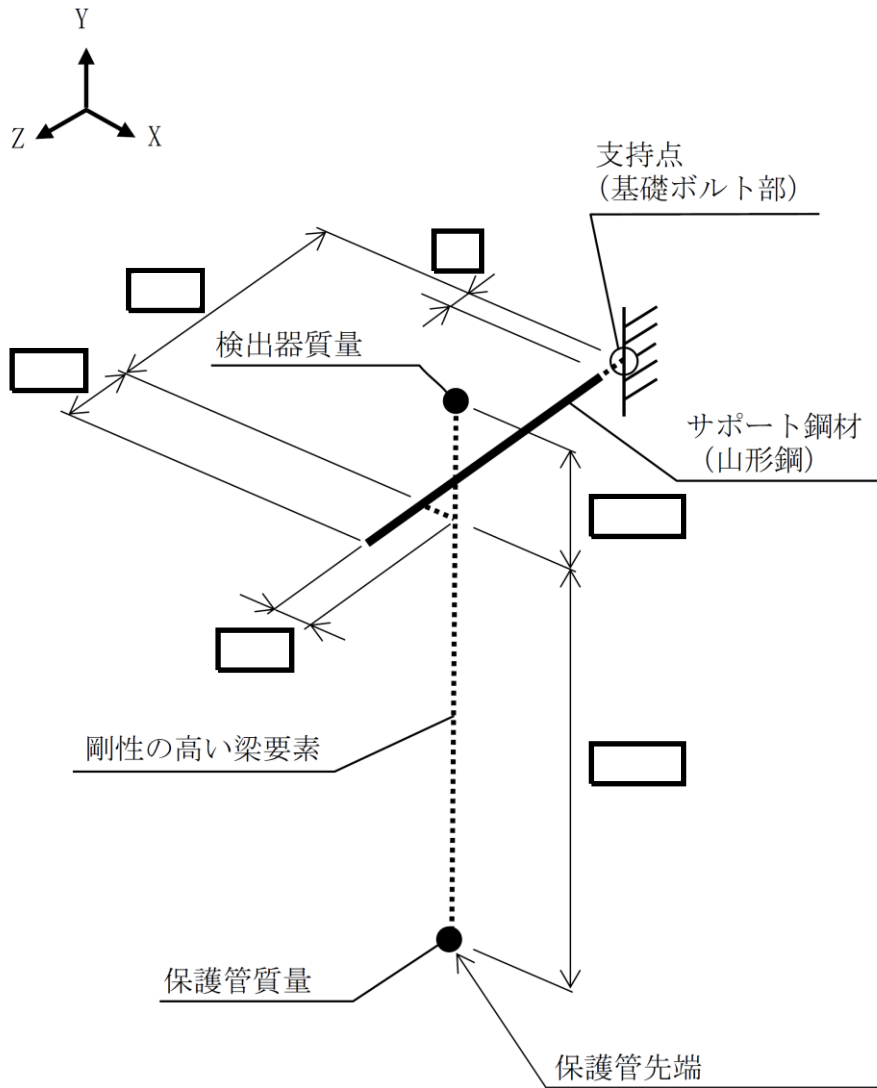
- (1) 漏えい検知器は、「2.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルにより固有周期を算出する。

2.4.2 解析モデル及び諸元

漏えい検知器の解析モデルを図 2-2 に、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【漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2) の耐震性についての計算結果】、【漏えい検知器 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2) の耐震性についての計算結果】、【漏えい検知器 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2) の耐震性についての計算結果】、【漏えい検知器 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 漏えい検知器の検出器及び保護管の質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) 漏えい検知器の検出器及び保護管の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定する。
- (3) 保護管は、重心位置を保守的に設定するため、剛性の高い梁要素としてモデル化し、先端部分に保護管質量を集中して付加する。
- (4) 拘束条件として、基礎部の並進方向及び回転方向を固定する。なお、基礎ボルトは剛体として評価する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (6) 解析コードは、「NSAFE」を使用し、固有値及び荷重を求める。

なお、評価に用いる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。



- EL 300 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2)
- EL 1150 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2)
- EL 2050 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2)
- EL 1950 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2)

(単位 : mm)

図 2-2 解析モデル

2.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-3, 振動モード図を図 2-3 に示す。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。

表 2-3 固有値解析結果

機器番号	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
				X方向	Z方向	
LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2, LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2, LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2, LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2	1次	水平	□	—	—	—

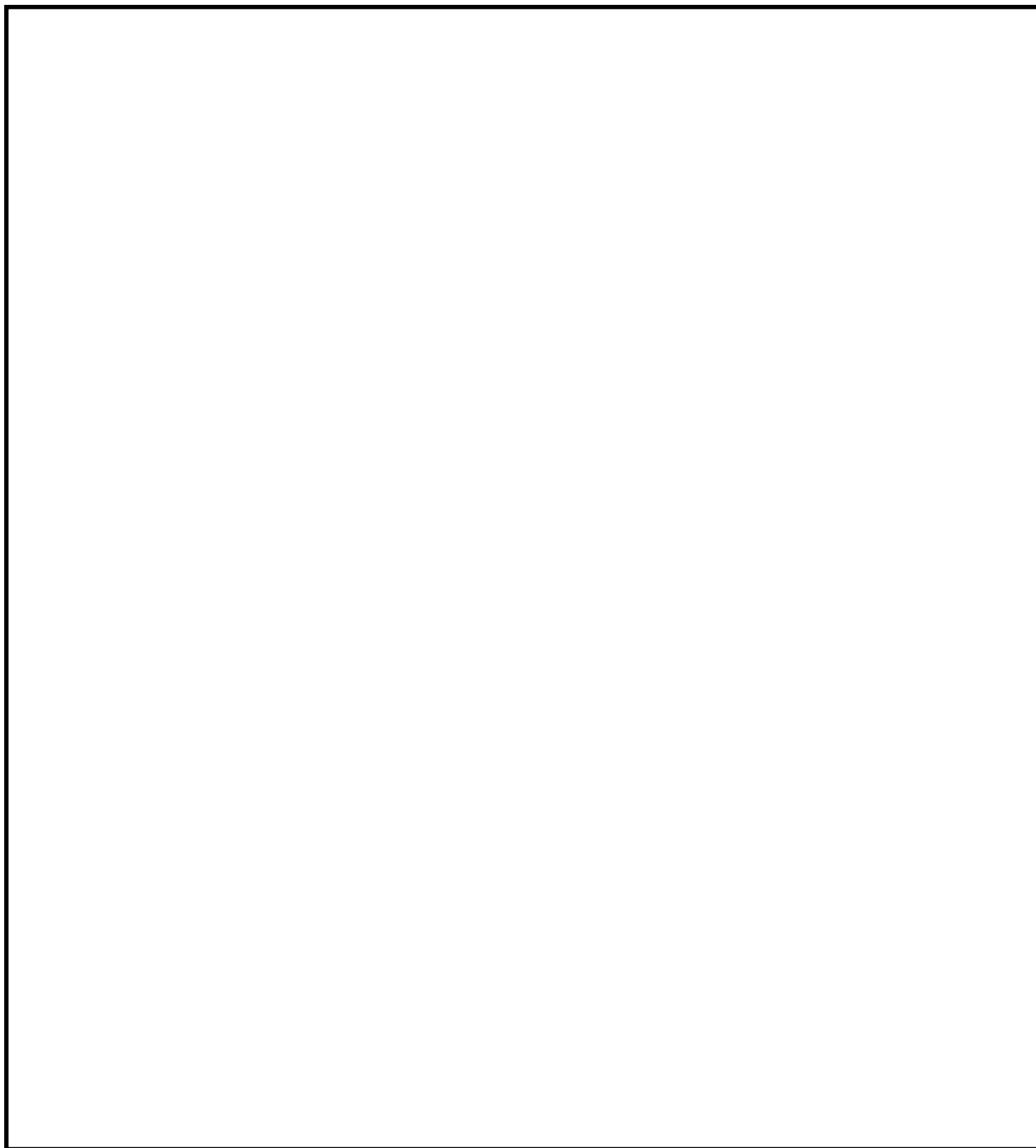


図 2-3 振動モード (1 次モード 水平方向 s)

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

2.4.2項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、漏えい検知器に対して、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。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

漏えい検知器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表2-4に示す。

2.5.2.2 許容応力

漏えい検知器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表2-5のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

漏えい検知器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2-6に示す。

表 2-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

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
その他 発電用原子炉 の附属施設	浸水防護 施設	漏えい検知器	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

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 2-5 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	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
ⅣA 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 2-6 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	50	241	394	—
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394	—

2.5.3 設計用地震力

漏えい検知器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 2-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」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 2-7 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 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2)	タービン建物 EL 0.25 (EL 2.0 ^{*1})		0.05 以下	C _H = 0.81 ^{*2}	C _V = 0.51 ^{*2}	C _H = 1.74 ^{*3}	C _V = 0.99 ^{*3}
漏えい検知器 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2)	取水槽 EL 1.1 (EL 8.8 ^{*1})		0.05 以下	C _H = 2.22 ^{*4}	C _V = 1.01 ^{*4}	C _H = 5.64 ^{*5}	C _V = 1.55 ^{*5}
漏えい検知器 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2)	タービン建物 EL 2.0 (EL 5.5 ^{*1})		0.05 以下	C _H = 1.07 ^{*2}	C _V = 0.54 ^{*2}	C _H = 2.18 ^{*3}	C _V = 1.05 ^{*3}
漏えい検知器 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2)	屋外配管ダクト (タービン建物～ 放水槽) EL 1.9 (EL 4.9～1.9 ^{*1})		0.05 以下	C _H = 0.98 ^{*2}	C _V = 0.83 ^{*2}	C _H = 2.24 ^{*3}	C _V = 2.22 ^{*3}

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）又は静的震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

*4：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、三次元はりモデルによる個別解析から基礎ボルト1本当たりの発生力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

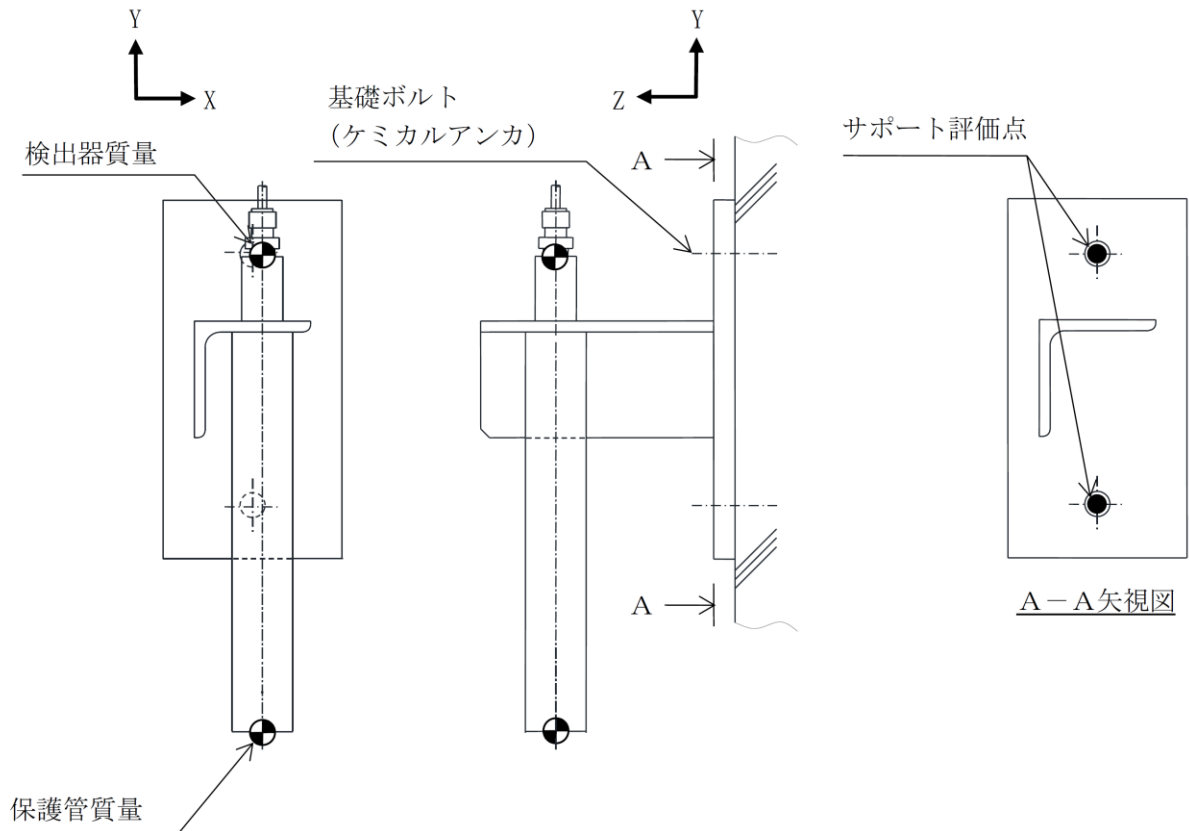


図 2-4 計算モデル (基礎ボルト)

個別解析によって得られた基礎ボルト部の評価点の最大発生力を表 2-8 及び表 2-9 に示す。

表 2-8 サポート発生反力 (弾性設計用地震動 S d 又は静的震度)

対象機器	反力 (N)	
	F b	Q b
LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	
LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2		
LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2		
LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2		

表 2-9 サポート発生反力 (基準地震動 S s)

対象機器	反力(N)	
	F b	Q b
LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2		
LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2		
LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2		
LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2		

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本あたり）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.1)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.2)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本あたり）に対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.3)$$

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【漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2) の耐震性についての計算結果】、【漏えい検知器 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2) の耐震性についての計算結果】、【漏えい検知器 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2) の耐震性についての計算結果】、【漏えい検知器 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2) 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。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

2.5.4.1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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

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 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 機能維持評価

2.6.1 電気的機能維持評価方法

漏えい検知器の電気的機能維持評価について以下に示す。

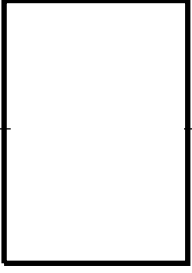
なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

漏えい検知器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表2-10に示す。

表2-10 機能確認済加速度

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

機器名称	方向	機能確認済加速度
漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2, LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2, LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2, LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2)	水平	
	鉛直	

2.7 評価結果

2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

漏えい検知器の設計基準対象施設としての耐震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，電気的機能を維持できることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2) の耐震性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 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2)	S	タービン建物 EL 0.25 (EL 2.0 ^{*1})	□	0.05 以下	C _H =0.81 ^{*2}	C _V =0.51 ^{*2}	C _H =1.74 ^{*3}	C _V =0.99 ^{*3}	50

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) 又は静的震度

*3: 設計用震度 II (基準地震動 S_s)

1.2 機器要目

部材	W ₁ (N)	W ₂ (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	□				241 (径 ≤ 16mm)	394 (径 ≤ 16mm)	241	276

1.3 計算数値

1.3.1 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 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト				

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 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_{b=1}$	$f_{ts}=144^*$	$\sigma_{b=1}$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	$\tau_{b=1}$	$f_{sb}=111$	$\tau_{b=1}$	$f_{sb}=127$

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。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2)	水平方向	1.46	
	鉛直方向	0.83	

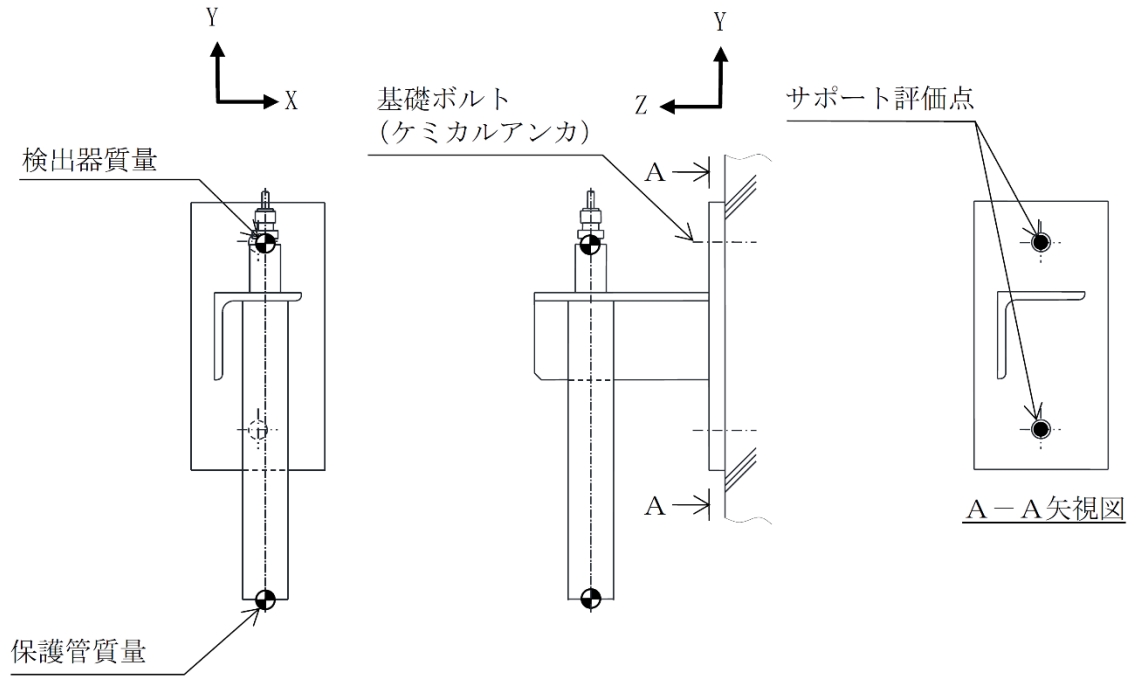
注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

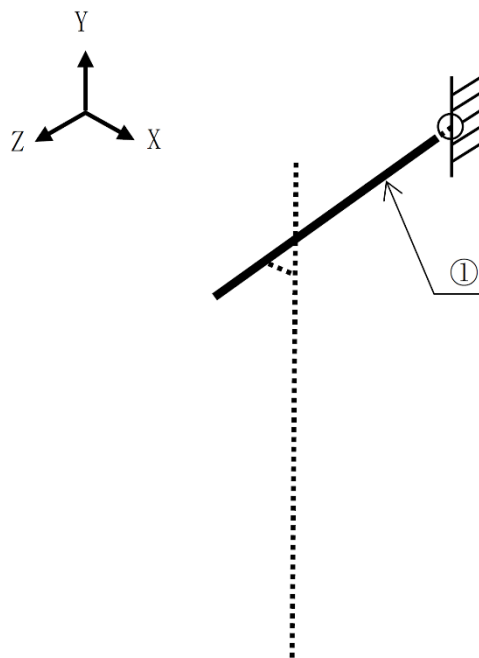
(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2)
材質	—	—	SUS304
質量	m	kg	<input type="text"/>
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	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



(2) 断面性状

部材	サポート鋼材
要素	①
A (mm ²)	
Z ₁ (mm ³)	
Z ₂ (mm ³)	
Z _p (mm ³)	
断面形状 (mm)	



S2 補 VI-2-10-2-12 R1

【漏えい検知器 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2) の耐震性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 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
漏えい検知器 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2)	S	取水槽 EL 1.1 (EL 8.8 ^{*1})		0.05 以下	C _H =2.22 ^{*2}	C _V =1.01 ^{*2}	C _H =5.64 ^{*3}	C _V =1.55 ^{*3}	50

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) 及び静的震度を上回る設計震度

*3: 設計用震度Ⅱ (基準地震動 S_s) 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)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト					241 (径 ≤ 16mm)	394 (径 ≤ 16mm)	241	276

1.3 計算数値

1.3.1 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 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	[]		[]	

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 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=144^*$	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=111$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=127$

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。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

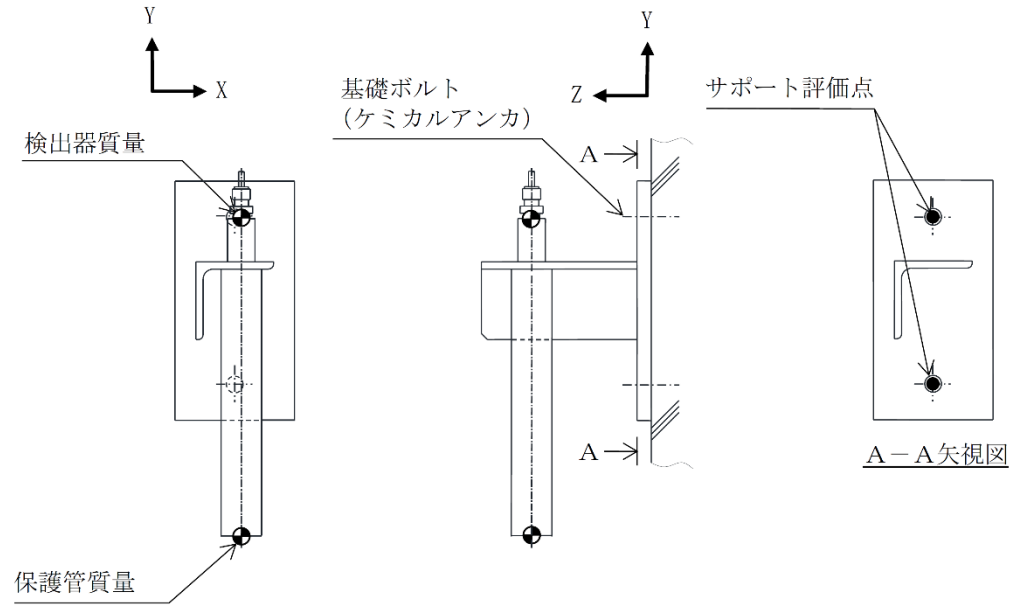
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検知器 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2)	水平方向	3.14	[]
	鉛直方向	0.86	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度により定まる加速度
 機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

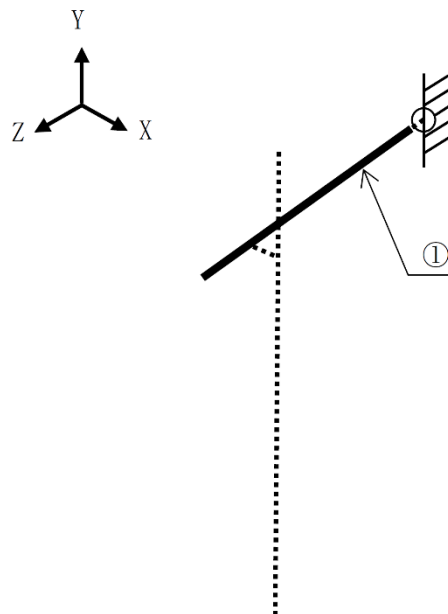
(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2)
材質	—	—	SUS304
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	



(2) 断面性状

部材	サポート鋼材
要素	①
A (mm ²)	
Z ₁ (mm ³)	
Z ₂ (mm ³)	
Z _p (mm ³)	
断面形状 (mm)	



【漏えい検知器 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2) の耐震性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 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
漏えい検知器 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2)	S	タービン建物 EL 2.0 (EL 5.5* ¹)	□	0.05 以下	C _H =1.07* ²	C _V =0.54* ²	C _H =2.18* ³	C _V =1.05* ³	50

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）又は静的震度

*3：設計用震度 II（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	W ₁ (N)	W ₂ (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	□				241 (径 ≤ 16mm)	394 (径 ≤ 16mm)	241	276

1.3 計算数値

1.3.1 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 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	□		□	

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 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_{b=1}$	$f_{ts}=144^*$	$\sigma_{b=1}$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	$\tau_{b=1}$	$f_{sb}=111$	$\tau_{b=1}$	$f_{sb}=127$

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。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

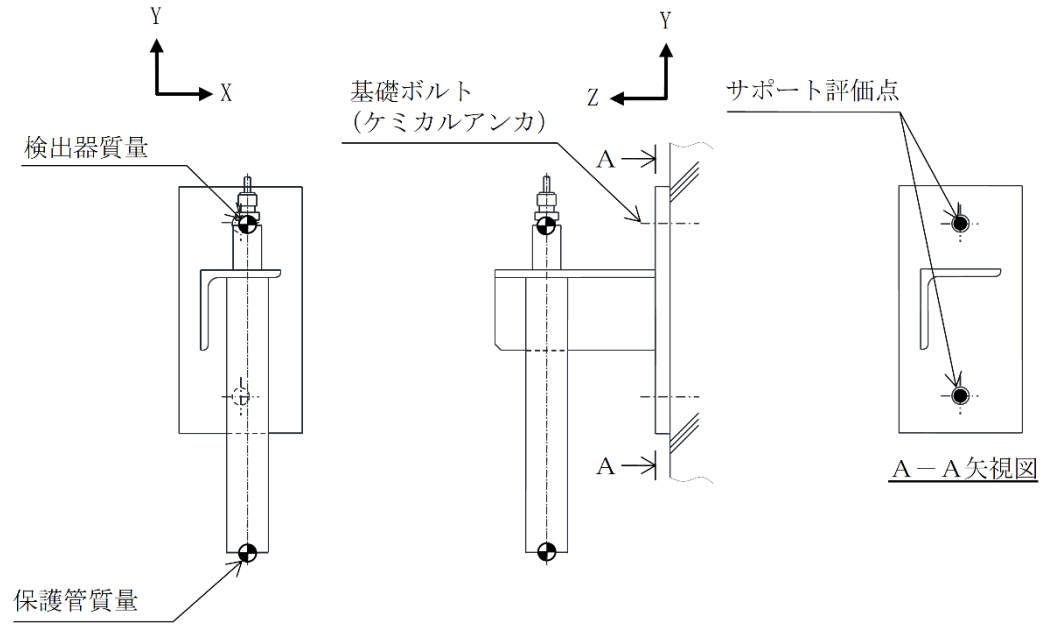
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検知器 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2)	水平方向	1.82	□
	鉛直方向	0.89	

注記*：設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度
 機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

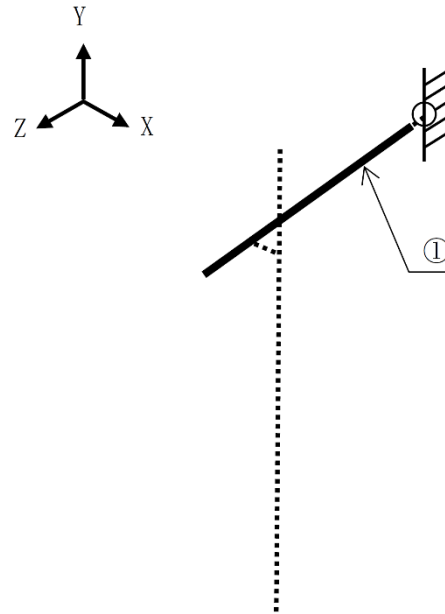
(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2)
材質	—	—	SUS304
質量	m	kg	<input type="text"/>
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	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



(2) 断面性状

部材	サポート鋼材
要素	①
A (mm ²)	
Z ₁ (mm ³)	
Z ₂ (mm ³)	
Z _p (mm ³)	
断面形状 (mm)	



【漏えい検知器 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2) の耐震性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 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
漏えい検知器 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2)	S	屋外配管ダクト (タービン 建物~放水槽) EL 1.9 (EL 4.9~1.9* ¹)	□	0.05 以下	C _H =0.98* ²	C _V =0.83* ²	C _H =2.24* ³	C _V =2.22* ³	50

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) 又は静的震度

*3: 設計用震度 II (基準地震動 S_s)

1.2 機器要目

部材	W ₁ (N)	W ₂ (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	□				241 (径 ≤ 16mm)	394 (径 ≤ 16mm)	241	276

1.3 計算数値

1.3.1 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 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	□		□	

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 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=144^*$	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=111$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=127$

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。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

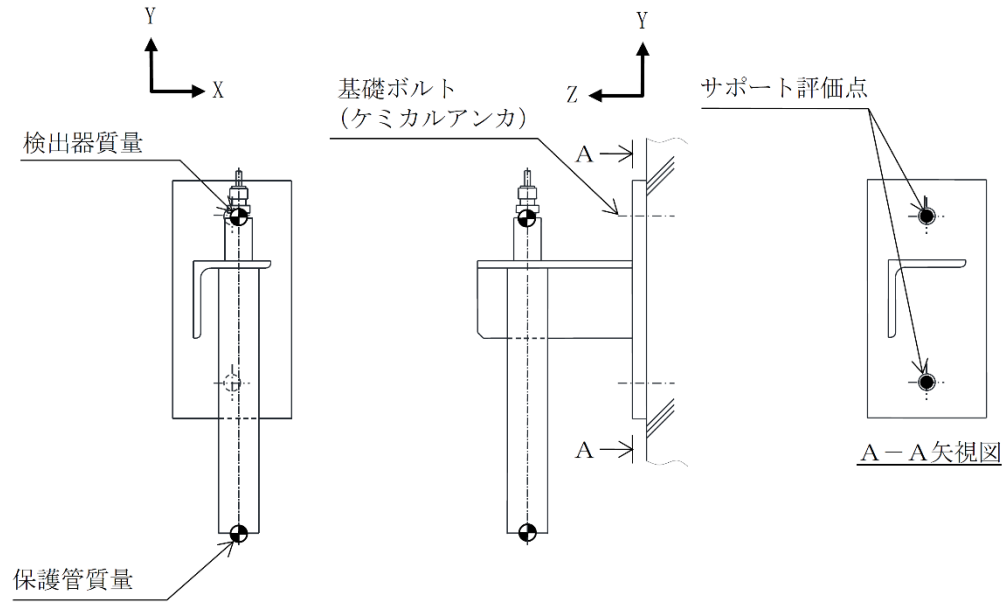
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検知器 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2)	水平方向	1.88	□
	鉛直方向	1.85	

注記*：設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度
 機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

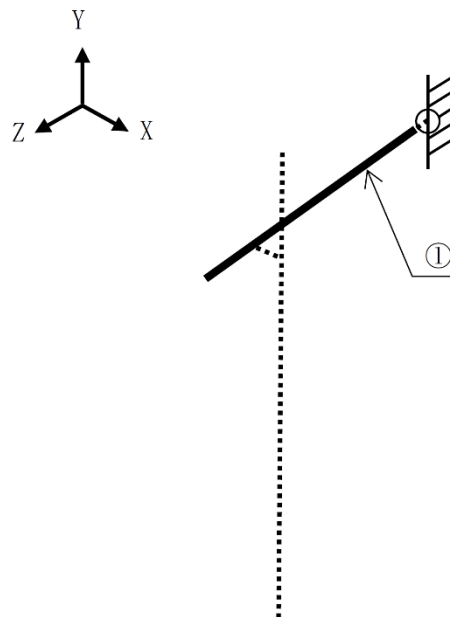
(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2)
材質	—	—	SUS304
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	50
縦弾性係数	E	MPa	193000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



(2) 断面性状

部材	サポート鋼材
要素	①
A (mm ²)	
Z ₁ (mm ³)	
Z ₂ (mm ³)	
Z _p (mm ³)	
断面形状 (mm)	



3. 防護設備制御盤 (2-1007)

3.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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、防護設備制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

防護設備制御盤は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

防護設備制御盤の構造計画を表 3-1 に示す。

表 3-1 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>防護設備制御盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>	<p>(正面図) (側面図)</p> <p>(単位：mm)</p>

3.3 固有周期

3.3.1 固有周期の確認

防護設備制御盤の固有周期は、構造が同等な盤に対する振動試験（自由振動試験）の結果算定された固有周期を使用する。固有周期の確認結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有周期 (単位：s)

防護設備制御盤 (2-1007)	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

3.4 構造強度評価

3.4.1 構造強度評価方法

防護設備制御盤の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

防護設備制御盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.4.2.2 許容応力

防護設備制御盤の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-4 のとおりとする。

3.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

防護設備制御盤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 に示す。

3.4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【防護設備制御盤（2-1007）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。

表 3-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

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
その他 発電用原子炉 の附属施設	浸水防護 施設	防護設備制御盤	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

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 3-4 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
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A 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 3-5 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				
取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	231	394	—

3.5 機能維持評価

3.5.1 電氣的機能維持評価方法

防護設備制御盤の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤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。

防護設備制御盤に設置される器具の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該器具と類似の器具単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-6 に示す。

表 3-6 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
防護設備制御盤 (2-1007)	水平	□
	鉛直	□

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

防護設備制御盤の設計基準対象施設としての耐震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，電氣的機能を維持できることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【防護設備制御盤（2-1007）の耐震性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 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
防護設備制御盤 (2-1007)	S	廃棄物処理建物 EL 16.9 ^{*1}	0.05 以下	0.05 以下	C _H =1.25 ^{*2}	C _V =0.68 ^{*2}	C _H =1.88 ^{*3}	C _V =1.46 ^{*3}	50

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）又は静的震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
取付ボルト (i=2)		1300	16 (M16)	201.1	36	231 (16mm<径≤40mm)	394 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} [*] (mm)	l _{2 i} [*] (mm)	n _{f i} [*]	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	300	480	12	231	276	短辺方向	長辺方向
	1045	1285	4				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	□	□	□	□

1.4 結論

1.4.1 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 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	$\sigma_{b2}=20$	$f_{ts2}=173^*$	$\sigma_{b2}=39$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=133$	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=159$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

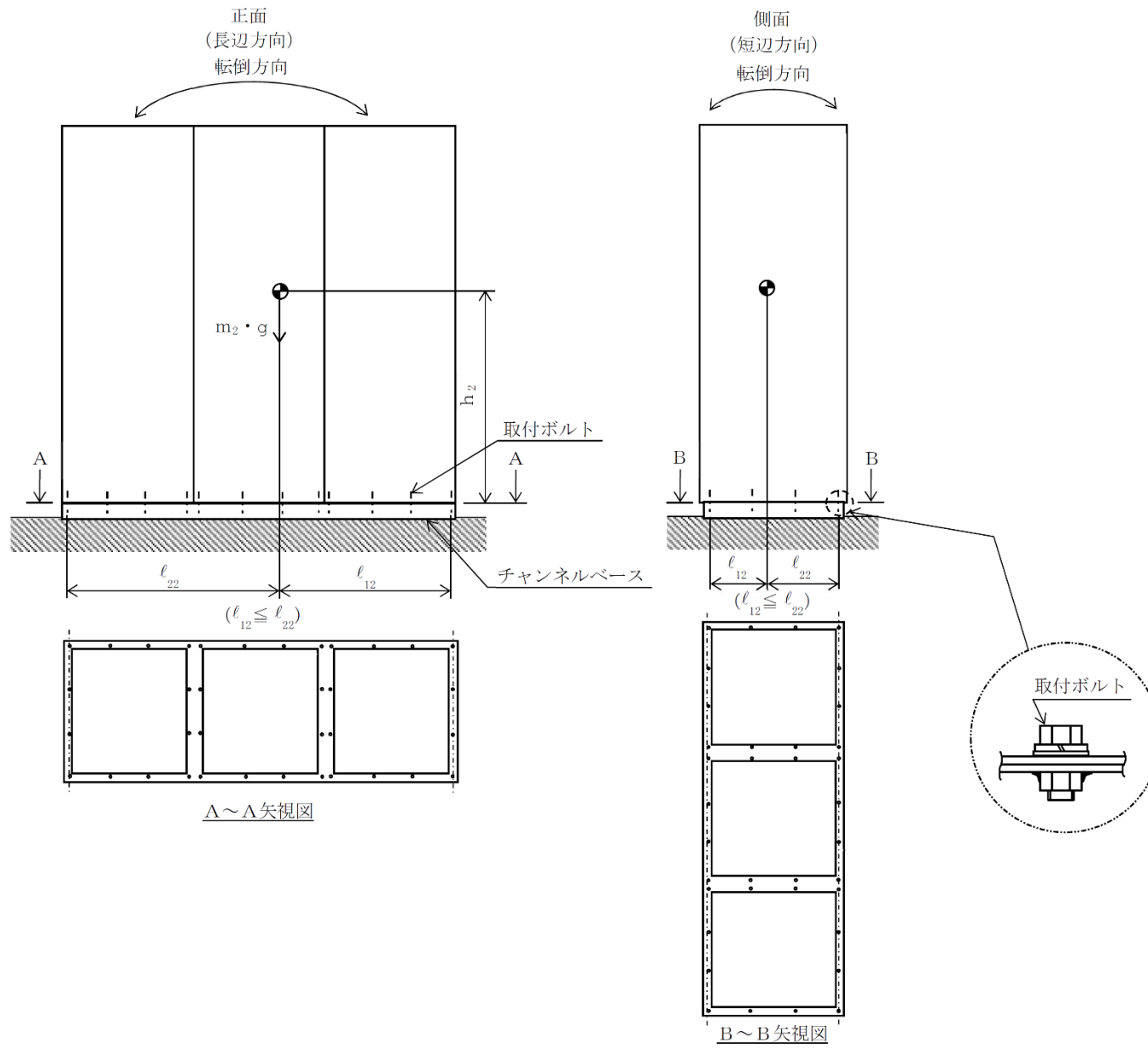
1.4.2 電气的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
防護設備制御盤 (2-1007)	水平方向	1.56	□
	鉛直方向	1.22	□

注記*：設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-10-2-13 堰の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 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	25
2.6 記号の説明	26
3. 固有振動数及び設計用地震力	29
3.1 固有振動数の計算方法	29
3.1.1 解析モデルの設定	29
3.1.2 記号の説明	30
3.1.3 固有振動数の算出方法	30
3.2 固有振動数の計算条件	31
3.3 固有振動数の計算結果	46
3.4 設計用地震力	54
4. 構造強度評価	56
4.1 評価対象部位及び評価対象設備	56
4.1.1 柱支持型堰	56
4.1.2 鋼板折曲げ型堰	61
4.1.3 鉄筋コンクリート製堰	63
4.2 荷重及び荷重の組合せ	64
4.2.1 荷重の組合せ	64
4.2.2 荷重	64
4.3 許容限界	65
4.3.1 柱支持型堰の許容限界	65
4.3.2 鋼板折曲げ型堰の許容限界	67
4.3.3 鉄筋コンクリート製堰の許容限界	68
4.4 評価方法	69
4.4.1 柱支持型堰の評価方法	69
4.4.2 鋼板折曲げ型堰の評価方法	77
4.4.3 鉄筋コンクリート製堰の評価方法	79
4.5 評価条件	84
5. 評価結果	86

1. 概要

本資料は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に示すとおり、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。）があり、溢水用堰については基準地震動 S_S による地震力に対して、管理区域堰については耐震設計上の重要度分類 B クラスの施設に適用される静的地震力 S_B に対して溢水伝播を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有することを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

堰は設計基準対象施設においては耐震設計上の重要度分類 B クラス及び C-2* クラスに分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

注記*：工事計画の基本方針に示す原子炉本体の主要設備リストに記載される略語の定義のうち、基準地震動による地震力に対して火災感知及び消火の機能又は溢水伝播を防止する機能を保持できる設計とするもの。

2. 一般事項

2.1 検討対象堰一覧

検討対象の堰の各建物の数を表 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。

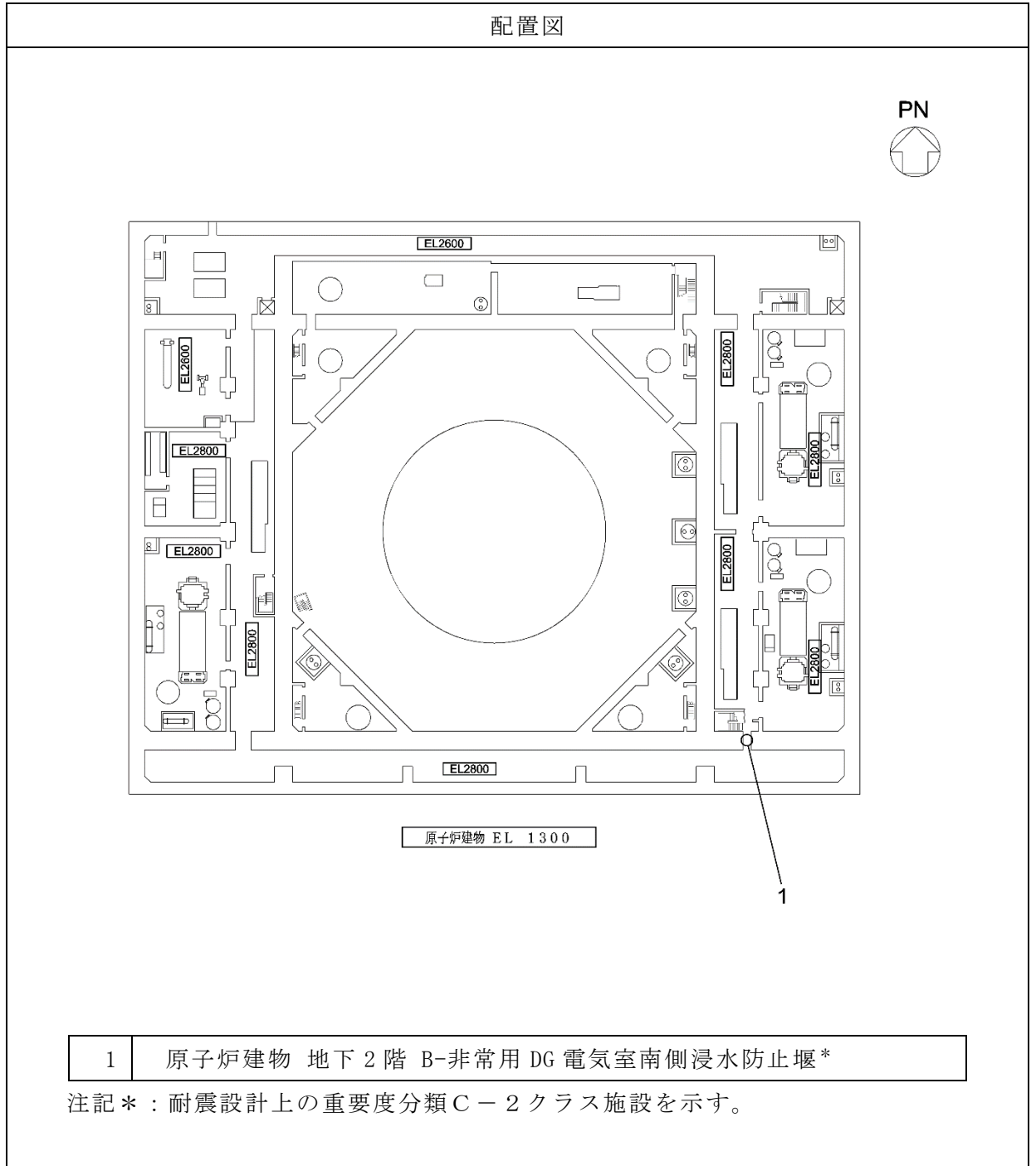


図 2-1 設置位置図 (1/19)

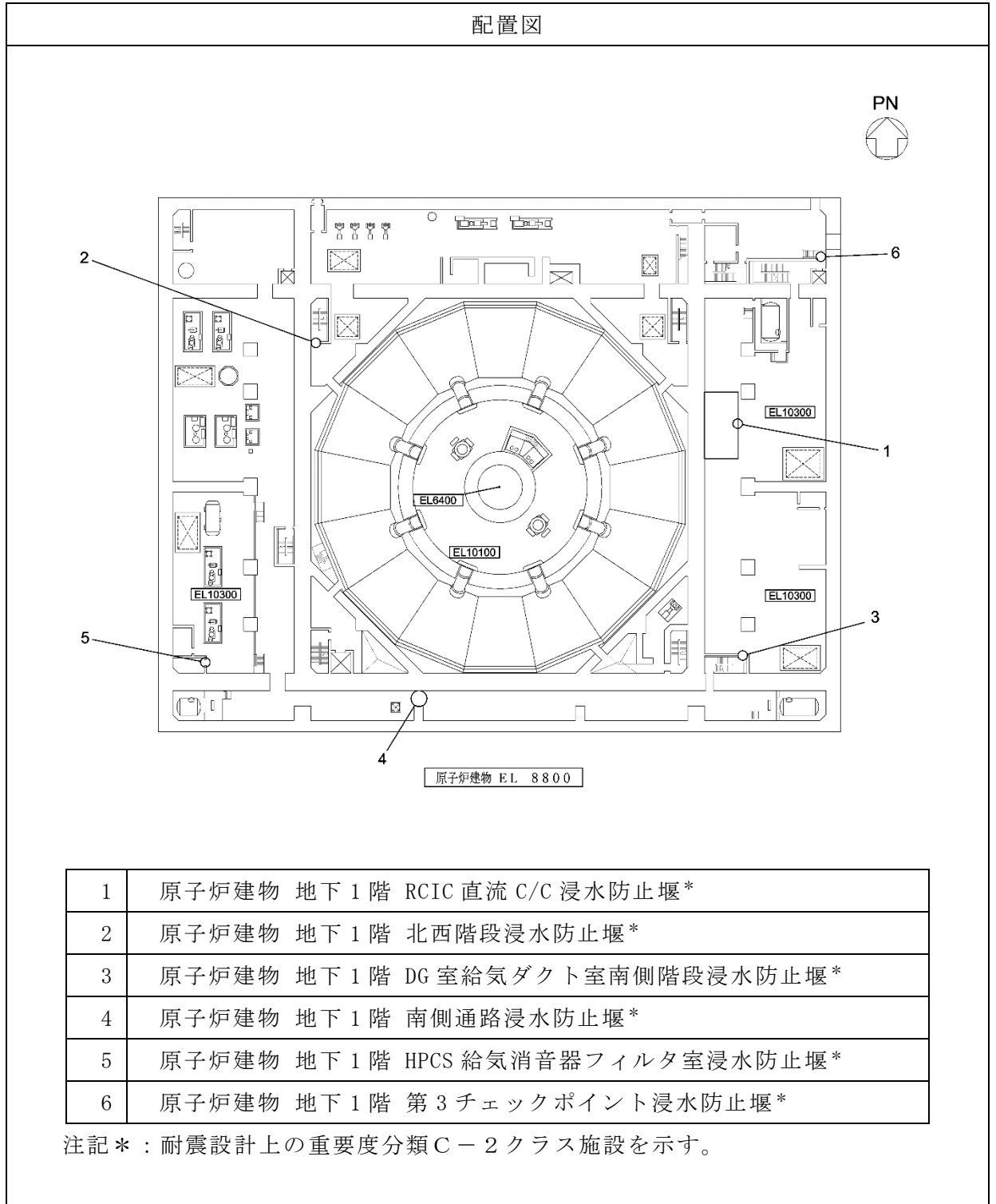


図 2-1 設置位置図 (2/19)

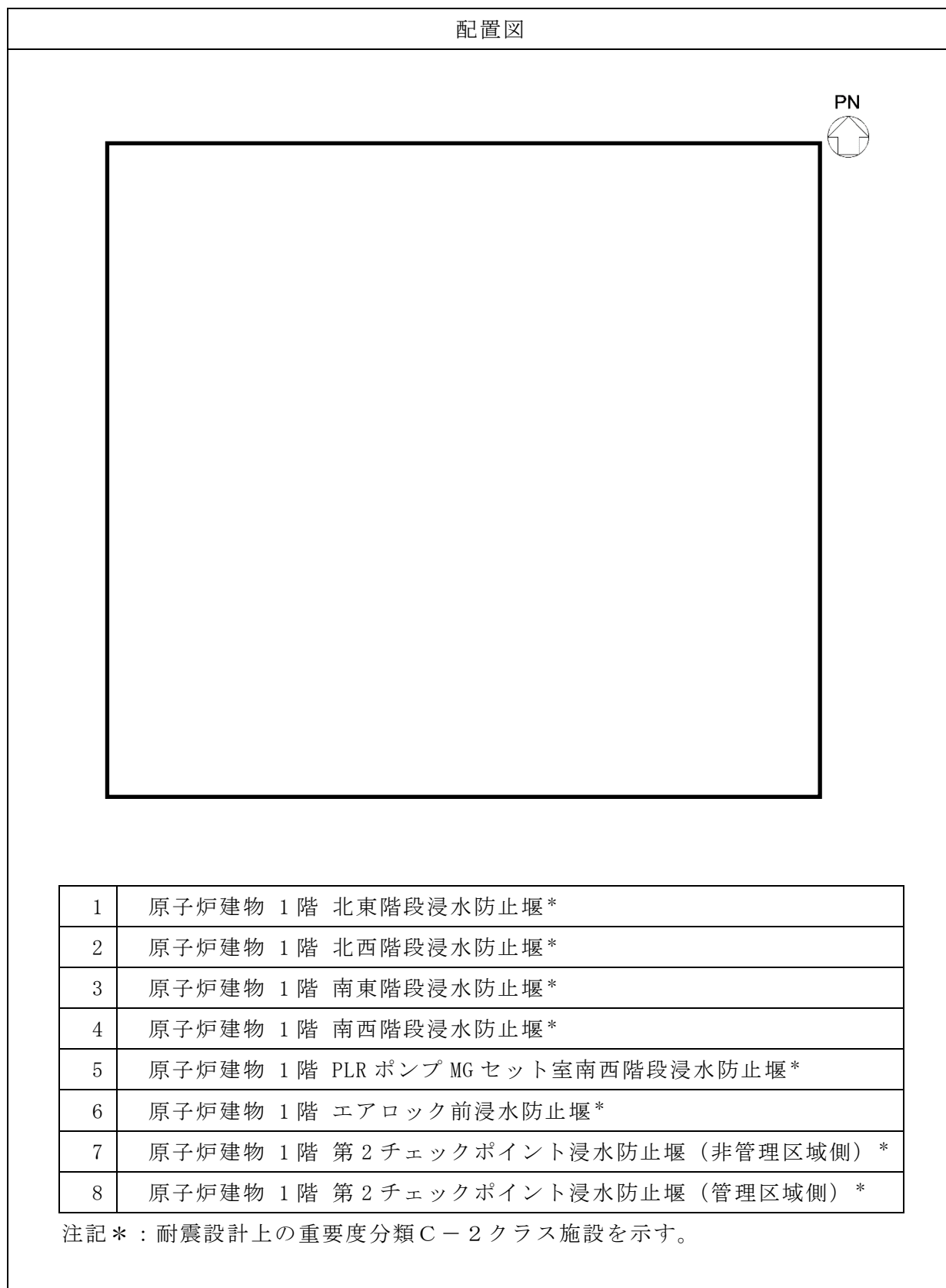


図 2-1 設置位置図 (3/19)

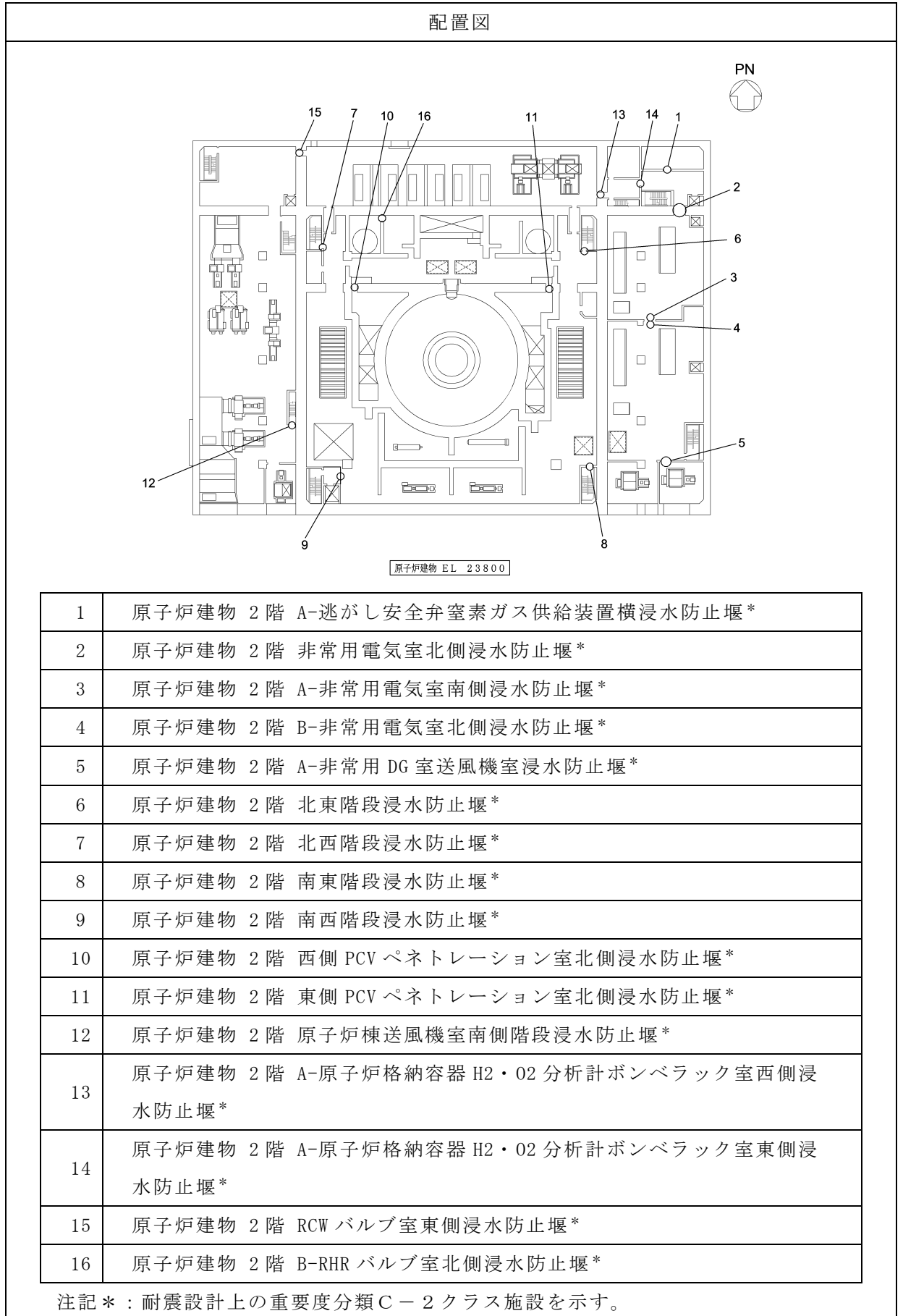


図 2-1 設置位置(4/19)

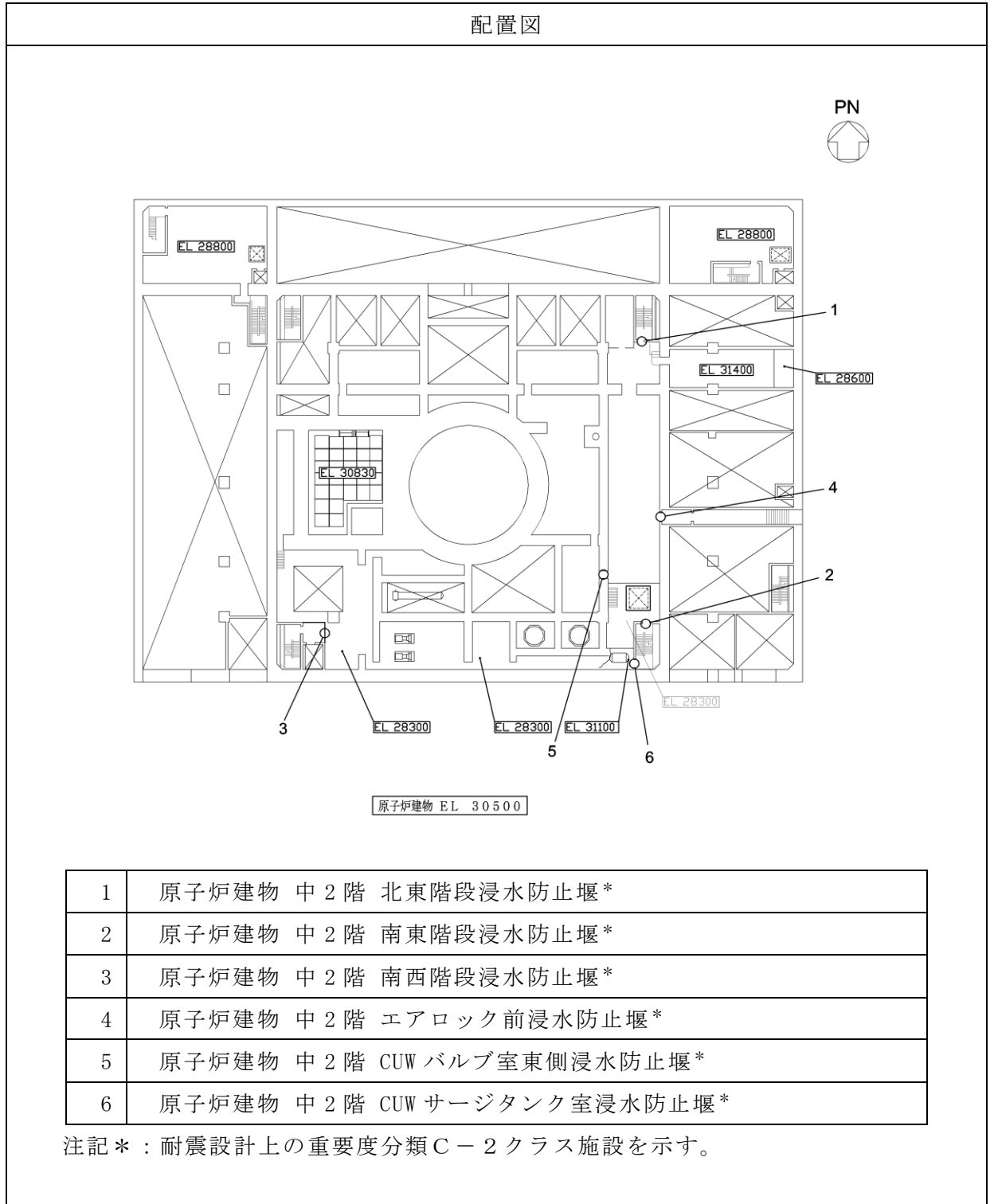


図 2-1 設置位置図 (5/19)

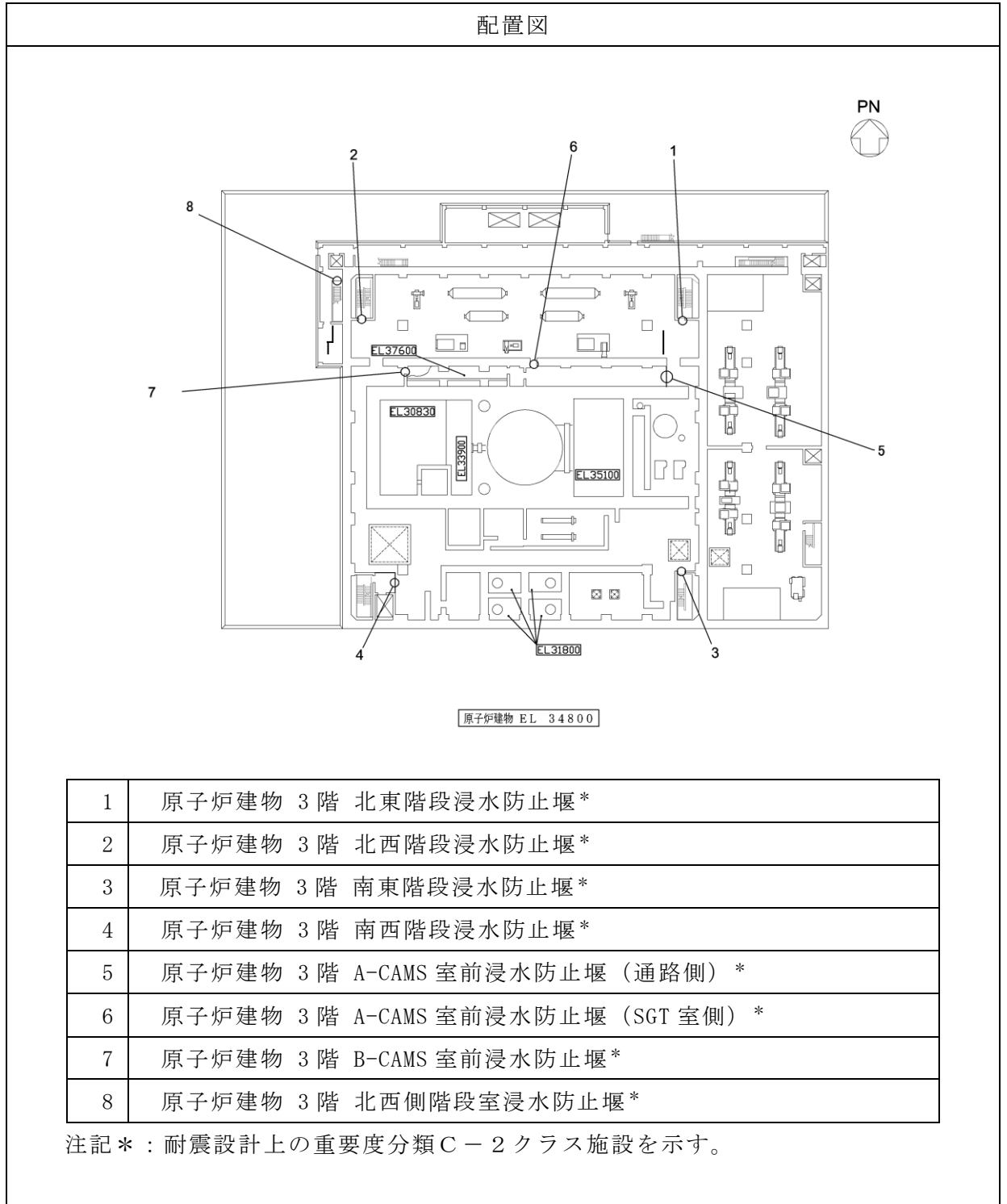


図 2-1 設置位置図(6/19)

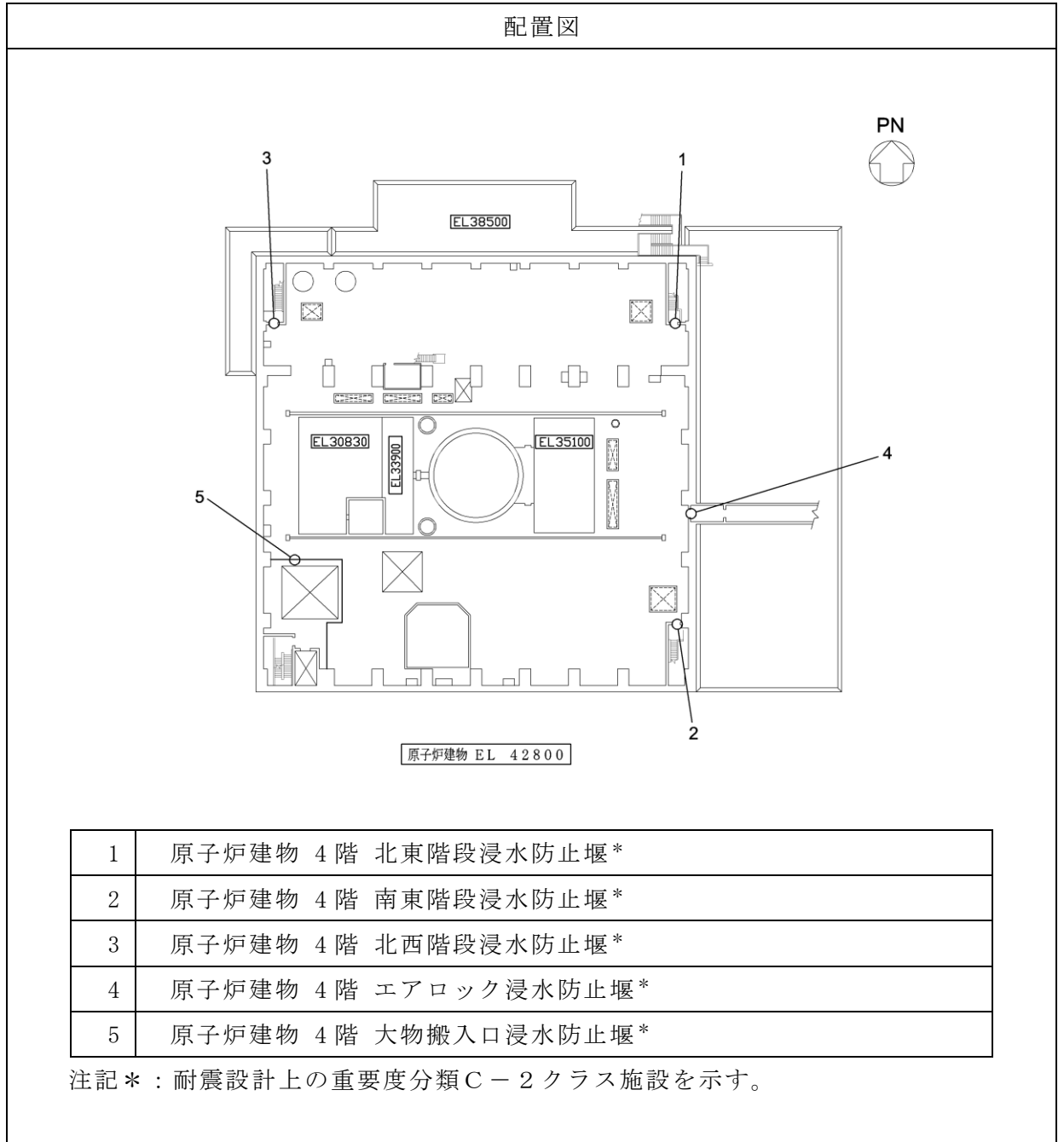


図 2-1 設置位置図 (7/19)

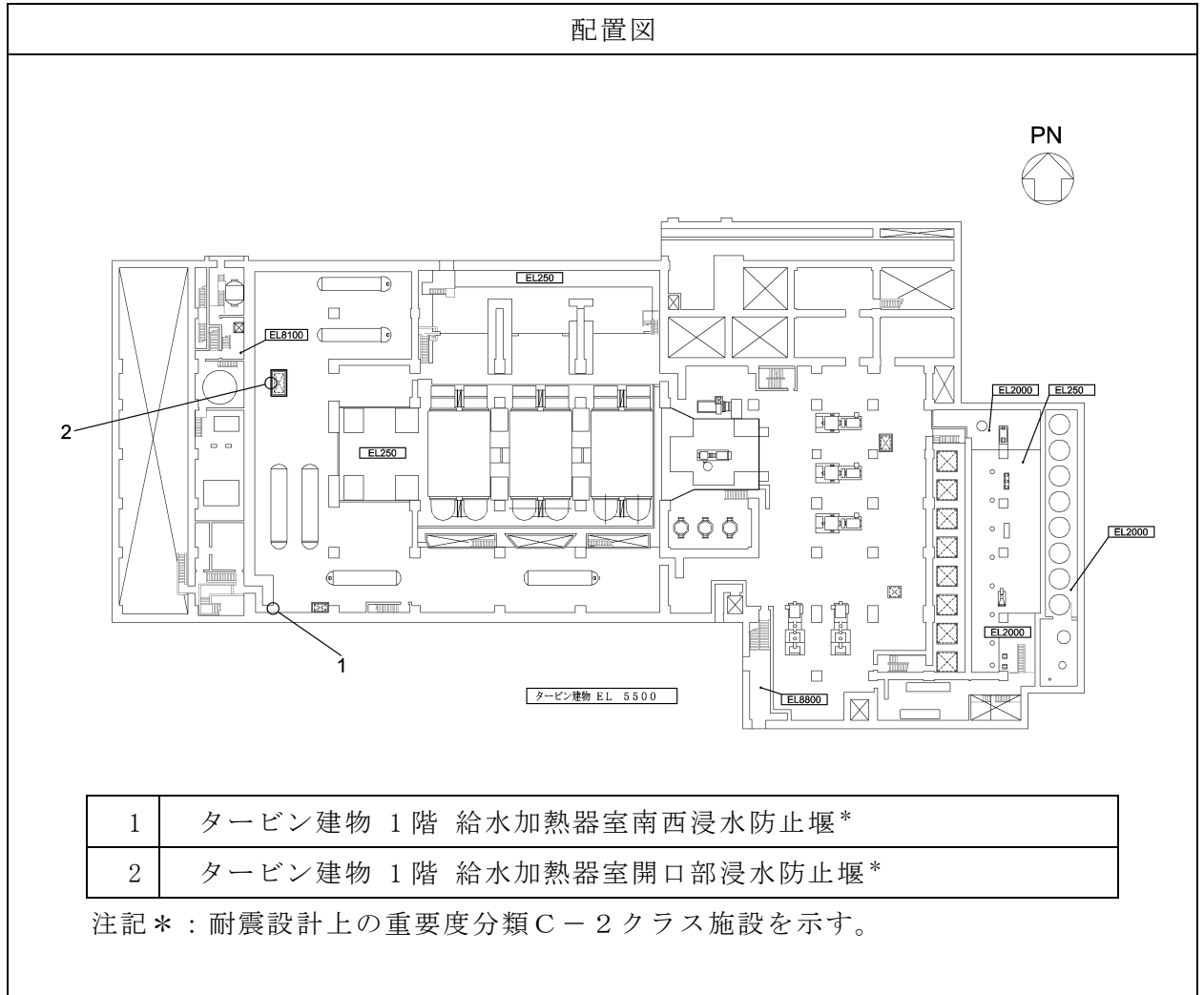


図 2-1 設置位置図 (8/19)

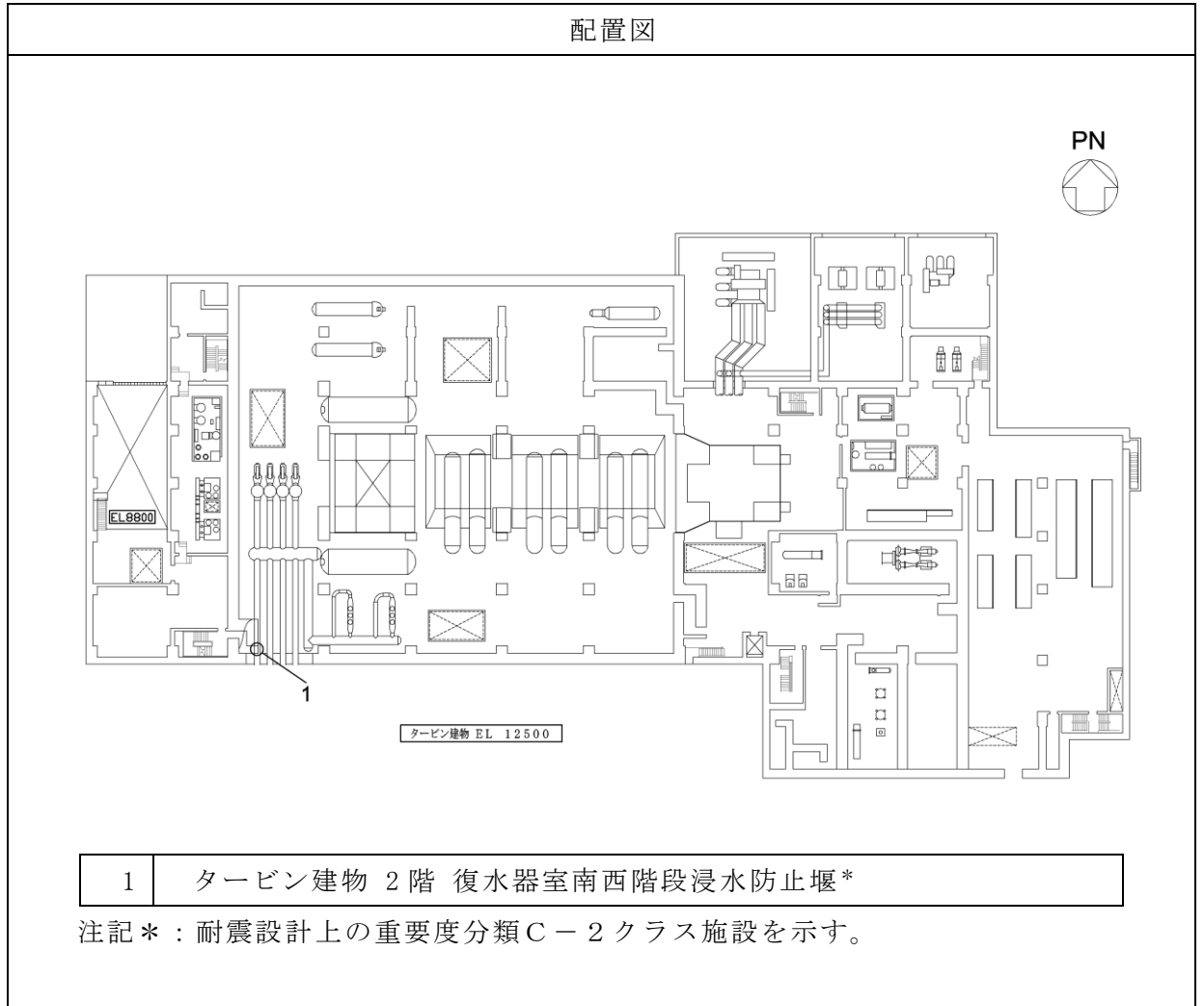


図 2-1 設置位置図 (9/19)

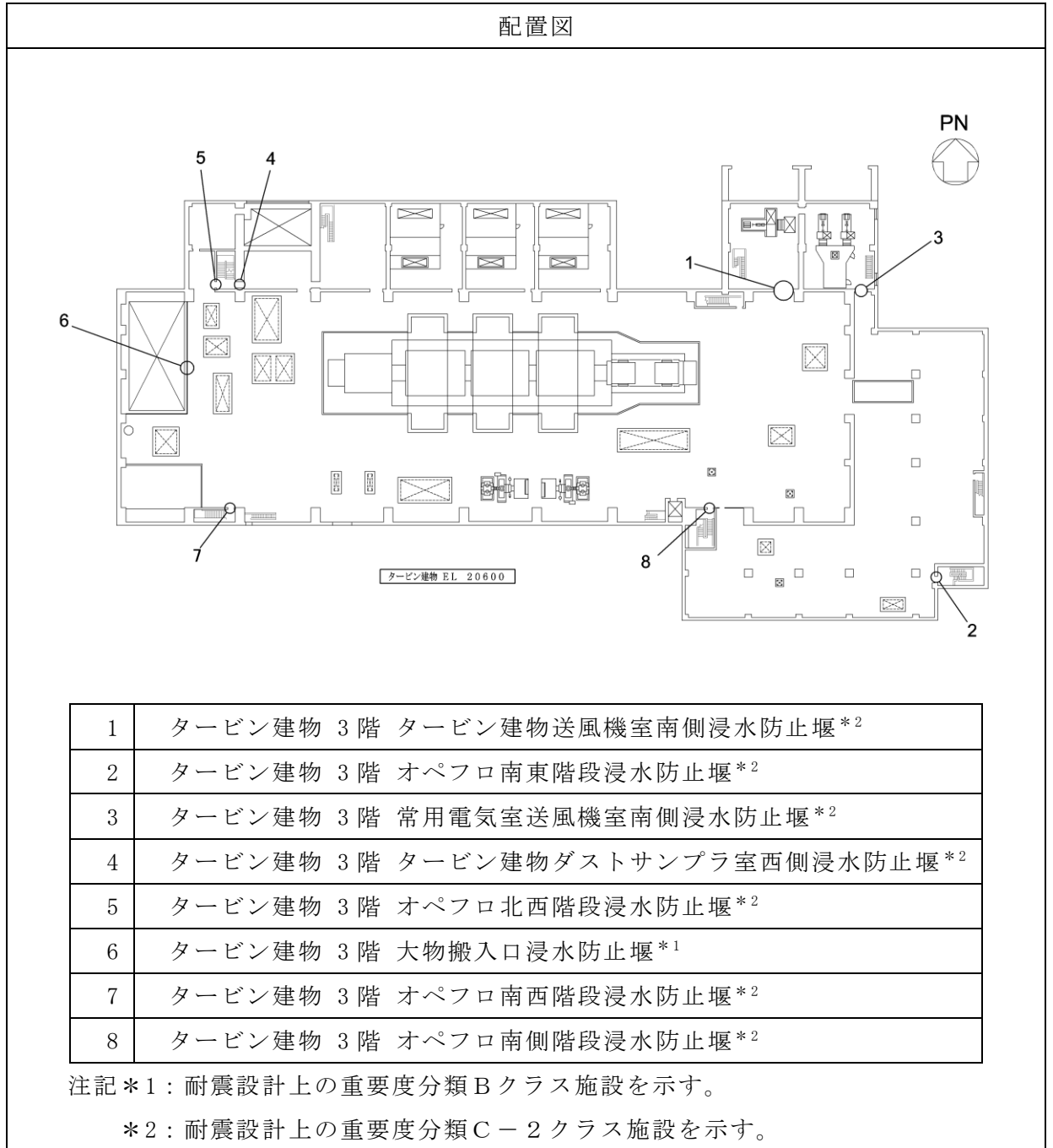


図 2-1 設置位置図(10/19)

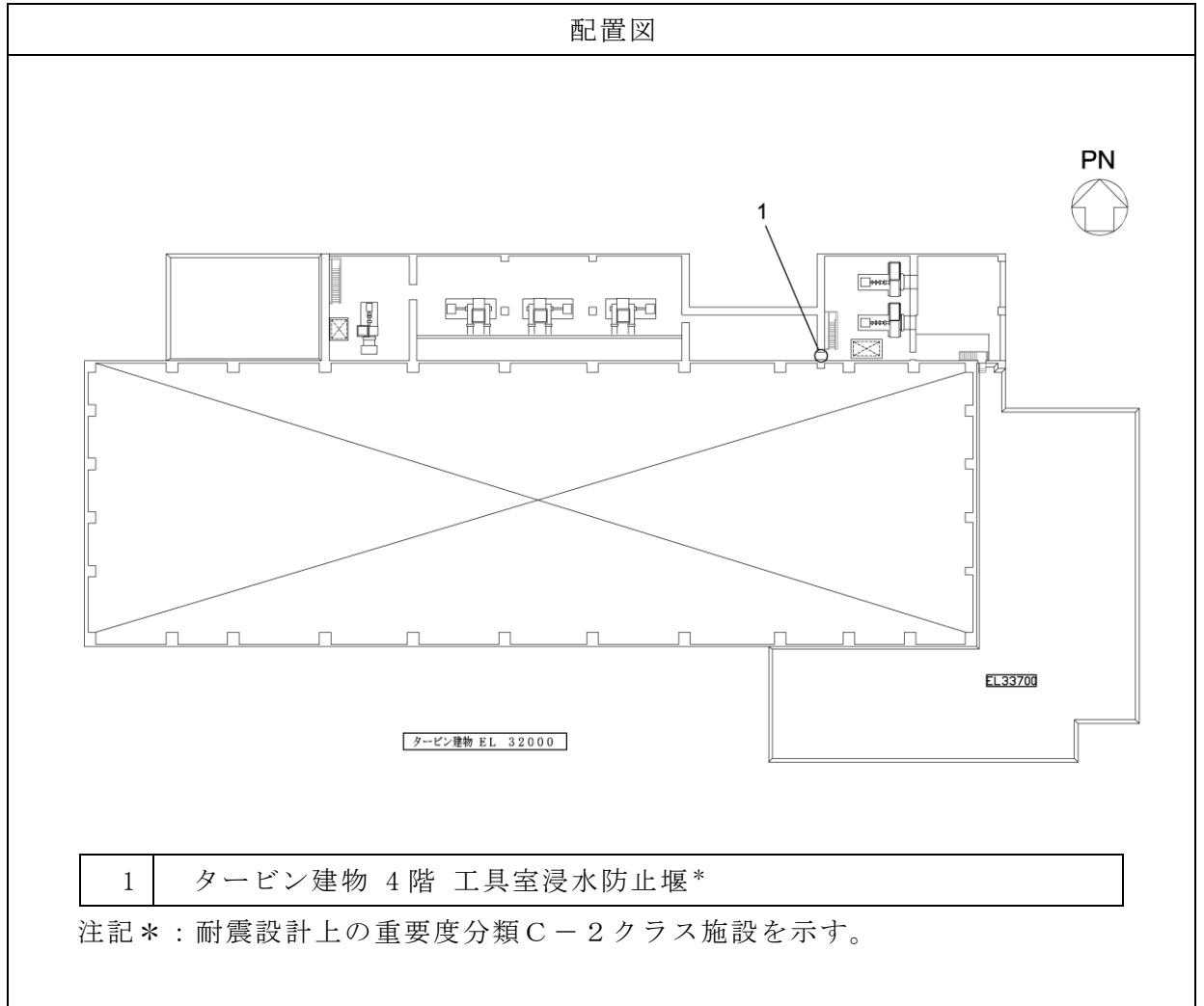


図 2-1 設置位置図(11/19)

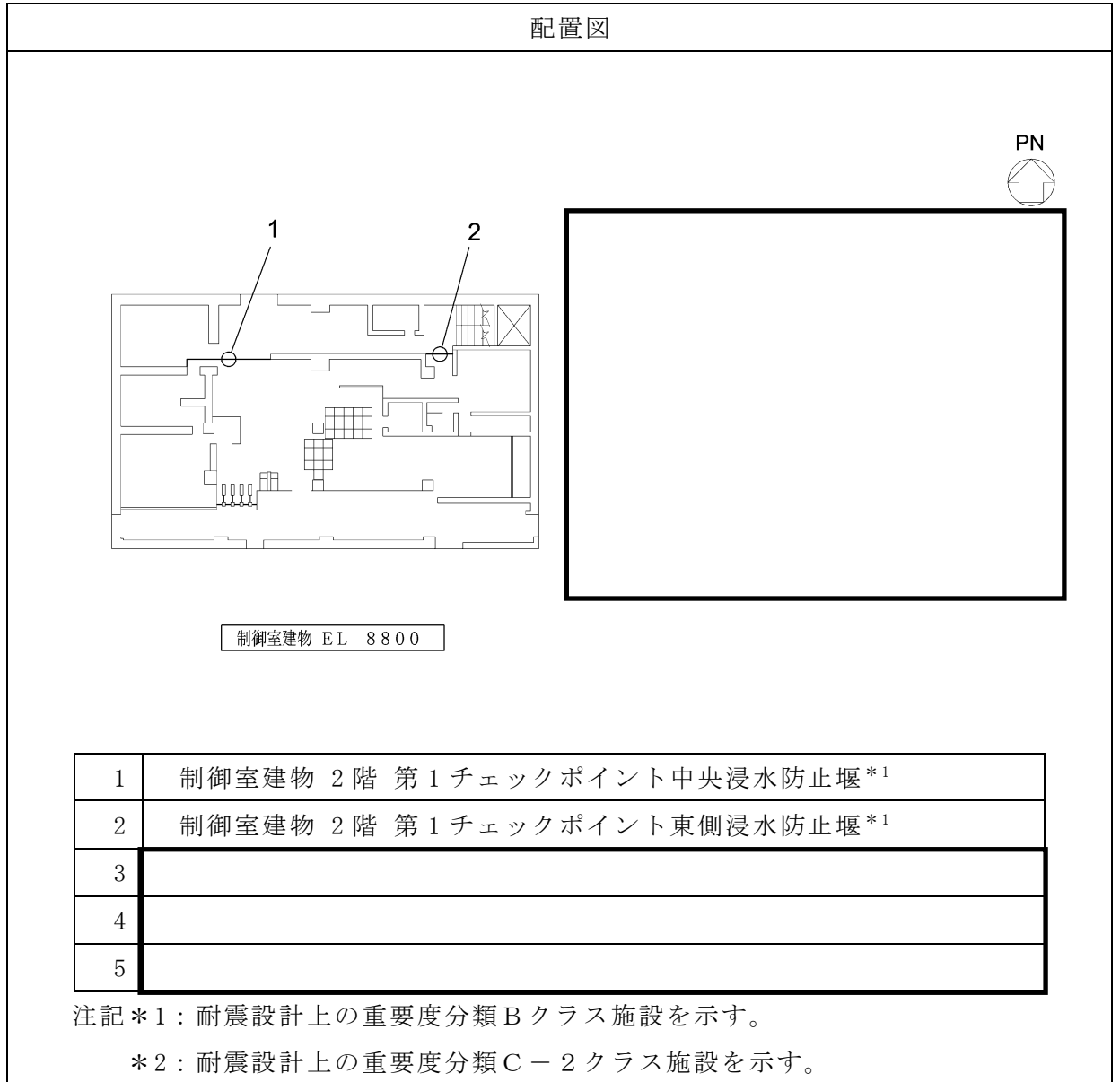


図 2-1 設置位置図 (12/19)

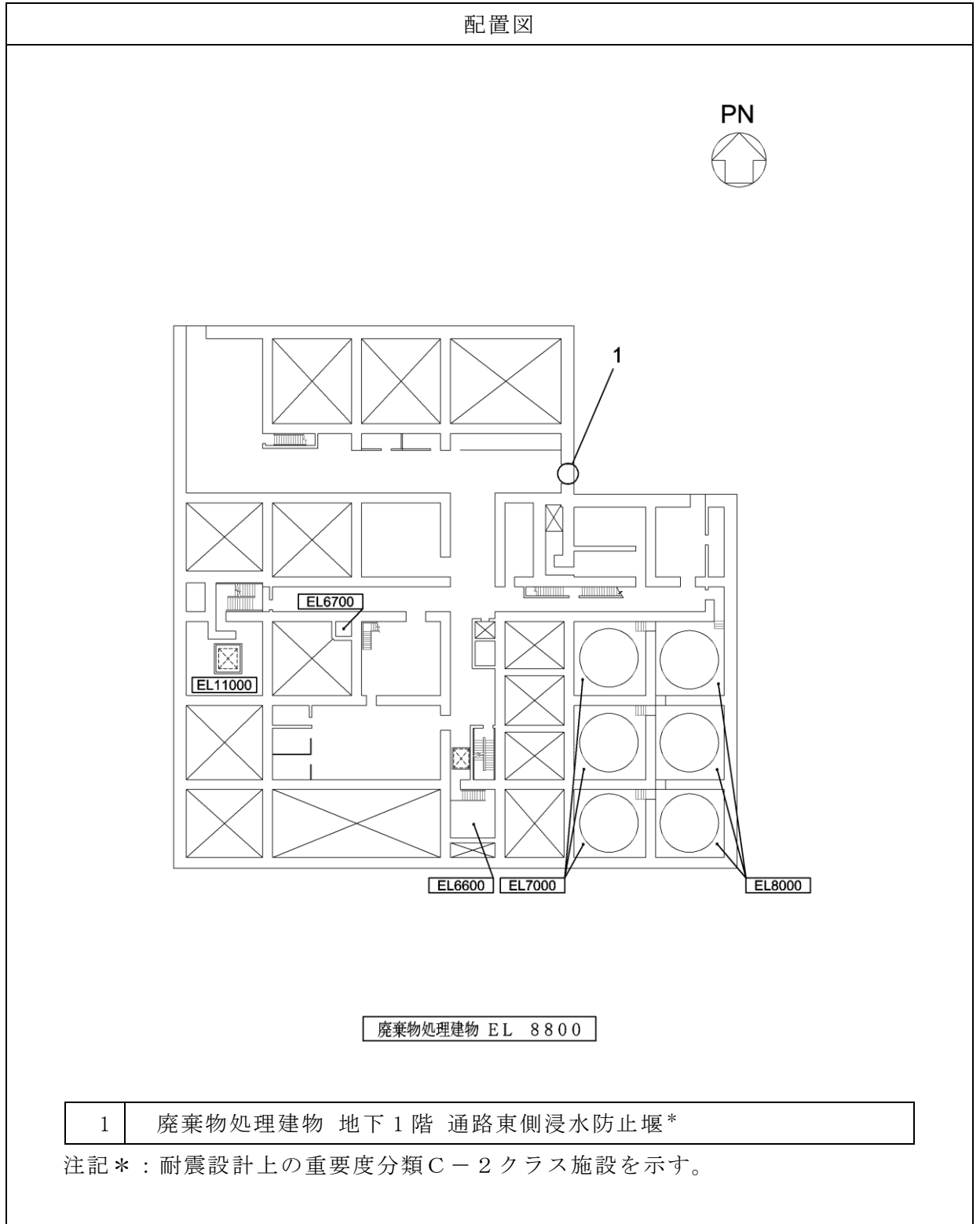


図 2-1 設置位置図 (13/19)

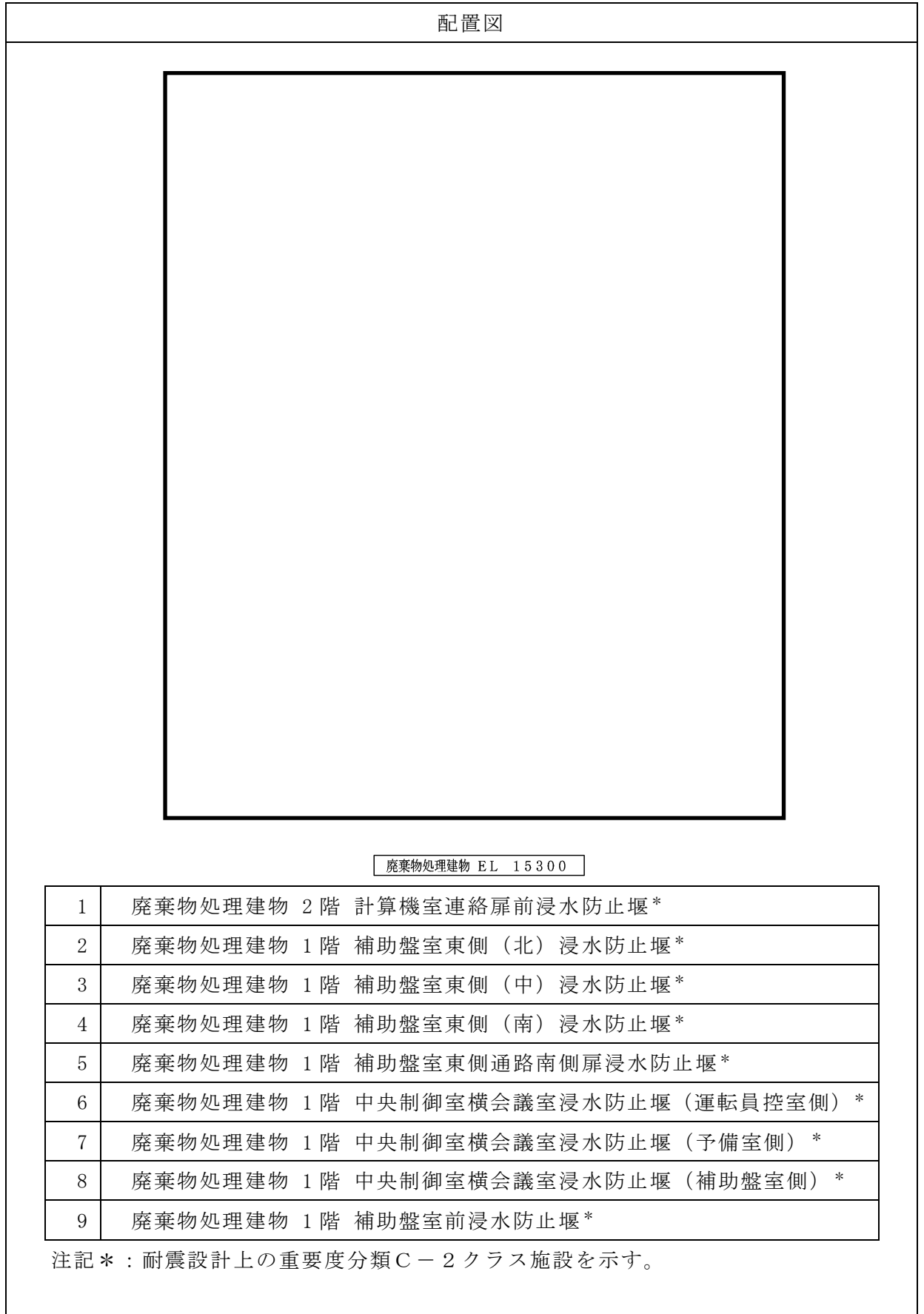


図 2-1 設置位置図(14/19)

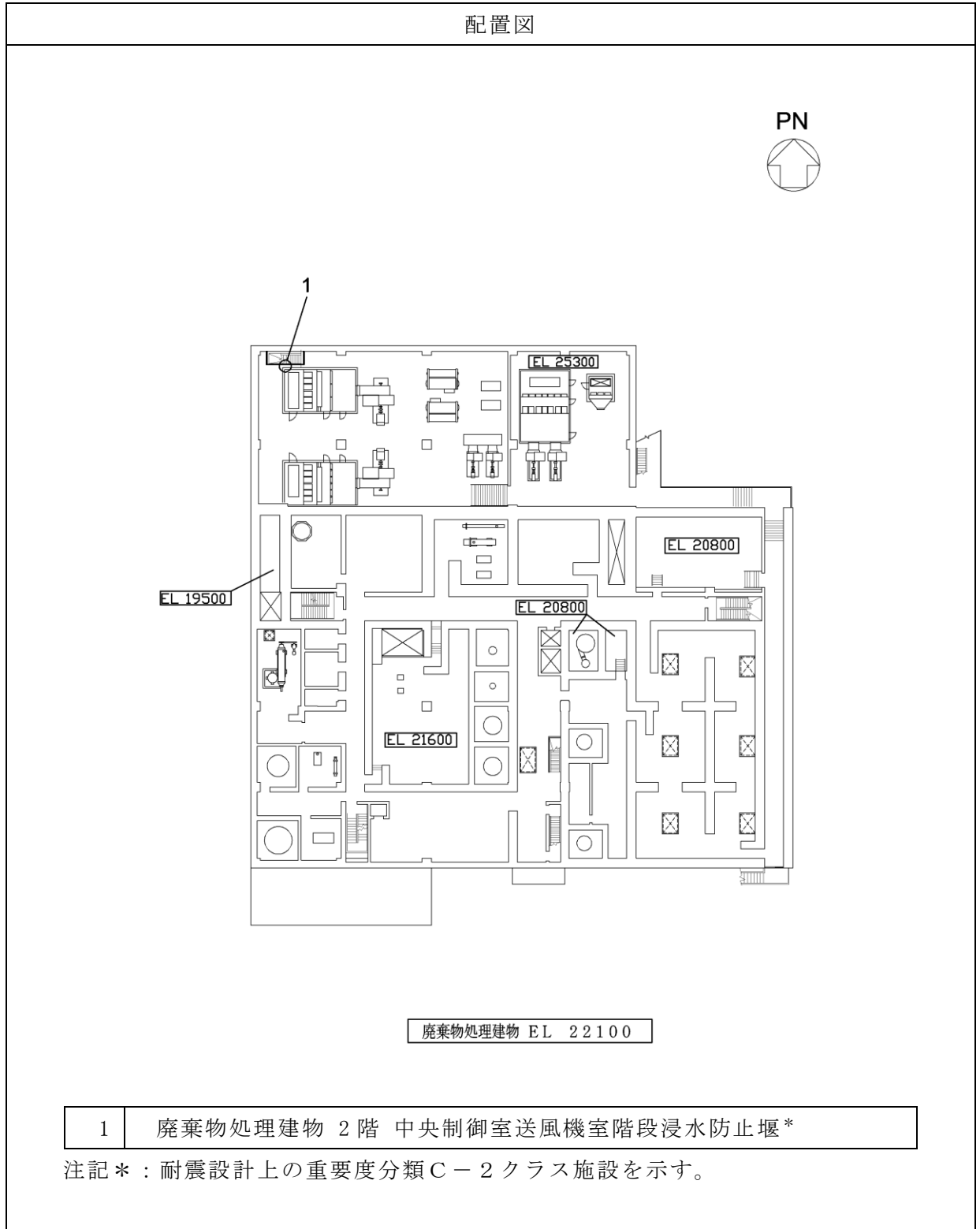


図 2-1 設置位置図 (15/19)

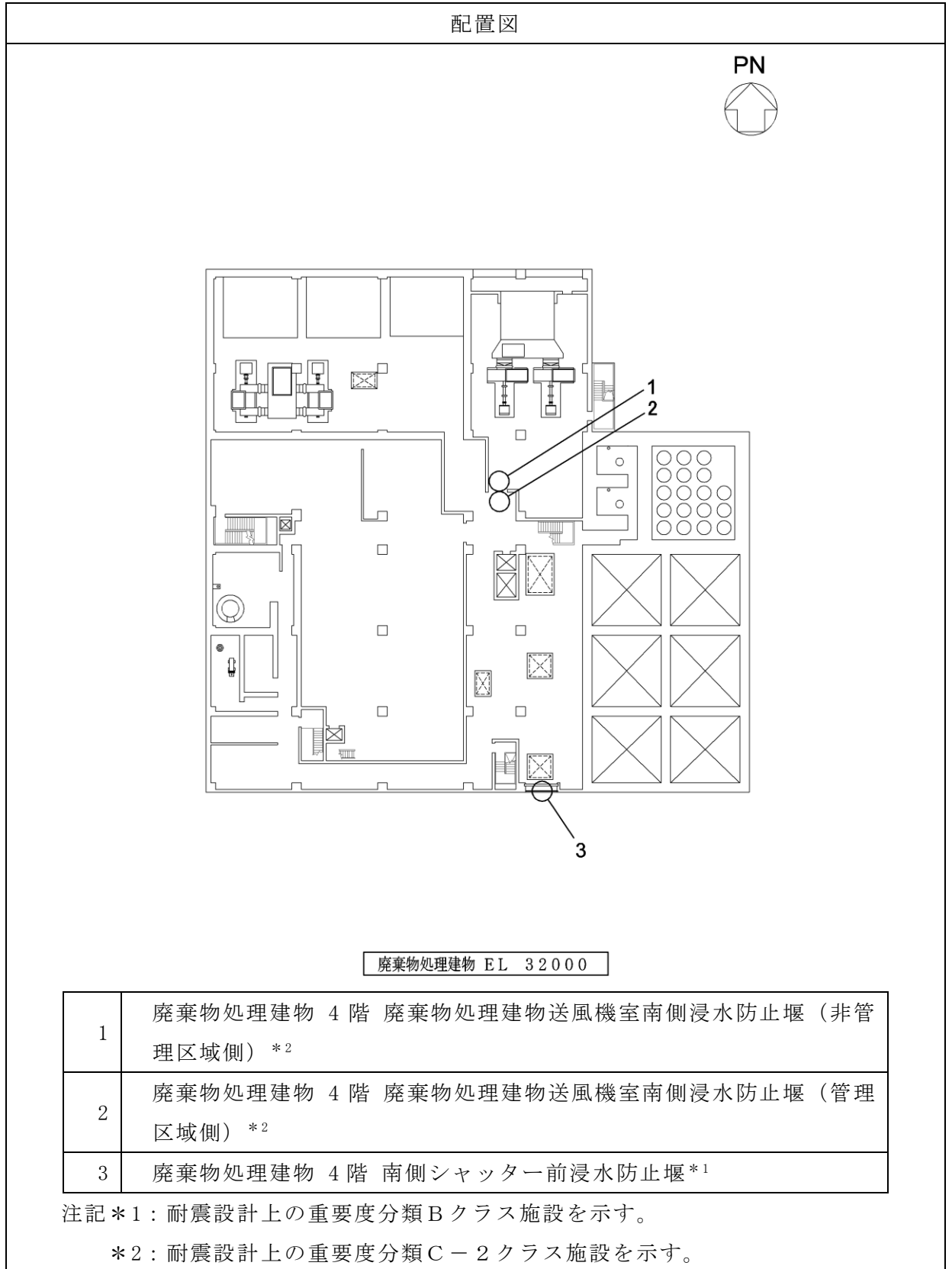


図 2-1 設置位置図(16/19)

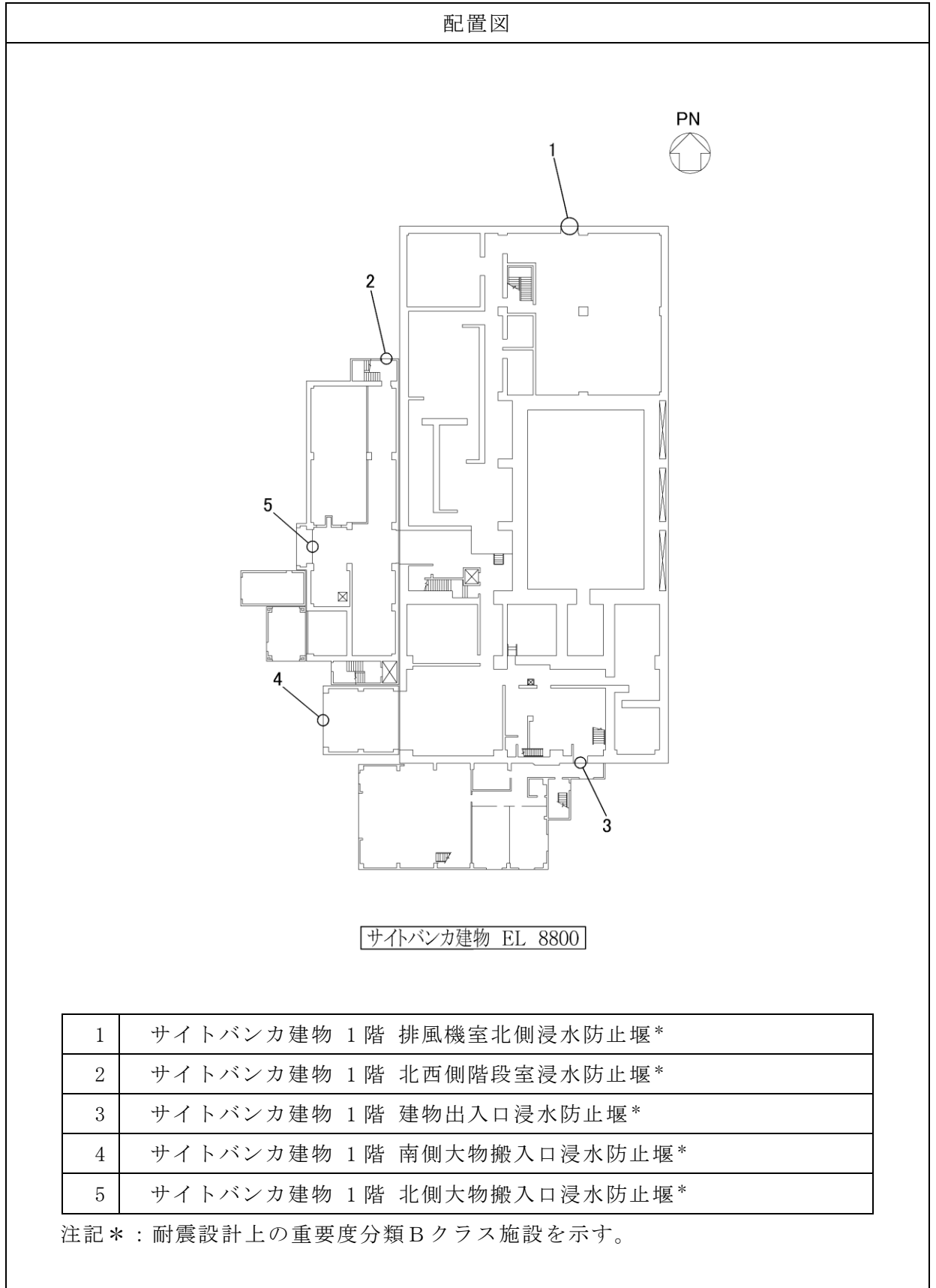


図 2-1 設置位置図 (17/19)

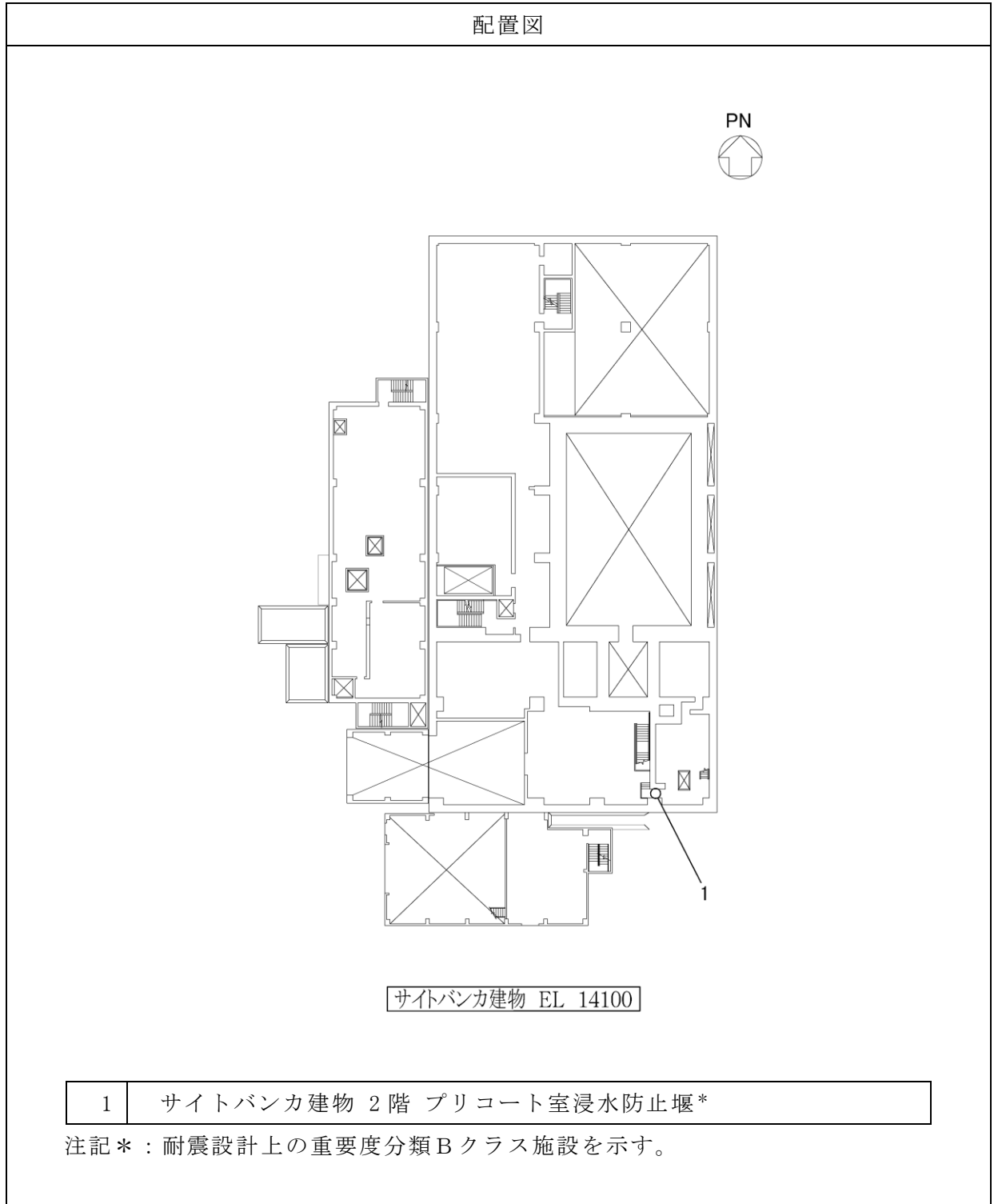


図 2-1 設置位置図(18/19)

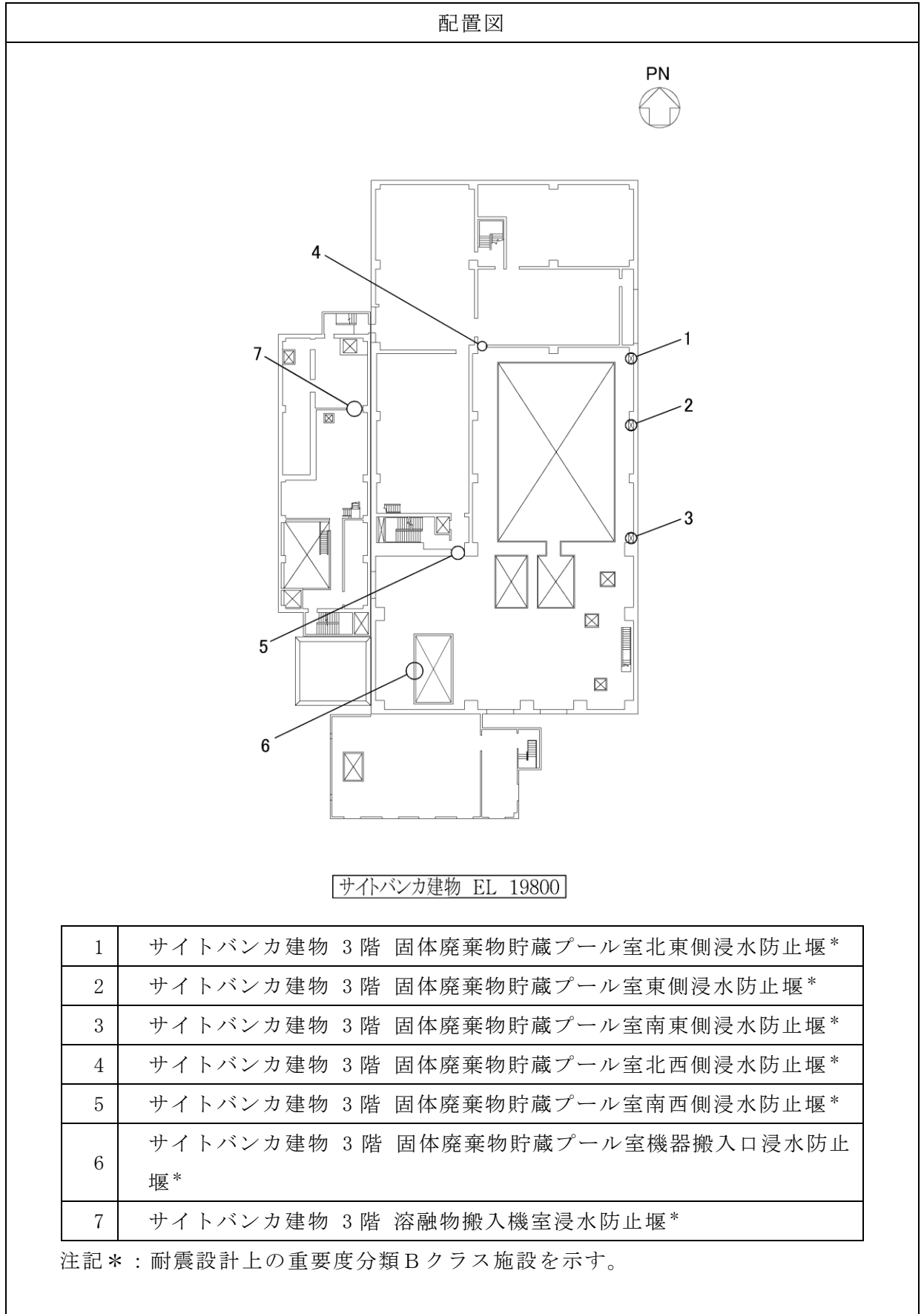


図 2-1 設置位置図 (19/19)

2.3 構造計画

堰の構造は、VI-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」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

堰の耐震評価は、「3. 固有振動数及び設計用地震力」にて算出した固有振動数に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。堰の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

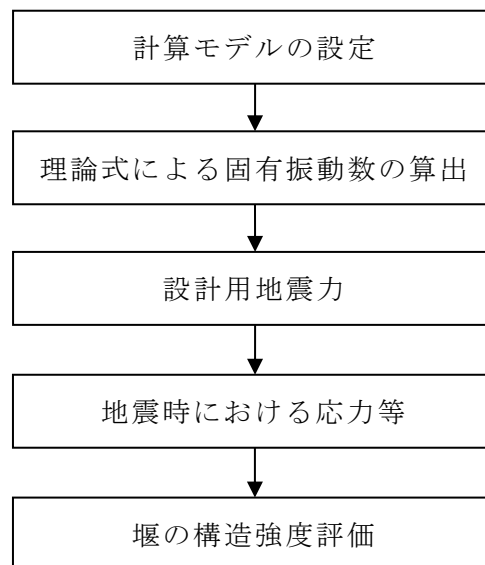


図 2-2 堰の耐震評価フロー

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 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）
- ・ 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）
- ・ 構造力学公式集（（社）土木学会）

2.6 記号の説明

柱支持型堰の耐震評価に用いる記号を表 2-5 に、鋼板折曲げ型堰の耐震評価に用いる記号を表 2-6 に、鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる記号を表 2-7 に示す。

表 2-5 柱支持型堰の耐震評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
ρ	kN/m^3	鋼板の単位体積重量
t	mm	鋼板の板厚
k_H	—	水平方向の設計震度
P_w'	N/mm^2	地震荷重による分布荷重
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_1	kg/m	はり材の単位質量
g	m/s^2	重力加速度
$w_{f'}$	N/mm	はり材の単位長さ当たりの水平荷重
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	はり材の曲げ応力度
A_f	mm^2	はり材のせん断断面積
τ_f	N/mm^2	はり材のせん断応力度
σ_{ef}	N/mm^2	はり材の組合せ応力度
H	mm	柱材の長さ
n	本	はり材の本数
L_2'	mm	柱材 1 本当たりが負担するはり材の長さ
w_2	kg/m	柱材の単位質量
w_{f_2}'	N/mm	柱材の単位長さ当たりの水平荷重
Z_Y	mm^3	柱材の断面係数
σ_Y	N/mm^2	柱材の曲げ応力度
A_Y	mm^2	柱材のせん断断面積
τ_Y	N/mm^2	柱材のせん断応力度
σ_{eY}	N/mm^2	柱材の組合せ応力度

表 2-5 柱支持型堰の耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
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 1 本あたりに生じる引張力
q	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
T_a	kN	アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重
Q_a	kN	アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重

表 2-6 鋼板折曲げ型堰の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
M	$N \cdot mm$	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 1 本あたりに生じる引張力
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 1 本あたりに生じるせん断力
T_a	kN	アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重
Q_a	kN	アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重
B	mm	堰の幅
H	mm	堰の高さ

表 2-7 鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
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
ρ	kN/m^3	コンクリートの単位体積重量
B	m	鉄筋コンクリート製堰の幅

表 2-7 鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
H	m	鉄筋コンクリート製堰の高さ
M_h	$kN \cdot m/m$	鉄筋コンクリート製堰の曲げモーメント
k_H	—	水平方向の設計震度
b_1'	m	アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離
N_1	本	引張を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数
T_1	kN/本	アンカー筋に生じる引張力
F_H	kN/m	設計用水平地震力
N_2	本	せん断を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数
q_1	kN/本	アンカー筋に生じるせん断力
T_{a1}	kN/本	アンカー筋の引張に対する短期許容荷重
Q_{a1}	kN/本	アンカー筋の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
T_2	kN/本	主筋に生じる引張力
N_4	本	せん断を受ける 1m 当たりの主筋の本数
q_2	kN/本	主筋に生じるせん断力
T_{a2}	kN/本	主筋の引張に対する短期許容荷重
Q_{a2}	kN/本	主筋のせん断に対する短期許容荷重
τ'	N/mm^2	堰底部のコンクリートのせん断応力度
F_v	kN/m	設計用鉛直地震力
k_v	—	鉛直方向の設計震度
Z	mm^3/m	鉄筋コンクリート製堰の断面係数
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. 固有振動数及び設計用地震力

3.1 固有振動数の計算方法

堰の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を求める。

3.1.1 解析モデルの設定

(1) 柱支持型堰

各部位の寸法や形状を踏まえ柱支持型堰は柱材を片持ちばりに単純化したモデルとし、堰の評価モデル図を図3-1に示す。評価モデルの高さ (ℓ) は柱材の長さ (H) とする。

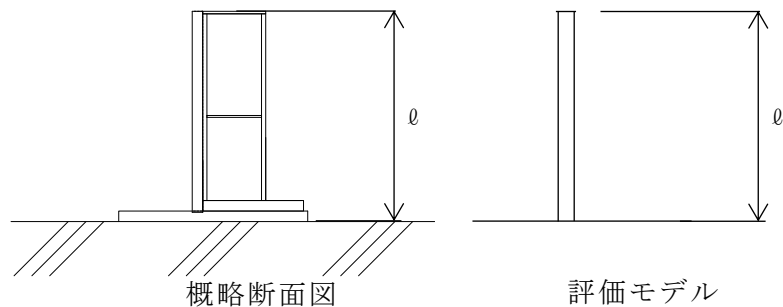


図3-1 柱支持型堰の評価モデル図

(2) 鋼板折曲げ型堰

各部位の寸法や形状を踏まえ鋼板折曲げ型堰は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とし、堰の評価モデル図を図3-2に示す。評価モデルの高さ (ℓ) は堰の高さ (H) とする。

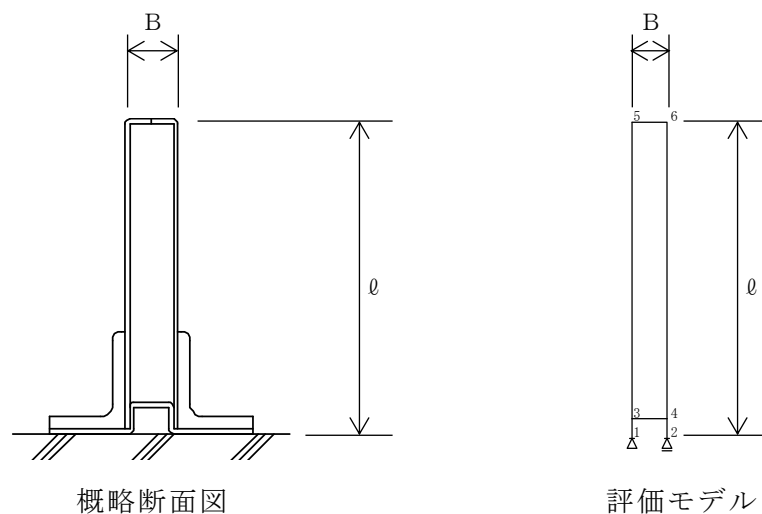


図3-2 鋼板折曲げ型堰の評価モデル図

(3) 鉄筋コンクリート製堰

各部位の寸法や形状を踏まえ鉄筋コンクリート製堰は片持ちばりに単純化したモデルとし、堰の評価モデル図を図3-3に示す。評価モデルの高さ（ ℓ ）は鉄筋コンクリート製堰の高さ（ H ）とする。

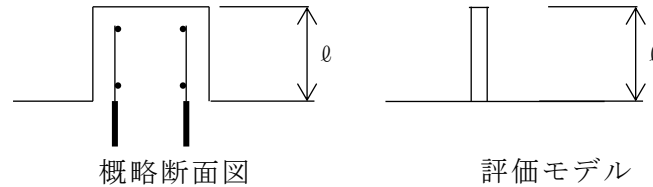


図3-3 鉄筋コンクリート製堰の評価モデル図

3.1.2 記号の説明

堰の固有振動数算出に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 堰の固有振動数算出に用いる記号

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

3.1.3 固有振動数の算出方法

(1) 柱支持型堰及び鉄筋コンクリート製堰

固有振動数 f を「構造力学公式集（（社）土木学会）」に基づき以下の式より算出する。

$$f = \frac{1.875^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{E I}{m}} \times 10^6$$

(2) 鋼板折曲げ型堰

「3.1.1 解析モデルの設定」にて設定した解析モデルを用いて、固有値解析により算出する。

解析プログラムは、「KANSAS2」とする。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。

3.2 固有振動数の計算条件

柱支持型堰の固有振動数の計算条件を表3-2に、鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算条件を表3-3に、鉄筋コンクリート製堰の固有振動数の計算条件を表3-4に示す。

表3-2 柱支持型堰の固有振動数の計算条件(1/10)

設置場所	設備名称	堰高さ \varnothing (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	断面2次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	129.1
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	135.9
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	133.6
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	708	2.05×10^5	5.630×10^6	150.5
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 北東階段浸 水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	161.1
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 北西階段浸 水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	133.1
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 南東階段浸 水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	146.2

表 3-2 柱支持型堰の固有振動数の計算条件 (2/10)

設置場所	設備名称	堰高さ \varnothing (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 南西階段浸 水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	131.4
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	400	2.05×10^5	5.630×10^6	147.2
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	147.6
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)	500	2.05×10^5	5.630×10^6	135.9
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)	500	2.05×10^5	5.630×10^6	112.6
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-逃がし安 全弁窒素ガス 供給装置横浸 水防止堰	600	2.05×10^5	1.600×10^7	272.1
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	133.6

表 3-2 柱支持型堰の固有振動数の計算条件 (3/10)

設置場所	設備名称	堰高さ \varnothing (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	164.1
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	141.5
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	172.6
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 北東階段浸 水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	130.8
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 北西階段浸 水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	126.6
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 南東階段浸 水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	114.2
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 南西階段浸 水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	147.7
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	708	2.05×10^5	2.038×10^7	77.25

表 3-2 柱支持型堰の固有振動数の計算条件(4/10)

設置場所	設備名称	堰高さ \varnothing (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
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	708	2.05×10^5	2.038×10^7	77.48
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	106.3
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	500	2.05×10^5	2.038×10^7	85.9
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	755	2.05×10^5	1.600×10^7	203.7
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	800	2.05×10^5	5.630×10^6	124.9
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	107.5

表 3-2 柱支持型堰の固有振動数の計算条件 (5/10)

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 北東階段 浸水防止堰	312	2.05×10^5	7.400×10^6	84.87
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中 2 階 南東階段 浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	118.7
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中 2 階 南西階段 浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	147.7
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	144.5
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	500	2.05×10^5	2.038×10^7	85.90
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	120.7
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北東階段浸 水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	129.1
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北西階段浸 水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	124.4
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 南東階段浸 水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	124.4

表 3-2 柱支持型堰の固有振動数の計算条件 (6/10)

設置場所	設備名称	堰高さ \varnothing (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 南西階段浸 水防止堰	250	2.05×10^5	5.630×10^6	147.7
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)	500	2.05×10^5	5.630×10^6	114.9
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)	500	2.05×10^5	2.038×10^7	86.18
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 B-CAMS 室 前浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	133.9
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	609	2.05×10^5	5.630×10^6	100.6
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	151.8
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	541	2.05×10^5	5.630×10^6	106.2

表 3-2 柱支持型堰の固有振動数の計算条件(7/10)

設置場所	設備名称	堰高さ \varnothing (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	137.8
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	123.4
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	132.3
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	101.3
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	119.9
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	128.4
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	118.9

表 3-2 柱支持型堰の固有振動数の計算条件 (8/10)

設置場所	設備名称	堰高さ \varnothing (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	118.9
タービン建物 EL 32000mm	タービン建物 4 階 工具室浸 水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	103.1
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	600	2.05×10^5	5.630×10^6	157.2
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)	1050	2.05×10^5	5.630×10^6	119.6
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)	750	2.05×10^5	5.630×10^6	144.2
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	750	2.05×10^5	5.630×10^6	127.2

表 3-2 柱支持型堰の固有振動数の計算条件 (9/10)

設置場所	設備名称	堰高さ ϕ (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
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	300	2.05×10^5	5.630×10^6	135.8
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	650	2.05×10^5	5.630×10^6	85.82
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	500	2.05×10^5	1.210×10^7	72.88
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	137.5
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	137.0
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	134.7

表 3-2 柱支持型堰の固有振動数の計算条件 (10/10)

設置場所	設備名称	堰高さ \varnothing (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	121.3
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	500	2.05×10^5	5.630×10^6	141.5
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	300	2.05×10^5	5.630×10^6	134.8

表 3-3 鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算条件(1/4)

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	板厚 t (mm)	単位体積 重量 ρ (kN/m ³)	堰幅 B (mm)
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	260	2.05×10^5	3.2	77.0	150
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	260	2.05×10^5	3.2	77.0	150
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	300	2.05×10^5	3.2	77.0	36
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	300	2.05×10^5	3.2	77.0	36
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 北東階段浸 水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	150
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 南東階段浸 水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	150
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 北西階段浸 水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	150
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 エアロック 浸水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	150

表 3-3 鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算条件 (2/4)

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	板厚 t (mm)	単位体積 重量 ρ (kN/m ³)	堰幅 B (mm)
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 大物搬入口 浸水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	150
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	300	2.05×10^5	3.2	77.0	36
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	290	2.05×10^5	3.2	77.0	150
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	210	2.05×10^5	3.2	77.0	150
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	260	2.05×10^5	3.2	77.0	150
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	260	2.05×10^5	3.2	77.0	150
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	260	2.05×10^5	3.2	77.0	150

表 3-3 鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算条件 (3/4)

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	板厚 t (mm)	単位体積 重量 ρ (kN/m ³)	堰幅 B (mm)
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	260	2.05×10^5	3.2	77.0	150
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)	300	2.05×10^5	3.2	77.0	36
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)	300	2.05×10^5	3.2	77.0	36
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)	250	2.05×10^5	3.2	77.0	36
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	310	2.05×10^5	3.2	77.0	36
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	210	2.05×10^5	3.2	77.0	150

表 3-3 鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算条件(4/4)

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	板厚 t (mm)	単位体積 重量 ρ (kN/m ³)	堰幅 B (mm)
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	200	2.05×10^5	3.2	77.0	36
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	100	2.05×10^5	3.2	77.0	36
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	200	2.05×10^5	3.2	77.0	36
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	200	2.05×10^5	3.2	77.0	36

表 3-4 鉄筋コンクリート製堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ \varnothing (mm)	ヤング 係数 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
制御室建物 EL 16900mm		200	2.20×10^4	2.250×10^9	783.1
制御室建物 EL 16900mm		200	2.20×10^4	4.094×10^8	416.0
制御室建物 EL 16900mm		200	2.20×10^4	4.860×10^8	440.5

3.3 固有振動数の計算結果

柱支持型堰の固有振動数の計算結果を表3-5に、鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算結果を表3-6に、鉄筋コンクリート製堰の固有振動数の計算結果を表3-7に示す。計算結果より、全ての堰が剛であることを確認した。

表3-5 柱支持型堰の固有振動数の計算結果(1/5)

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
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	211.617
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	206.255
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	208.023
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	44.443
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 北東階段浸水防止堰	189.438
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 北西階段浸水防止堰	208.413
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 南東階段浸水防止堰	198.857
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 南西階段浸水防止堰	209.757
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	309.656
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	197.911
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)	206.255
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)	226.592
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	170.645

表 3-5 柱支持型堰の固有振動数の計算結果 (2/5)

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
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	208.023
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	130.346
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	140.370
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	183.018
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 北東階段浸水防止堰	210.237
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 北西階段浸水防止堰	148.400
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 南東階段浸水防止堰	156.249
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 南西階段浸水防止堰	137.392
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	118.025
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	117.850
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	161.951
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室西側浸水防止堰	493.589
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室東側浸水防止堰	124.558
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	84.041
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	161.045

表 3-5 柱支持型堰の固有振動数の計算結果 (3/5)

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 北東階段浸水防止堰	207.795
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中 2 階 南東階段浸水防止堰	153.259
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中 2 階 南西階段浸水防止堰	137.392
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	138.905
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	493.589
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	218.857
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北東階段浸水防止堰	211.617
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北西階段浸水防止堰	215.578
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 南東階段浸水防止堰	215.578
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 南西階段浸水防止堰	137.392
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)	224.313
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)	492.786
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 B-CAMS 室前浸水防止堰	207.789
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	73.989
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	195.154

表 3-5 柱支持型堰の固有振動数の計算結果(4/5)

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
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	91.141
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	142.242
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	150.312
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	145.168
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ル室西側浸水防止堰	165.900
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	152.490
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	147.356
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	153.130
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	153.130
タービン建物 EL 32000mm	タービン建物 4 階 工具室浸水防止堰	164.445
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	133.176
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)	49.855
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)	88.992
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	94.752
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	573.141

表 3-5 柱支持型堰の固有振動数の計算結果 (5/5)

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
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	153.579
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	412.903
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	205.051
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	205.425
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	207.171
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	218.315
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	202.132
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	575.263

表 3-6 鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算結果(1/2)

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
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	34.504
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	34.504
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	40.865
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	40.865
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 北東階段浸水防止堰	27.247
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 南東階段浸水防止堰	27.247
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 北西階段浸水防止堰	27.247
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 エアロック浸水防止堰	27.247
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 大物搬入口浸水防止堰	27.247
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	40.865
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	28.827
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	48.648
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	34.504
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	34.504
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	34.504

表 3-6 鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算結果(2/2)

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
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	34.504
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)	40.865
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)	40.865
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)	58.714
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	38.280
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	48.648
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	91.192
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	329.349
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	91.192
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	91.192

表 3-7 鉄筋コンクリート製堰の固有振動数の計算結果

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
制御室建物 EL 16900mm		3516.873
制御室建物 EL 16900mm		2058.265
制御室建物 EL 16900mm		2179.311

3.4 設計用地震力

耐震設計上の重要度分類C-2クラス施設の堰の基準地震動 S_s による設計用地震力は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」、VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」、VI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」に基づき設定する。

堰は建物・構築物として評価し、地震応答解析に基づいて算定された堰設置床の最大応答加速度（1.0ZPA）から各堰の設計震度を設定する。

耐震設計上の重要度分類Bクラスの施設の堰に要求される地震荷重は、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づく静的地震力 S_B であるが、タービン建物、廃棄物処理建物及び制御室建物に設置するBクラスの堰は保守的な評価となるよう基準地震動 S_s による設計地震力を考慮する。なお、サイトバンカ建物に設置されるBクラスの堰については、静的地震力 S_B を考慮する。

耐震設計上の重要度分類C-2クラスの各堰の設置床の最大応答加速度から算出した設計震度及びBクラスの各堰の静的地震力から算出した設計震度を表3-8に示す。

表 3-8 堰の設計震度

建物	階	床高さ (EL)	水平震度* ¹ (-)	鉛直震度 (-)
原子炉建物	地上 4 階	42.8m	1.46	1.51
	地上 3 階	34.8m	1.17	1.49
	地上中 2 階	31.1m	1.46	1.49
		30.5m	1.46	1.44
		28.3m	1.46	1.44
	地上 2 階	23.8m	1.02	1.28
	地上 1 階	15.3m	0.92	0.97
	地下 1 階	10.3m	0.92	0.97
		8.8m	0.88	0.64
地下 2 階	2.8m	0.88	0.64	
タービン建物	地上 4 階	32.0m	2.47	1.24
	地上 3 階	20.6m	2.23	0.90
	地上 2 階	12.5m	1.61	0.72
	地上 1 階	5.5m	1.28	0.60
廃棄物処理建物	地上 4 階	32.0m	1.29	0.97
	地上 2 階	22.1m	1.10	0.92
		21.15m	1.10	0.92
	地上 1 階	16.9m	1.07	0.81
	地下 1 階	8.8m	1.02	0.64
制御室建物	地上 4 階	16.9m	1.96	0.88
	地上 2 階	8.8m	1.01	0.66
サイトバンカ建物	地上 3 階	20.3m	0.354* ²	—
		19.8m	0.314* ³	—
	地上 2 階	14.8m	0.314* ³	—
	地上 1 階	10.2m	0.278* ³	—
		8.9m	0.278* ³	—
		8.8m	0.240* ³	—

注記*1：N S 方向及び E W 方向の最大値を用いる。

*2：平成11年4月26日平成11・04・12資第24号にて認可された工事計画の添付書類「資料2-2 建物の耐震性についての計算書」による。

*3：昭和56年11月25日資庁第11398号にて認可された工事計画の添付書類「IV-1-(2)-h サイトバンカ建物の耐震性についての計算書」による。

4. 構造強度評価

4.1 評価対象部位及び評価対象設備

堰の評価対象部位は、自重及び地震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

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耐震評価結果を示す。

4.1.1 柱支持型堰

柱支持型堰の評価対象部位は、自重及び地震に伴う慣性力が、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 4-1 に示す。

表 4-1 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	
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	

注記*：評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

表 4-1 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 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	
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	

表 4-1 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 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	
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)	

表 4-1 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 (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	
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	

表 4-1 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 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 熔融物搬入機室浸水防止堰	

4.1.2 鋼板折曲げ型堰

鋼板折曲げ型堰の評価対象部位は、自重及び地震に伴う慣性力が、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 4-2 に示す。

表 4-2 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	

注記*：評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

表 4-2 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	

4.1.3 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、堰に作用する自重及び地震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する。評価の対象となる鉄筋コンクリート製堰の選定結果を表 4-3 に示す。

表 4-3 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

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

堰の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

4.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として堰の自重を考慮する。

(2) 地震荷重 (S_s)

耐震設計上の重要度分類 C-2 クラスの施設の地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

耐震設計上の重要度分類 B クラス施設の地震荷重は地震力 S_B による荷重を考慮する。なお、タービン建物、制御室建物及び廃棄物処理建物に設置される B クラスの堰は保守的に地震荷重 S_s による荷重を考慮する。地震荷重は「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot K$$

ここで、 S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

K : 設計震度

4.3 許容限界

許容限界は、「4.1 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定している評価対象部位ごとに機能損傷モードを考慮し、短期許容応力度又は短期許容荷重とする。代表として評価する堰の許容限界を以下に示す。

4.3.1 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4-4に示す。

表4-4 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4-5に示す。

表4-5 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 4-6 に示す。

表 4-6 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 4-7 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により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4-7 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 (M20)	44	40

4.3.2 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4-8に示す。

表4-8 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) 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4-9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により決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表4-9 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)	11	11

4.3.3 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4-10に示す。

表4-10 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荷重を表4-11に示す。

表4-11 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4-12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により決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表4-12 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

4.4 評価方法

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

4.4.1 柱支持型堰の評価方法

地震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耐震評価を行う。

(1) 応力算定

自重及び地震荷重を受ける鋼板、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及び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4-1～図4-4に示す。

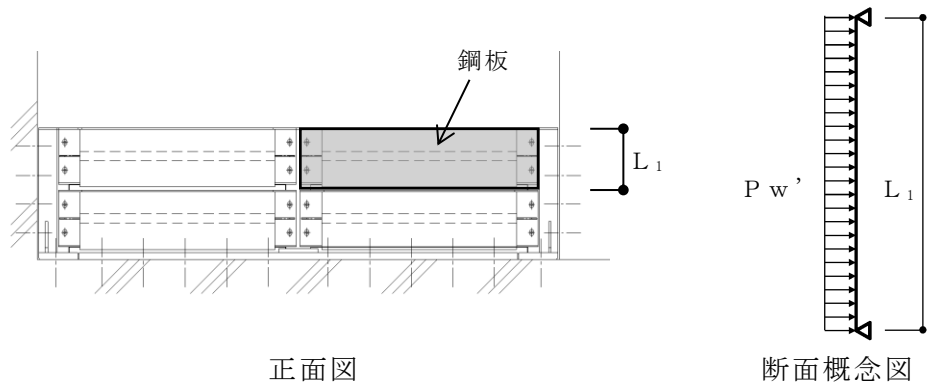


図4-1 地震時の鋼板に生じる力の断面概念図

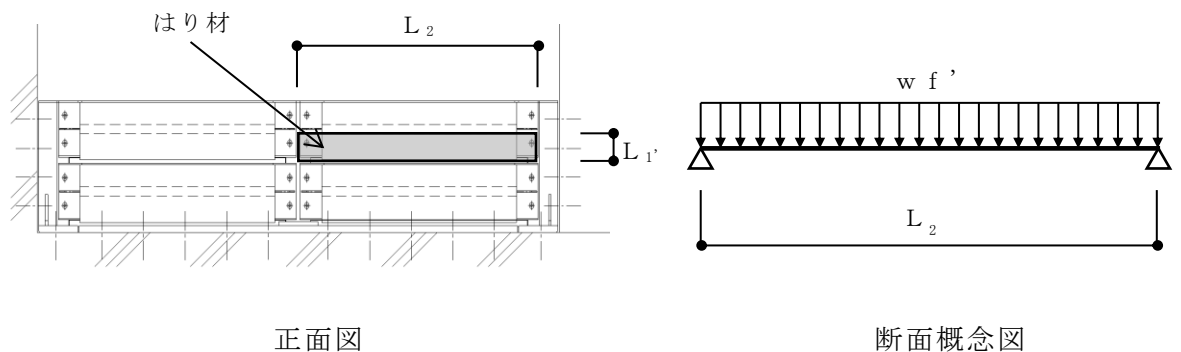


図4-2 地震時のはり材に生じる力の断面概念図

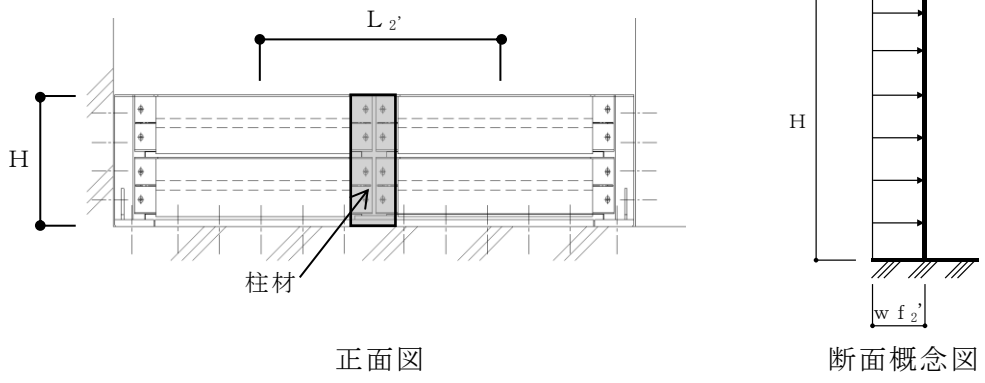


図 4-3 地震時の柱材に生じる力の断面概念図

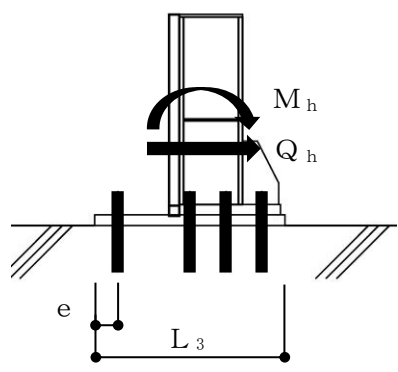


図 4-4 地震時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

S2 補 VI-2-10-2-13 R1

(2) 断面検定

a. 鋼板

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当たりの地震荷重による分布荷重は、次式より算出する。

$$P w' = \rho \cdot t \cdot k_H \cdot 10^{-6}$$

ここで、 $P w'$: 地震荷重による分布荷重 (N/mm²)

ρ : 鋼板の単位体積重量 (kN/m³)

t : 鋼板の板厚 (mm)

k_H : 水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

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。

$$\sigma_{\rho} = 1/8 \cdot P w' \cdot L_1^2 / Z$$

ここで、 σ_{ρ} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$P w'$: 地震荷重による分布荷重 (N/mm²)

L_1 : はり材間距離 (mm)

Z : 鋼板の断面係数 (mm³/mm)

b. はり材

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当たりの地震時水平荷重は鋼板及びはり材に作用する地震力を考慮して次式より算出する。

$$w f' = (\rho \cdot t \cdot L_1' \cdot 10^{-6} + w_1 \cdot g \cdot 10^{-3}) \cdot k_H$$

ここで、 $w f'$: はり材の単位長さ当たりの水平荷重(N/mm)

ρ : 鋼板の単位体積重量(kN/m³)

t : 鋼板の板厚(mm)

L_1' : はり材1本当たりが負担する鋼板の幅(mm)

w_1 : はり材の単位質量(kg/m)

g : 重力加速度(m/s²)

k_H : 水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

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。

$$\sigma_f = 1/8 \cdot w f' \cdot L_2^2 / Z_f$$

ここで、 σ_f : はり材の曲げ応力度(N/mm²)

$w f'$: はり材の単位長さ当たりの水平荷重(N/mm)

L_2 : はり材の長さ(mm)

Z_f : はり材の断面係数(mm³)

(c) 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。

$$\tau_f = 1/2 \cdot w f' \cdot L_2 / A_f$$

ここで、 τ_f : はり材のせん断応力度 (N/mm²)
 $w f'$: はり材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)
 L_2 : はり材の長さ (mm)
 A_f : はり材のせん断断面積 (mm²)

(d) 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。

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

ここで、 σ_{ef} : はり材の組合せ応力度 (N/mm²)
 σ_f : はり材の曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_f : はり材のせん断応力度 (N/mm²)

c. 柱材

(a) 水平方向地震荷重

単位長さ当たりの地震時水平荷重は鋼板，はり材及び柱材に作用する地震力を考慮して次式より算出する。

$$w f_2' = \{ (\rho \cdot t \cdot H \cdot 10^{-6} + w_1 \cdot g \cdot n \cdot 10^{-3}) \cdot L_2' / H + w_2 \cdot g \cdot 10^{-3} \} \cdot k_H$$

ここで， $w f_2'$: 柱材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)

ρ : 鋼板の単位体積重量 (kN/m³)

t : 鋼板の板厚 (mm)

H : 柱材の長さ (mm)

w_1 : はり材の単位質量 (kg/m)

g : 重力加速度 (m/s²)

n : はり材の本数 (本)

L_2' : 柱材 1 本当たりが負担するはり材の長さ (mm)

w_2 : 柱材の単位質量 (kg/m)

k_H : 水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

柱材に生じる曲げ応力度は，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。

$$\sigma_Y = 1/2 \cdot w f_2' \cdot H^2 / Z_Y$$

ここで， σ_Y : 柱材の曲げ応力度 (N/mm²)

$w f_2'$: 柱材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)

H : 柱材の長さ (mm)

Z_Y : 柱材の断面係数 (mm³)

(c) せん断応力度に対する検定

柱材に生じるせん断応力度は、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。

$$\tau_Y = w f_2' \cdot H / A_Y$$

ここで、 τ_Y : 柱材のせん断応力度 (N/mm²)
 $w f_2'$: 柱材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)
 H : 柱材の長さ (mm)
 A_Y : 柱材のせん断断面積 (mm²)

(d) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

柱材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「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。

$$\sigma_{eY} = \sqrt{\sigma_Y^2 + 3 \cdot \tau_Y^2}$$

ここで、 σ_{eY} : 柱材の組合せ応力度 (N/mm²)
 σ_Y : 柱材の曲げ応力度 (N/mm²)
 τ_Y : 柱材のせん断応力度 (N/mm²)

d. アンカーボルト

(a) 引張力に対する検定

アンカーボルト 1 本あ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。

$$T = M_h / ((L_3 - e) \cdot N_1) \cdot 10^{-3}$$

$$M_h = 1/2 \cdot w f_2' \cdot H^2$$

ここで、 T : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

w f₂' : 柱材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)

H : 柱材の長さ (mm)

L₃ : 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)

N₁ : 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。

$$q = Q_h / N_2 \cdot 10^{-3}$$

$$Q_h = w f_2' \cdot H$$

ここで、 q : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

w f₂' : 柱材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)

H : 柱材の長さ (mm)

N₂ : 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。

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

ここで、 T : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重 (kN)

q : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重 (kN)

4.4.2 鋼板折曲げ型堰の評価方法

地震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耐震評価を行う。

(1) 応力算定

自重及び地震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「3. 固有振動数及び設計用地震力」にて設定した解析モデルを用いて、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4-5に示す。

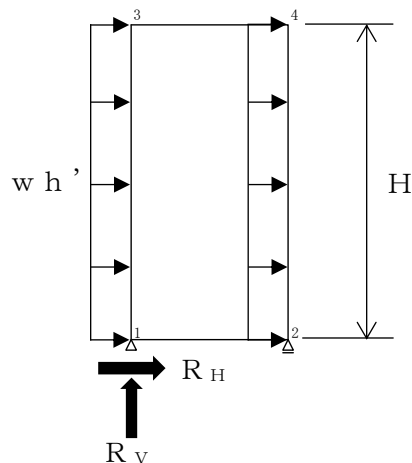


図4-5 地震時の鋼板及びアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 鋼板

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。

$$\sigma = M/Z$$

ここで、 σ : 鋼板の曲げ応力度 (N/mm²)
 M : 鋼板の曲げモーメント (N・mm)
 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。

$$T = R_v / N_1$$

ここで、 T : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (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。

$$q = R_H / N_2$$

ここで、 q : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)
 R_H : 支点反力 (水平方向) (kN)
 N_2 : 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。

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

ここで、 T : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)
 T_a : アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重 (kN)
 q : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)
 Q_a : アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重 (kN)

4.4.3 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，地震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。

(1) 応力算定

自重及び地震荷重を受けるアンカー筋，コンクリート及び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次式により算定する。

鉄筋コンクリート製堰に生じる力の概念図を図 4-6 に示す。

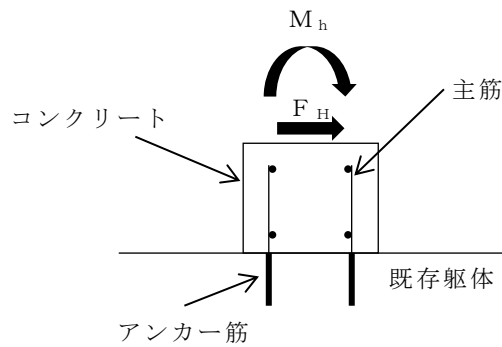


図 4-6 地震時の鉄筋コンクリート製堰に生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. アンカー筋

(a) 引張力に対する検定

アンカー筋に作用する引張力は次式により算出し、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。

$$T_1 = M_h / b_1' / N_1$$

- ここで、
- T_1 : アンカー筋に生じる引張力 (kN/本)
 - M_h : 鉄筋コンクリート製堰の曲げモーメント
($w_1 \cdot k_H \cdot H/2$) (kN・m/m)
 - w_1 : 単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量
($\rho \cdot B \cdot H$) (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 : 鉄筋コンクリート製堰の高さ (m)
 - k_H : 水平方向の設計震度
 - 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)

(b) せん断力に対する検定

アンカー筋に作用するせん断力は次式により算出し、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。

$$q_1 = F_H / N_2$$

- ここで、
- q_1 : アンカー筋に生じるせん断力 (kN/本)
 - F_H : 設計用水平地震力 ($w_1 \cdot k_H$) (kN/m)
 - w_1 : 単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量
($\rho \cdot B \cdot H$) (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 : 鉄筋コンクリート製堰の高さ (m)
 - k_H : 水平方向の設計震度
 - N_2 : せん断を受ける1m当たりのアンカー筋の本数 (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。

$$(T_1/T_{a1})^2 + (q_1/Q_{a1})^2 \leq 1$$

ここで、 T_1 : アンカー筋に生じる引張力 (kN/本)
 T_{a1} : アンカー筋の引張に対する短期許容荷重 (kN/本)
 q_1 : アンカー筋に生じるせん断力 (kN/本)
 Q_{a1} : アンカー筋のせん断に対する短期許容荷重 (kN/本)

b. 主筋

(a) 引張力に対する検定

主筋に作用する引張力は次式により算出し、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。

$$T_2 = M_h / b_2' / N_3$$

ここで、 T_2 : 主筋に生じる引張力 (kN/本)
 w_1 : 単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量
($\rho \cdot B \cdot H$) (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 : 鉄筋コンクリート製堰の高さ (m)
 M_h : 鉄筋コンクリート製堰の曲げモーメント
($w_1 \cdot k_H \cdot H/2$) (kN・m/m)
 k_H : 水平方向の設計震度
 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は次式により算出し、主筋の短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q_2 = F_H / N_4$$

ここで、 q_2 : 主筋に生じるせん断力 (kN/本)
 F_H : 設計用水平地震力 ($w_1 \cdot k_H$) (kN/m)
 w_1 : 単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量
($\rho \cdot B \cdot H$) (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 : 鉄筋コンクリート製堰の高さ (m)
 k_H : 水平方向の設計震度
 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。

$$(T_2 / T_{a_2})^2 + (q_2 / Q_{a_2})^2 \leq 1$$

ここで、 T_2 : 主筋に生じる引張力 (kN/本)
 T_{a_2} : 主筋の引張に対する短期許容荷重 (kN/本)
 q_2 : 主筋に生じるせん断力 (kN/本)
 Q_{a_2} : 主筋のせん断に対する短期許容荷重 (kN/本)

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は次式により算出し、短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$\tau' = F_H / (B \cdot 10^3)$$

ここで、 τ' : 堰底部のコンクリートのせん断応力度 (N/mm²)
 F_H : 設計用水平地震力 ($w_1 \cdot k_H$) (kN/m)
 w_1 : 単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量
($\rho \cdot B \cdot H$) (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 : 鉄筋コンクリート製堰の高さ (m)
 k_H : 水平方向の設計震度

(b) 圧縮力に対する検定

堰に生じる自重、鉛直下向きの地震荷重及び曲げモーメントによりコンクリートの圧縮縁に生じる応力度は次式により算出し、短期許容圧縮荷重を下回ることを確認する。

$$\sigma_c = (w_1 + F_V) / (B \cdot 10^3) + (M_h \cdot 10^6) / Z$$

ここで、 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
($\rho \cdot B \cdot H$) (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 : 鉄筋コンクリート製堰の高さ (m)
 F_V : 設計用鉛直地震力 ($w_1 \cdot k_V$) (kN/m)
 k_V : 鉛直方向の設計震度
 M_h : 鉄筋コンクリート製堰の曲げモーメント
($w_1 \cdot k_H \cdot H/2$) (kN・m/m)
 k_H : 水平方向の設計震度
 Z : 鉄筋コンクリート製堰の断面係数 (mm³/m)

4.5 評価条件

柱支持型堰の耐震評価に用いる入力値を表 4-13 に、鋼板折曲げ型堰の耐震評価に用いる入力値を表 4-14 に、鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる入力値を表 4-15 に示す。

表 4-13 柱支持型堰の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ	kN/m ³	鋼板の単位体積重量	77.0
t	mm	鋼板の板厚	4.5
k_H	—	水平方向の設計震度	0.92
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
w_1	kg/m	はり材の単位質量	9.590
g	m/s ²	重力加速度	9.80665
L_2	mm	はり材の長さ	1560
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
H	mm	柱材の長さ	1050
n	本	はり材の本数	6
L_2'	mm	柱材 1 本当たりが負担するはり材の長さ	1325
w_2	kg/m	柱材の単位質量	31.1
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	325
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離	110
N_1	本	引張を受けるアンカーボルトの本数	1
N_2	本	せん断を受けるアンカーボルトの本数	3

表 4-14 鋼板折曲げ型堰の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
M	N・mm	鋼板の曲げモーメント	14000
Z	mm ³	鋼板の断面係数	1707
R _v	kN	支点反力（鉛直方向）	0.3238
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）	0.3238
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	150
H	mm	堰の高さ	300

表 4-15 鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ	kN/m ³	コンクリートの単位体積重量	24
B	m	鉄筋コンクリート製堰の幅	0.18
H	m	鉄筋コンクリート製堰の高さ	0.2
k _v	—	鉛直方向の設計震度	0.88
k _H	—	水平方向の設計震度	1.96
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
Z	mm ³ /m	鉄筋コンクリート製堰の断面係数	5400000

5. 評価結果

柱支持型堰の耐震評価結果を表5-1に、鋼板折曲げ型堰の耐震評価結果を表5-2に、鉄筋コンクリート製堰の耐震評価結果を表5-3に示す。発生値は許容限界値以下であり、溢水用堰については基準地震動 S_s による地震力に対して、管理区域堰については耐震設計上の重要度分類Bクラスの施設に適用される地震力 S_B に対して溢水伝播を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有することを確認した。

表 5-1 柱支持型堰の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (荷重又は 発生応力度)		許容限界		検定比
鋼板	曲げ	2	N/mm ²	271	N/mm ²	0.01 < 1.0
はり材	曲げ	4	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	5	N/mm ²	235	N/mm ²	0.03 < 1.0
柱材	曲げ	10	N/mm ²	235	N/mm ²	0.05 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	11	N/mm ²	235	N/mm ²	0.05 < 1.0
アンカー ボルト	引張	4	kN	44	kN	0.1 < 1.0
	せん断	1	kN	40	kN	0.03 < 1.0
	組合せ	—	—	—	—	0.01 < 1.0

表 5-2 鋼板折曲げ型堰の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (荷重又は 発生応力度)		許容限界		検定比
鋼板	曲げ	9	N/mm ²	271	N/mm ²	0.04 < 1.0
アンカー ボルト	引張	0.1	kN	11	kN	0.01 < 1.0
	せん断	0.1	kN	11	kN	0.01 < 1.0
	組合せ	—	—	—	—	0.01 < 1.0

表 5-3 鉄筋コンクリート製堰の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (荷重又は 発生応力度)		許容限界		検定比
アンカー筋	引張	0.4	kN	34	kN	0.02 < 1.0
	せん断	0.4	kN	29	kN	0.02 < 1.0
	組合せ	—	—	—	—	0.01 < 1.0
主筋	引張	0.4	kN	43	kN	0.01 < 1.0
	せん断	0.4	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	0.01	N/mm ²	1.06	N/mm ²	0.01 < 1.0
	圧縮	0.05	N/mm ²	14.6	N/mm ²	0.01 < 1.0

VI-2-10-2-14 防水板の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	6
2.3	評価方針	7
2.4	適用規格・基準等	8
2.5	記号の説明	8
3.	固有振動数及び設計用地震力	10
3.1	固有振動数の算出方法	10
3.1.1	解析モデルの設定	10
3.1.2	記号の説明	11
3.1.3	固有振動数の算出方法	11
3.2	固有振動数の計算条件	12
3.3	固有振動数の計算結果	13
3.4	設計用地震力	14
4.	構造強度評価	15
4.1	評価対象部位	15
4.2	荷重及び荷重の組合せ	16
4.2.1	荷重の組合せ	16
4.2.2	荷重	16
4.3	許容限界	17
4.3.1	使用材料	17
4.3.2	許容限界	18
4.4	評価方法	19
4.5	評価条件	25
5.	評価結果	28

1. 概要

本資料は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に示すとおり、溢水用防水板及び管理区域防水板（以下「防水板」という。）があり、溢水用防水板については基準地震動 S_s による地震力に対して、管理区域防水板については耐震設計上の重要度分類 B クラスの施設に適用される静的地震力 S_B に対して溢水伝播を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有することを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

防水板は設計基準対象施設においては耐震設計上の重要度分類 B クラス及び C-2* クラスに分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

注記*：工事計画の基本方針に示す原子炉本体の主要設備リストに記載される略語の定義のうち、基準地震動による地震力に対して火災感知及び消火の機能又は溢水伝播を防止する機能を保持できる設計とするもの。

2. 一般事項

2.1 配置概要

防水板は、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。

防水板の一覧及び設置位置図を図 2-1 に示す。

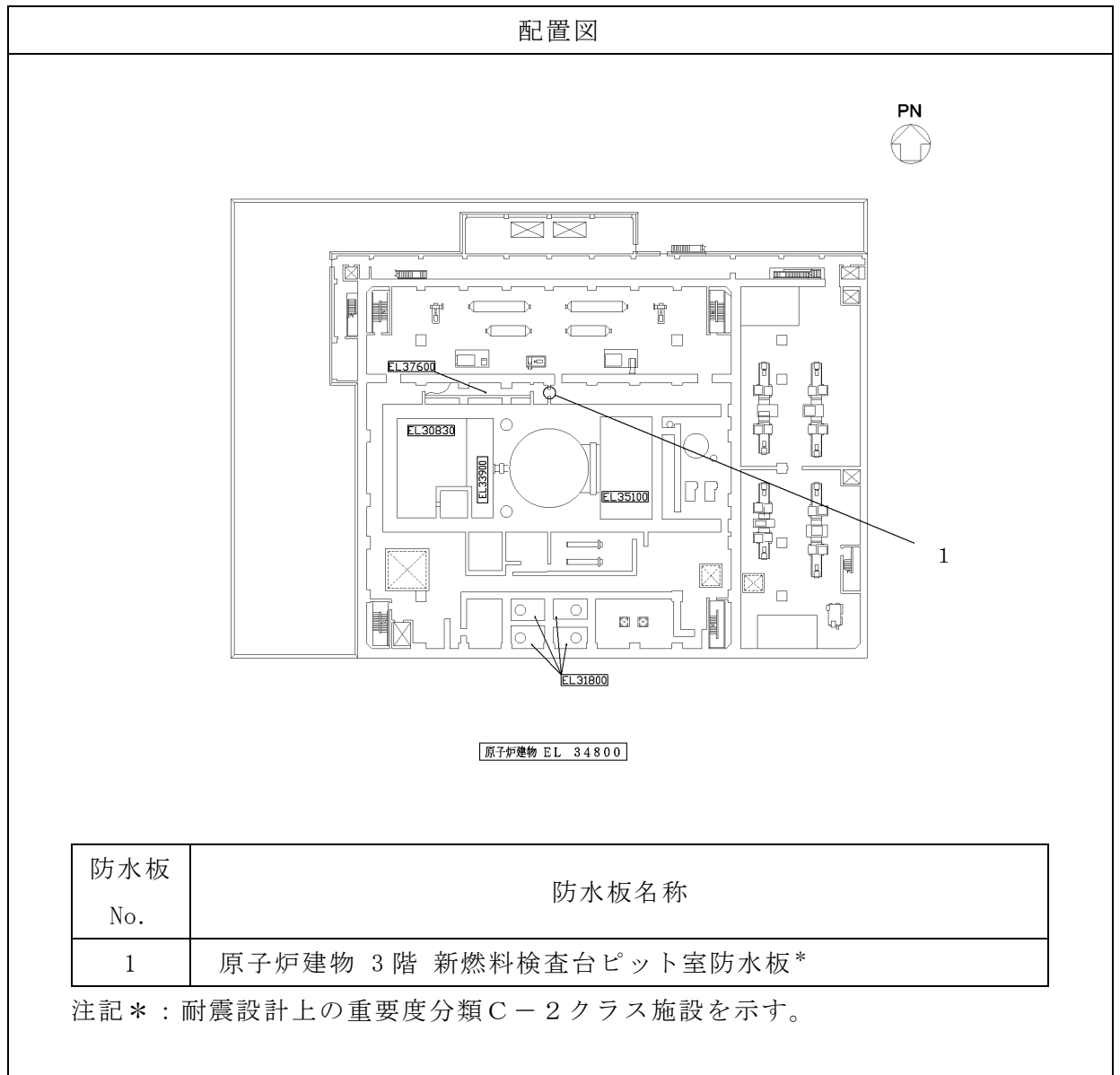


図 2-1 設置位置図(1/3)

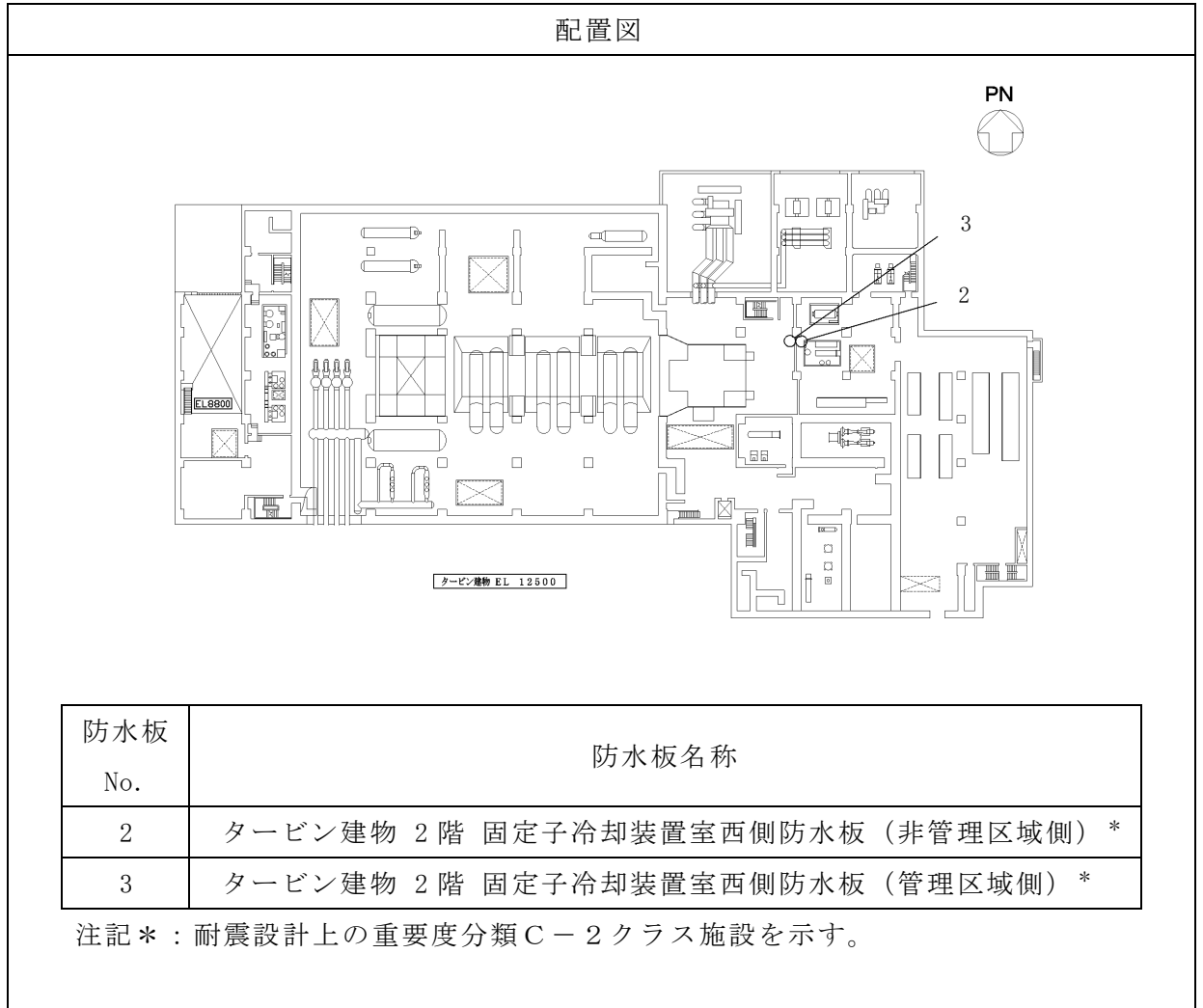


図 2-1 設置位置図 (2/3)



図 2-1 設置位置図 (3/3)

2.2 構造計画

防水板の構造は、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」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2-1に示す。

表2-1 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>正面図</p> <p>B-B断面図</p> <p>A-A断面図</p>

2.3 評価方針

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

防水板の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

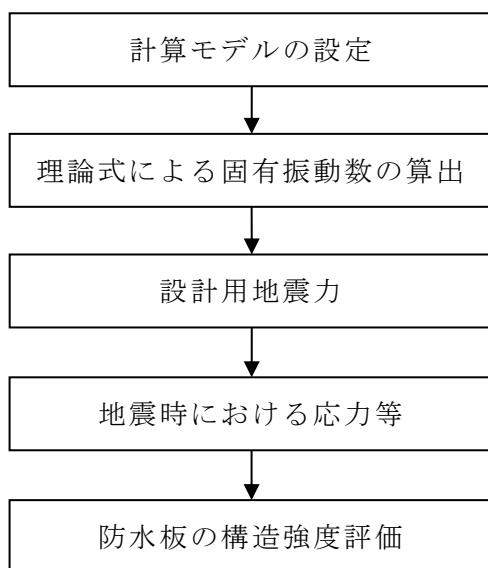


図 2-2 防水板の耐震評価フロー

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（JIS）
- ・ 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）
- ・ 構造力学公式集（（社）土木学会）

2.5 記号の説明

防水板の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 防水板の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ	kN/m^3	鋼板の単位体積重量
t	mm	鋼板の板厚
k_H	—	水平方向の設計震度
P_w'	N/mm^2	地震荷重による分布荷重
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_1	kg/m	芯材の単位質量
g	m/s^2	重力加速度
w_f'	N/mm	芯材の単位長さ当たりの水平荷重
L_2	mm	芯材の長さ
Z_f	mm^3	芯材の断面係数
σ_f	N/mm^2	芯材の曲げ応力度
A_f	mm^2	芯材のせん断断面積
τ_f	N/mm^2	芯材のせん断応力度
σ_{ef}	N/mm^2	芯材の組合せ応力度
Q_1	kN	アンカーボルトに生じる引張力
N	本	防水板の片側（左右若しくは上下）に取り付くアンカーボルトの本数
T	kN	アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力
F	kN	F_H 又は F_v
G_1	kN	防水板の固定荷重
F_H	kN	防水板に生じる水平方向の地震荷重
k_v	—	鉛直方向の設計震度
F_v	kN	防水板に生じる鉛直方向の地震荷重
Q_2	kN	アンカーボルトに生じるせん断力
q	kN	アンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力
T_a	kN	アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重
Q_a	kN	アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重

3. 固有振動数及び設計用地震力

3.1 固有振動数の算出方法

防水板の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

防水板は、鋼板及び芯材の組合せにより剛な断面を有しているとともに、アンカーボルトにて躯体に固定する構造であることから、防水板の芯材を両端ピンのはりに単純化したモデルとし、モデル化に用いるはり長さは、芯材の全長とする。図3-1に解析モデル図を示す。

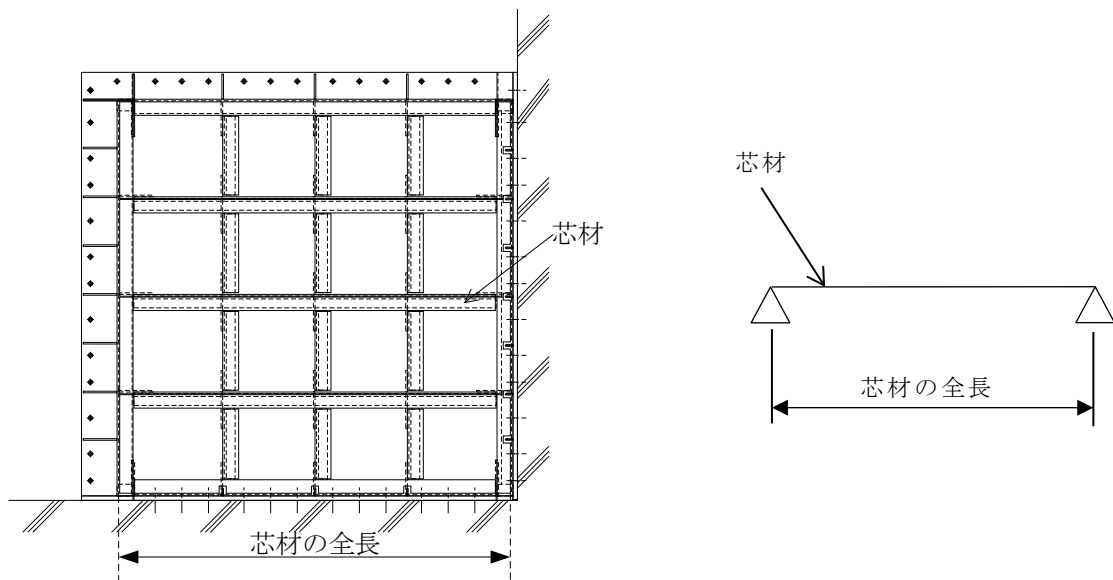


図3-1 防水板の固有値解析モデル

3.1.2 記号の説明

防水板の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 防水板の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	防水板の 1 次固有振動数
L	mm	はり長さ
E	N/mm ²	ヤング係数
I	mm ⁴	断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布

3.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「構造力学公式集（（社）土木学会）」に基づき以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I \times 10^6}{m}}$$

3.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有振動数の計算条件

防水板 No.	防水板名称	はり長さ L (mm)	ヤング係数 E (N/mm ²)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
1	原子炉建物 3 階 新燃料 検査台ピット室防水板	965	2.05×10^5	2.490×10^7	214
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)	2230	2.05×10^5	4.180×10^7	254
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)	2229	2.05×10^5	4.180×10^7	250
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)	1770	2.05×10^5	4.180×10^7	260
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)	958	2.05×10^5	2.490×10^7	276
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)	1770	2.05×10^5	2.490×10^7	269
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)	958	2.05×10^5	2.490×10^7	270

3.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の算出結果を表 3-3 に示す。各防水板の固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-3 固有振動数の算出結果

防水板 No.	防水板名称	固有振動数 f (Hz)
1	原子炉建物 3 階 新燃料検査台ピット室防水板	260.52
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）	58.02
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）	58.53
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）	91.02
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）	232.76
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）	69.07
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）	235.33

3.4 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」、VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」に基づき設定する。

防水板は建物・構築物として評価し、地震応答解析に基づいて算定された防水板設置床及びその上階の最大応答加速度（1.0ZPA）から各防水板の設計震度を設定する。

各防水板の設置床及びその上階の最大応答加速度から算出した設計震度を表3-4に示す。

表 3-4 設計震度

建物	階	設置床高さ (EL)	基準地震動 S_s の 設計震度	
			水平震度	鉛直震度
原子炉建物	3	34.8m	1.46	1.51
タービン建物	2	12.5m	2.23	0.90
廃棄物処理建物	2	22.1m	1.21	0.96

4. 構造強度評価

4.1 評価対象部位

評価対象部位は，自重及び地震に伴う慣性力が，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。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

防水板の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s^*$$

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

注記* : 耐震設計上の重要度分類 B クラスの施設に要求される地震荷重は地震荷重 (S_B) であるが、保守的な評価となるように地震荷重 (S_s) を組み合わせる。

4.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として防水板の自重を考慮する。自重は「4.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

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

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.3 許容限界

許容限界は、「4.1 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。

4.3.1 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 4-1 に示す。

表 4-1 使用材料

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

4.3.2 許容限界

(1) 鋼板及び芯材

鋼材の許容応力度は、「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）」を踏まえて表4-2の値とする。

表4-2 鋼材の短期許容応力度

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

注記*：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

(2) アンカーボルト

「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）」を踏まえて表4-3の値とする。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重及び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。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，アンカーボルト母材のせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表4-3 アンカーボルトの短期許容荷重

防水板 No.	材質	短期許容荷重 (kN)	
		引張	せん断
1	SS400 (M16)	23.6	25.8
2	SS400 (M16)	28.4	25.8
3	SS400 (M16)	36.9	25.8
4	SS400 (M16)	36.2	25.8
5	SS400 (M16)	27.1	25.8
6	SS400 (M16)	34.9	25.8
7	SS400 (M16)	29.0	25.8

4.4 評価方法

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

(1) 応力算定

自重及び地震荷重を受ける鋼板及び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及び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4-1～図4-3に示す。

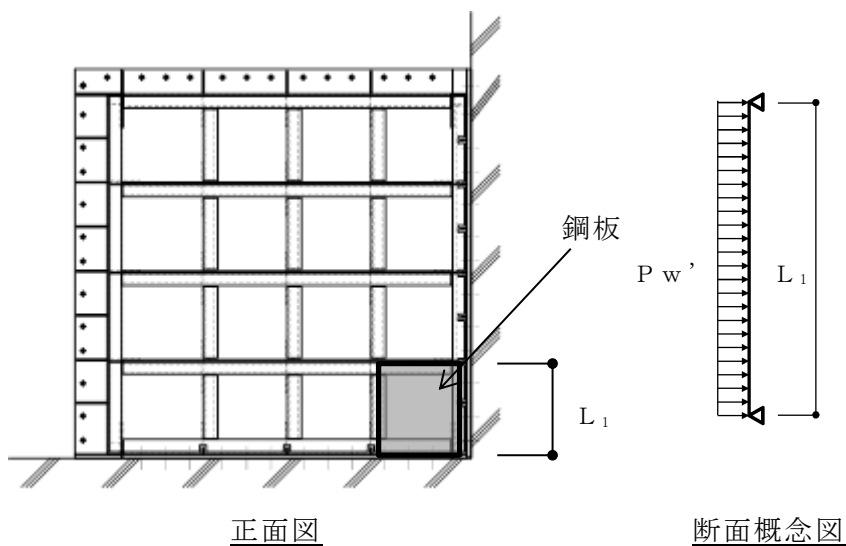


図4-1 地震時の鋼板に作用する荷重の例

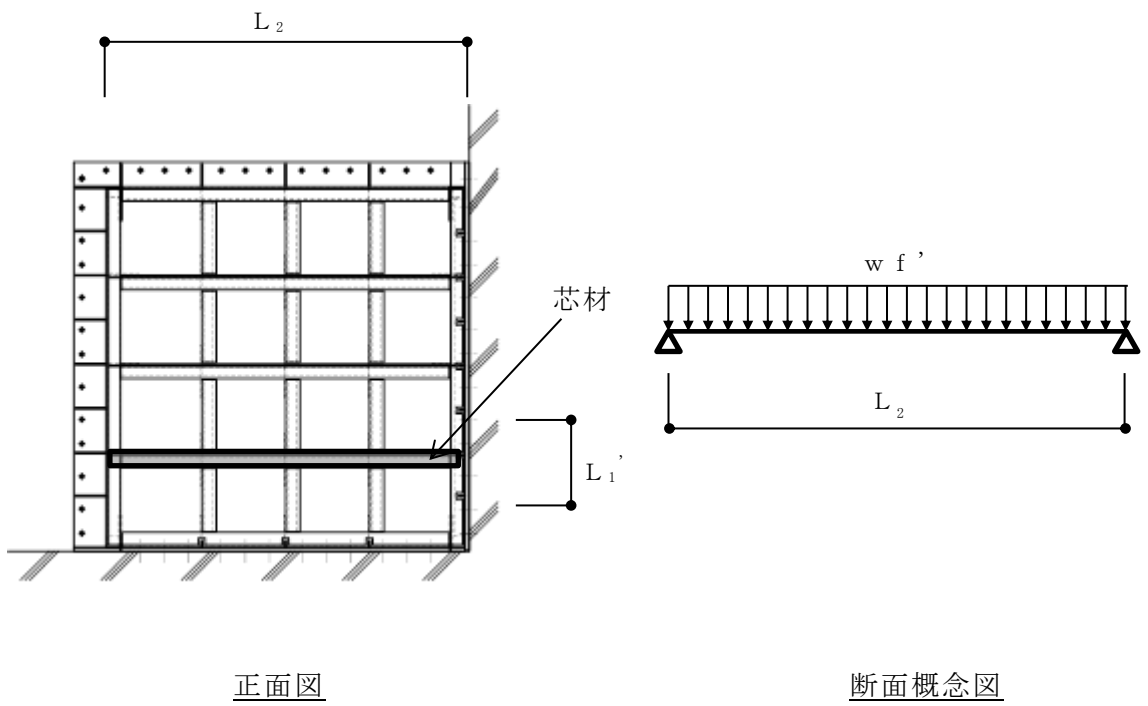


図 4-2 地震時の芯材に作用する荷重の例

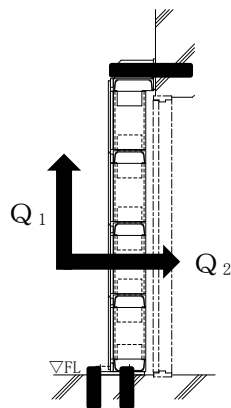


図 4-3 地震時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 鋼板

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当たりの地震荷重による分布荷重は、次式より算出する。

$$P_w' = \rho \cdot t \cdot k_H \cdot 10^{-6}$$

ここで、 P_w' :地震荷重による分布荷重 (N/mm²)
 ρ :鋼板の単位体積重量 (kN/m³)
 t :鋼板の板厚 (mm)
 k_H :水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

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。

$$\sigma_\rho = 1/8 \cdot P_w' \cdot L_1^2 / Z \cdot 10^3$$

ここで、 σ_ρ :鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)
 P_w' :地震荷重による分布荷重 (N/mm²)
 L_1 :芯材間距離 (mm)
 Z :鋼板の断面係数 (mm³/m)

b. 芯材

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当たりの地震時水平荷重は鋼板及び芯材に作用する地震力を考慮して次式より算出する。

$$w_f' = (\rho \cdot t \cdot L_1' \cdot 10^{-6} + w_1 \cdot g \cdot 10^{-3}) \cdot k_H$$

ここで、 w_f' :芯材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)
 ρ :鋼板の単位体積重量 (kN/m³)
 t :鋼板の板厚 (mm)
 L_1' :芯材1本当たりが負担する鋼板の幅 (mm)
 w_1 :芯材の単位質量 (kg/m)
 g :重力加速度 (m/s²)
 k_H :水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

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。

$$\sigma_f = 1/8 \cdot w f' \cdot L_2^2 / Z_f$$

ここで、 σ_f : 芯材の曲げ応力度 (N/mm²)
 $w f'$: 芯材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)
 L_2 : 芯材の長さ (mm)
 Z_f : 芯材の断面係数 (mm³)

(c) 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。

$$\tau_f = 1/2 \cdot w f' \cdot L_2 / A_f$$

ここで、 τ_f : 芯材のせん断応力度 (N/mm²)
 $w f'$: 芯材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)
 L_2 : 芯材の長さ (mm)
 A_f : 芯材のせん断断面積 (mm²)

(d) 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「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）」に基づく次式により算出し、芯材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

ここで、 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) 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。

$$T = Q_1 / N$$

$$Q_1 = F / 2$$

$$F_h = G_1 \cdot k_H$$

$$F_v = G_1 \cdot (1 + k_v)$$

ここで、
 T : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)
 Q_1 : アンカーボルトに生じる引張力 (kN)
 N : 防水板の片側 (左右若しくは上下) に取り付くアンカーボルトの本数 (本)
 F : F_h 又は F_v (kN)
 F_h : 防水板に生じる水平方向の地震荷重 (kN)
 G_1 : 防水板の固定荷重 (kN)
 k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
 F_v : 防水板に生じる鉛直方向の地震荷重 (kN)
 k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(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。

$$q = Q_2 / N$$

$$Q_2 = \sqrt{(F_h^2 + F_v^2)} / 2$$

ここで、
 q : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)
 Q_2 : アンカーボルトに生じるせん断力 (kN)
 N : 防水板の片側 (左右若しくは上下) に取り付くアンカーボルトの本数 (本)
 F : F_h 又は F_v (kN)
 F_h : 防水板に生じる水平方向の地震荷重 (kN)
 F_v : 防水板に生じる鉛直方向の地震荷重 (kN)

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）」に基づく次式により算出し，1以下であることを確認する。

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

ここで， T : アンカーボルト1本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重 (kN)

q : アンカーボルト1本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重 (kN)

4.5 評価条件

耐震評価に用いる入力値を表 4-4 に示す。

表 4-4 耐震評価に用いる条件(1/3)

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.		
				1	2	3
共通	k_H	-	水平震度	1.46	2.23	2.23
	k_V	-	鉛直震度	1.51	0.90	0.90
鋼板	t	mm	鋼板の板厚	22	16	16
	L_1	mm	鋼板の負担幅	532	585	545
	Z	mm ³ /m	鋼板の断面係数	80670	42670	42670
芯材	L_1'	mm	芯材負担幅	526	565	545
	w_1	kg/m	芯材の単位質量	54.4	58.7	58.7
	L_2	mm	芯材全長	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	N	本	片側（左右若しくは上下）*のアンカーボルトの本数	8	13	9
	G_1	kN	防水板の 固定荷重	8.1	23.6	23.1

注記*：左右若しくは上下でアンカーボルトの本数が異なる場合は，検定比（組合せ）が最大となるアンカーボルトが取り付く側とする。

表 4-4 耐震評価に用いる条件 (2/3)

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.	
				4	5
共通	k_H	-	水平震度	1.21	1.21
	k_V	-	鉛直震度	0.96	0.96
鋼板	t	mm	鋼板の板厚	16	16
	L_1	mm	鋼板の負担幅	581	570
	Z	mm ³ /m	鋼板の断面係数	42670	42670
芯材	L_1'	mm	芯材負担幅	579	570
	w_1	kg/m	芯材の単位質量	58.7	54.4
	L_2	mm	芯材全長	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	N	本	片側（左右若しくは上下）*のアンカーボルトの本数	15	19
	G_1	kN	防水板の 固定荷重	24.1	10.9

注記*：左右若しくは上下でアンカーボルトの本数が異なる場合は、
検定比（組合せ）が最大となるアンカーボルトが取り付く側とする。

表 4-4 耐震評価に用いる条件 (3/3)

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.	
				6	7
共通	k_H	-	水平震度	1.21	1.21
	k_V	-	鉛直震度	0.96	0.96
鋼板	t	mm	鋼板の板厚	16	16
	L_1	mm	鋼板の負担幅	581	520
	Z	mm ³ /m	鋼板の断面係数	42670	42670
芯材	L_1'	mm	芯材負担幅	579	520
	w_1	kg/m	芯材の単位質量	54.4	54.4
	L_2	mm	芯材全長	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	N	本	片側（左右若しくは上下）*のアンカーボルトの本数	16	14
	G_1	kN	防水板の 固定荷重	25.1	10.2

注記*：左右若しくは上下でアンカーボルトの本数が異なる場合は、
検定比（組合せ）が最大となるアンカーボルトが取り付く側とする。

5. 評価結果

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

表 5-1 耐震評価結果 (1/3)

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	2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01 < 1.0
	芯材	曲げ	2	N/mm ²	233	N/mm ²	0.01 < 1.0
		せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01 < 1.0
		組合せ	3	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02 < 1.0
	アンカー ボルト	引張	-	kN	-	kN	-
		せん断	0.8	kN	25.8	kN	0.04 < 1.0
		組合せ	-		-		-
2	鋼板	曲げ	3	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02 < 1.0
	芯材	曲げ	6	N/mm ²	232	N/mm ²	0.03 < 1.0
		せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02 < 1.0
		組合せ	7	N/mm ²	235	N/mm ²	0.03 < 1.0
	アンカー ボルト	引張	2.1	kN	28.4	kN	0.08 < 1.0
		せん断	2.1	kN	25.8	kN	0.09 < 1.0
		組合せ	-		-		0.02 < 1.0
3	鋼板	曲げ	3	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02 < 1.0
	芯材	曲げ	6	N/mm ²	232	N/mm ²	0.03 < 1.0
		せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02 < 1.0
		組合せ	7	N/mm ²	235	N/mm ²	0.03 < 1.0
	アンカー ボルト	引張	2.9	kN	36.9	kN	0.08 < 1.0
		せん断	2.9	kN	25.8	kN	0.12 < 1.0
		組合せ	-		-		0.02 < 1.0

表 5-1 耐震評価結果 (2/3)

防水板 No.	評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定比
4	鋼板	曲げ	2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01 < 1.0
	芯材	曲げ	3	N/mm ²	228	N/mm ²	0.02 < 1.0
		せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01 < 1.0
		組合せ	4	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02 < 1.0
	アンカー ボルト	引張	1.0	kN	36.2	kN	0.03 < 1.0
		せん断	1.9	kN	25.8	kN	0.08 < 1.0
		組合せ	-		-		0.01 < 1.0
5	鋼板	曲げ	2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01 < 1.0
	芯材	曲げ	1	N/mm ²	233	N/mm ²	0.01 < 1.0
		せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01 < 1.0
		組合せ	2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01 < 1.0
	アンカー ボルト	引張	-	kN	-	kN	-
		せん断	0.4	kN	25.8	kN	0.02 < 1.0
		組合せ	-		-		-

表 5-1 耐震評価結果 (3/3)

防水板 No.	評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定比
6	鋼板	曲げ	2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01 < 1.0
	芯材	曲げ	3	N/mm ²	229	N/mm ²	0.02 < 1.0
		せん断	2	N/mm ²	135	N/mm ²	0.02 < 1.0
		組合せ	5	N/mm ²	235	N/mm ²	0.03 < 1.0
	アンカー ボルト	引張	1.0	kN	34.9	kN	0.03 < 1.0
		せん断	1.0	kN	25.8	kN	0.04 < 1.0
		組合せ	-		-		0.01 < 1.0
7	鋼板	曲げ	2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01 < 1.0
	芯材	曲げ	1	N/mm ²	233	N/mm ²	0.01 < 1.0
		せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01 < 1.0
		組合せ	2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01 < 1.0
	アンカー ボルト	引張	-	kN	-	kN	-
		せん断	0.5	kN	25.8	kN	0.02 < 1.0
		組合せ	-		-		-

VI-2-10-2-15 貫通部止水処置の耐震性についての計算書

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. 固有周期	12
4.1 固有周期の計算方法	12
4.2 固有周期の計算条件	13
4.3 固有周期の計算結果	13
5. 構造強度評価	14
5.1 構造強度評価方法	14
5.2 荷重及び荷重の組合せ	14
5.2.1 荷重の設定	14
5.2.2 荷重の組合せ	16
5.3 許容限界	16
5.4 設計用地震力	18
5.5 計算方法	19
5.6 計算条件	20
6. 評価結果	21

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち、貫通部止水処置が設計用地震力（基準地震動 S_s ）に対して、主要な構造部材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、地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水又は内部溢水の伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有することを説明するものである。その耐震評価は貫通部止水処置の荷重又は応力評価により行う。

貫通部止水処置は、設計基準対象施設においてはSクラス及びCクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

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。		
	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。		

2.3 評価方針

貫通部止水処置の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す貫通部止水処置の構造を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する評価部位において、発生する荷重が許容限界内に収まることを「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施し、確認結果を「6. 評価結果」に示す。貫通部止水処置のうち、モルタル及び電路貫通部金属ボックスの耐震評価フローをそれぞれ、図2-1及び図2-2に示す。

ここで、シール材を施工する貫通部においては、貫通部近傍に支持構造物を設置することで、地震時は建物壁と貫通物が一体で動く構造であり、相対変位が軽微な箇所に設置していることから、地震時の貫通部に対する配管変位及び相対変位の影響は十分小さい。また、電路に使用する充填タイプのシール材は、柔軟性及び余長を有するケーブル隙間に充填することとしており、地震時にケーブルに発生する荷重は十分小さい。これらのことから、地震による相対変位や荷重によるシール材への影響は軽微であるため、耐震評価の対象としない。ただし、電路貫通部については、シール材が型崩れしないように金属ボックスを壁面又は床面に固定し、シール材を充填する場合があることから、金属ボックスについては、耐震評価対象とする。

ブーツ及び金属製伸縮継手については、地震による相対変位に対して十分な伸縮性を有している。このため、地震による相対変位の影響は軽微であることから、耐震評価の対象としない。

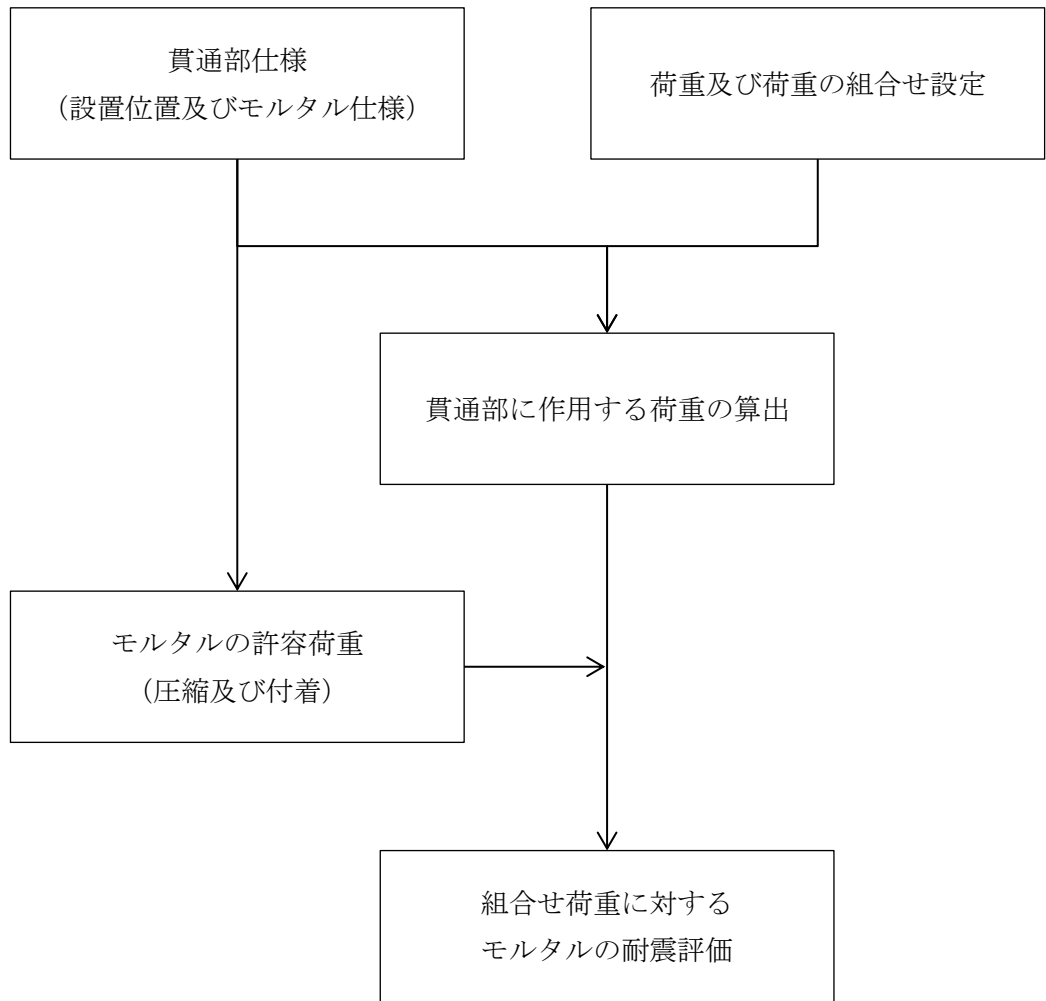


図 2-1 モルタルの耐震評価フロー

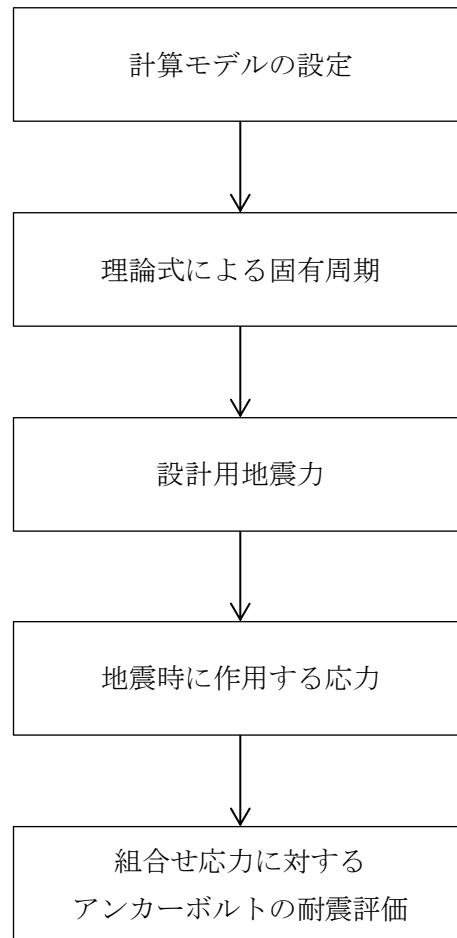


図 2-2 電路貫通部金属ボックスの耐震評価フロー

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α2 機械力学（(社)日本機械学会，2004改訂）（以下「機械工学便覧」という。）

2.5 記号の説明

モルタル及び電路貫通部金属ボックスの耐震評価に用いる記号を、表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-2 モルタルの耐震評価に用いる記号

記号	定義	単位
A_P	貫通物の投影面積	mm^2
C_1	基準地震動 S_s により生じる貫通物の軸方向設計震度	—
C_2	基準地震動 S_s により生じる貫通物の軸直角方向設計震度	—
d	貫通物の直径	mm
f_c	モルタルの許容圧縮荷重	N
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_1	基準地震動 S_s により生じる貫通物の軸方向に作用する荷重	N
F_2	基準地震動 S_s により生じる貫通物の軸直角方向に作用する荷重	N
F_C	貫通物の反力によりモルタルに生じる圧縮荷重	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
g	重力加速度	m/s^2
L	貫通物の支持間隔	mm
L_w	モルタルの充填深さ	mm
w	貫通物の単位長さ当たりの質量	kg/m
γ_c	材料定数	—

表 2-3 電路貫通部金属ボックスの耐震評価に用いる記号

記号	定義	単位
A_b	アンカーボルトの軸断面積	mm^2
C_H	基準地震動 S_s により生じる貫通物の水平方向設計震度	—
C_V	基準地震動 S_s により生じる貫通物の鉛直方向設計震度	—
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	据付面又は取付面から重心までの距離	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}	引張力の支持を期待するアンカーボルトの本数（正面方向）	—
n_{fV}	引張力の支持を期待するアンカーボルトの本数（側面方向）	—
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
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 2-4 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	桁処理	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
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 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
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	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
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}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
断面二次モーメント	mm ⁴	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

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、「2.2 構造計画」にて設定している構造にしたがって、地震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

評価対象については、貫通部止水処置の耐震重要度分類を踏まえ、津波の流入を考慮した範囲から選定する。

モルタルについては、地震時に貫通物の反力が直接作用することが考えられるため、モルタルを評価部位とする。また、モルタル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。モルタルを用いた貫通部のうち、貫通物がないため埋め戻しを行っている貫通部は貫通物の追従により生じる荷重がないため、貫通物を通っている場合の評価に包絡される。

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。

モルタル及び電路貫通部金属ボックスの評価部位をそれぞれ、図 3-1 及び図 3-2 に示す。

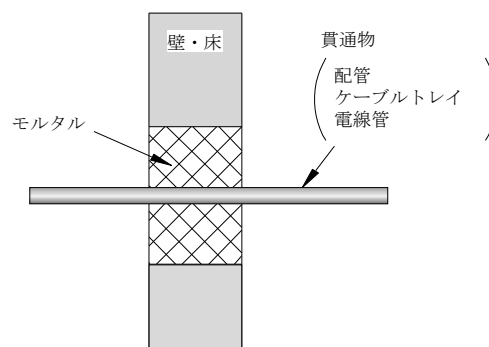


図 3-1 モルタルの評価部位

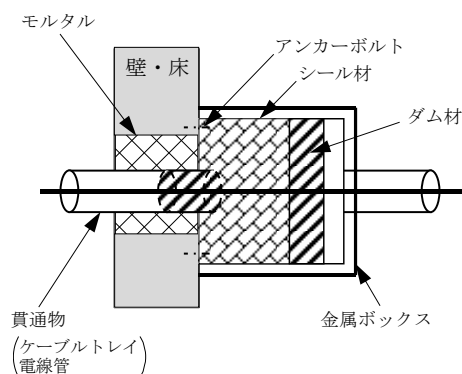


図 3-2 電路貫通部金属ボックスの評価部位

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

モルタルは、壁面又は床面に埋め込まれている構造で躯体側と一体となって振動するため、固有周期の算出は不要である。

一方、電路貫通部金属ボックスは、壁面又は床面に固定しているアンカーボルトの健全性を確認するため固有周期を算出する。その方法を以下に示す。

(1) 計算手法

電路貫通部金属ボックスの寸法や形状を踏まえ、図 4-1 に示す片持ちはりに単純化したモデルとして考える。

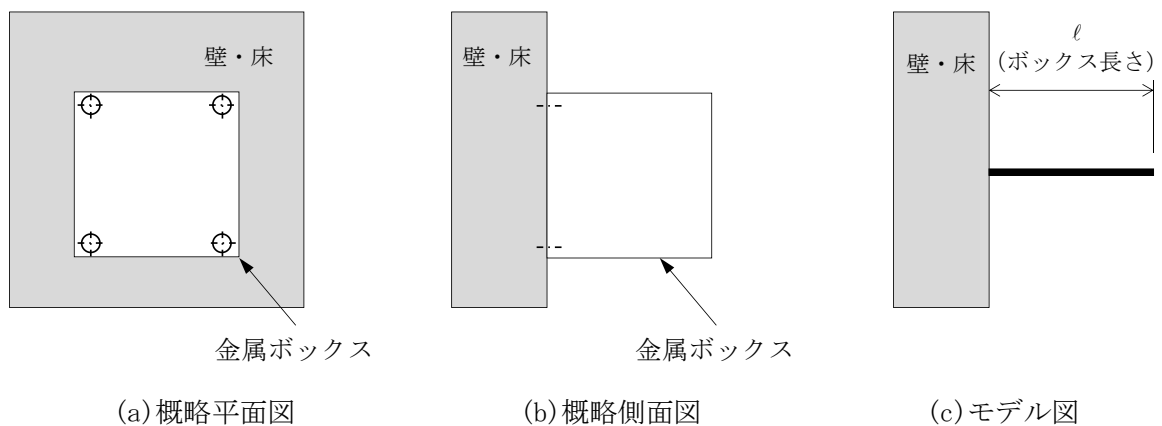


図 4-1 電路貫通部金属ボックスの評価モデル

(2) 記号の説明

電路貫通部金属ボックスの固有周期算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期算出に用いる記号

記号	定義	単位
E	縦弾性係数	MPa
f	固有振動数	Hz
I	断面二次モーメント	mm ⁴
ℓ	ボックス長さ	mm
T	固有周期	s
w	単位長さ当たりの質量	kg/m

(3) 固有周期の算出方法

固有周期は機械工学便覧に基づき、以下の式より算出する。






$$f = \frac{1.875^2}{2 \cdot \pi \cdot \ell^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{w}} \cdot 10^3$$

$$T = 1 / f$$

4.2 固有周期の計算条件

電路貫通部金属ボックスの固有周期の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 電路貫通部金属ボックスの固有周期の計算条件

縦弾性係数 E (MPa)	断面二次モーメント I (mm ⁴)		ボックス長さ ℓ (mm)	単位長さ当たり の質量 w (kg/m)
	水平方向	鉛直方向		
				

4.3 固有周期の計算結果

電路貫通部金属ボックスの固有周期の計算結果を表 4-3 に示す。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。

表 4-3 電路貫通部金属ボックスの固有周期

方向	固有周期 T (s)
水平	0.001
鉛直	0.001

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 貫通部止水処置の評価部位の荷重（応力）評価を実施し，発生荷重（応力）を算出する。
- (2) 評価部位の発生荷重（応力）と許容荷重（応力）を比較し，発生荷重（応力）が許容荷重（応力）以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の設定

(1) モルタルに作用する地震荷重

構造強度評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。

a. 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。

b. 地震荷重（S_s）

地震荷重は，基準地震動S_sに伴う地震力とする。

モルタルに作用する荷重は，付着荷重及び圧縮荷重を考慮する。地震動により貫通物に地震荷重が発生し，その荷重がモルタルに作用するものとして算出する。

(a) 貫通物からモルタルに作用する地震荷重

モルタルに作用する荷重はモルタル端部とモルタルから最も近い支持構造物までの間の貫通物の固定荷重と地震荷重が作用する。評価においては，安全側の評価となるように貫通物の両側の支持構造物間の貫通物の固定荷重及び地震力がモルタルに作用し，モルタルに反力が発生するものとして荷重を算出する。貫通物からモルタルに作用する荷重作用図を図5-1に示す。

また，貫通物は柔構造となる場合もあることから，貫通物の設置場所における床応答スペクトル又は上層における床応答スペクトルの最大応答加速度を用いて発生荷重を算出する。ただし，貫通物の軸方向については，十分な剛性を有しているため，剛構造であると判断し，基準床の最大応答加速度の1.2倍の加速度を用いて発生荷重を算出する。

(b) 評価において考慮する貫通部

評価においては，それぞれの貫通部のうち，発生する荷重が最も大きいものを算出する。

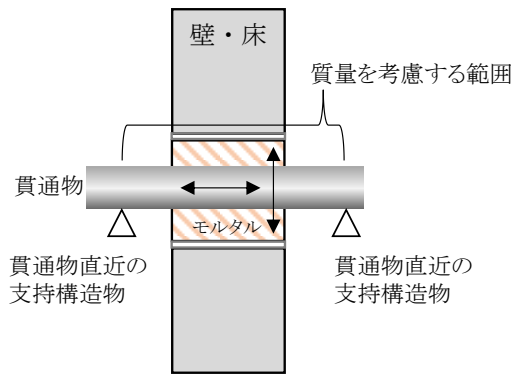


図 5-1 モルタルへの荷重作用図

(2) 電路貫通部金属ボックスに作用する地震荷重

構造強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

a. 固定荷重 (D)

固定荷重として、電路貫通部金属ボックス及びボックスに充填しているシール材の質量を考慮する。なお、電路及び電路内構造物の質量は、外部サポートによって支持されているため考慮しない。

b. 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s に伴う地震力とする。

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地震荷重が作用し、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。アンカーボルトに作用する地震荷重作用図を図 5-2 に示す。

また、4.3 項に示す固有周期の計算結果 (表 4-3) から固有周期が 0.05 秒以下で剛構造であるため、基準床の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて発生荷重を算出する。

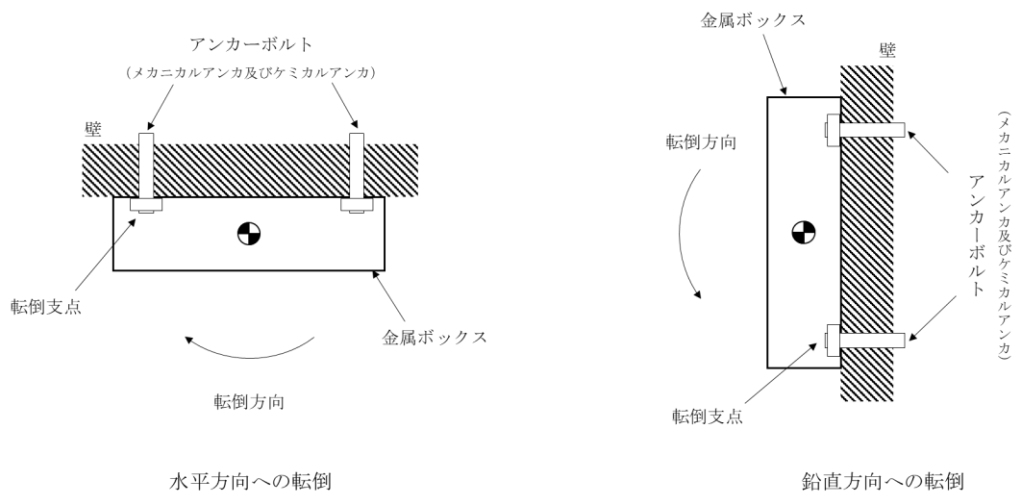


図 5-2 電路貫通部金属ボックスへの荷重作用図

5.2.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 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 + S _s

注記* : Dは固定荷重, S_sは基準地震動 S_sによる地震荷重を示す。

5.3 許容限界

(1) 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, 許容限界評価条件及び許容限界算出結果をそれぞれ, 表 5-2, 表 5-3 及び表 5-4 に示す。

表 5-2 貫通部止水処置の許容限界

状態	許容荷重*	
	付着	圧縮
短期	f _s	f _c

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, モルタル付着強度 f'_{bo,k}及びモルタルの許容圧縮荷重 f_cを算出する。モルタル圧縮強度 f'_{ck}は設計値を用いる。

$$\text{許容付着荷重 } f_s = f'_{bo,k} \cdot \pi \cdot d \cdot L_w / \gamma_c$$

$$f'_{bo,k} = 0.28 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} \cdot 0.4$$

$$\text{許容圧縮荷重 } f_c = f'_{ck} \cdot A_P / \gamma_c$$

$$A_P = d \cdot L_w$$

表 5-3 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 5-4 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 f _s (kN)	圧縮荷重 f _c (kN)
短期	モルタル	8.21 × 10 ³	6.68 × 10 ⁴

(2) 電路貫通部金属ボックス

電路貫通部金属ボックスのアンカーボルトの許容限界は、設計・建設規格に基づき許容組合せ応力 f_{ts} 、許容せん断応力 f_{sb} を算出する。

アンカーボルトの許容限界、許容限界評価条件及び許容限界算出結果をそれぞれ、表 5-5、表 5-6 及び表 5-7 に示す。

表 5-5 アンカーボルトの許容限界

許容応力状態	許容限界	
	引張応力 f_{t0} *	せん断応力 f_{sb}
ⅢAS	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

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_{ts} は、以下のとおりとする。

$$f_{ts} = \text{Min}(1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau, f_{t0})$$

表 5-6 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 5-7 アンカーボルト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_{sb} (MPa)
129	99

5.4 設計用地震力

(1) モルタル

モルタルの止水処置については、耐震計算に用いる設計震度をVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」における設計用地震力に基づき設計する。モルタルの耐震計算に用いる設計震度を表5-8に示す。

表5-8 モルタルの耐震計算に用いる設計用震度

地震動	設置場所及び 床面高さ (m)	地震による設計震度* ¹	
		貫通物軸方向 C ₁ * ³	1.53
基準地震動 S _s	タービン建物 EL 0.25 (EL 5.5* ²)	貫通物軸直角方向 C ₂ * ⁴	15.35* ⁵

注記*1:設計震度は、設計用床応答スペクトル I 及び設計用震度 I に基づき設定する。また、鉛直方向は、地震による設計震度に加え、重力加速度 (1G) を考慮する。

*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、基準床の最大応答加速度の 1.2 倍を設計震度とする。

*4: モルタルは評価対象箇所が多いことから、設計震度の算出が合理的となるように全周期帯の最大応答加速度を用いる。また、保守的な評価となるように設計用床応答スペクトル I は減衰定数 0.5% を適用する。

*5: 軸直角 2 方向のベクトル和を示す。

(2) 電路貫通部金属ボックス

電路貫通部金属ボックスについては、耐震計算に用いる設計震度をVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」における設計用地震力に基づき設計する。電路貫通部金属ボックスの耐震計算に用いる設計震度を表5-9に示す。

表5-9 電路貫通部金属ボックスの耐震計算に用いる設計用震度

地震動	設置場所及び 床面高さ (m)	地震による設計震度* ¹	
		水平方向 C _H	1.53
基準地震動 S _s	タービン建物 EL 0.25 (EL 5.5* ²)	鉛直方向 C _V	0.72

注記*1:設計震度は、設計用床応答スペクトル I 及び設計用震度 I に基づき設定する。また、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、基準床の最大応答加速度の 1.2 倍を設計震度とする。

*2: 基準床レベルを示す。

5.5 計算方法

(1) モルタルの耐震評価（荷重計算）

固定荷重及び基準地震動 S_s によりモルタルに生じる荷重を算出する。なお、鉛直方向の設計震度は、地震による設計震度に加え、重力加速度（1G）を考慮する。また、軸直角方向の設計震度は2方向のベクトル和を考慮する。

$$\text{付着荷重： } F_s = F_1 = w \cdot C_1 \cdot L \cdot g$$

$$\text{圧縮荷重： } F_c = F_2 = (5/8) \cdot w \cdot C_2 \cdot L \cdot g$$

(2) 電路貫通部金属ボックスの耐震評価（応力計算）

固定荷重及び基準地震動 S_s による応力は次のとおり算出する。

a. 引張応力の計算

アンカーボルトに対する引張応力は、最も厳しい条件として、図5-2で片側ボルト列を支点とする転倒を考え、これをもう片側のボルト列で受けるものとして計算する。

金属ボックスが水平方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_3} + \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_2}$$

金属ボックスが鉛直方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b2} = \frac{m \cdot C_H \cdot \ell_1 \cdot g + m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_2}$$

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

$$Q_{b1} = C_H \cdot m \cdot g$$

鉛直方向の力

$$Q_{b2} = (1 + C_V) \cdot m \cdot g$$

せん断力

$$Q_b = \sqrt{Q_{b1}^2 + Q_{b2}^2}$$

せん断応力

$$\tau = Q_b / (n \cdot A_b)$$

5.6 計算条件

(1) モルタル

モルタルの耐震評価に関する荷重評価条件を表 5-10 に示す。

表 5-10 モルタルの耐震評価に関する荷重評価条件

貫通箇所 (貫通部仕様)	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)
タービン建物 地下 1 階壁貫通部 (モルタル)	□	□

(2) 電路貫通部金属ボックス

電路貫通部金属ボックスの耐震評価に関する荷重評価条件を表 5-11 に示す。

表 5-11 電路貫通部金属ボックスの耐震評価に関する荷重評価条件

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)	据付面又は取付面か ら重心までの距離 h (mm)	重心と下側アンカー ボルト間の鉛直方向 距離 l_1 (mm)
タービン建物 地下 1 階壁貫通部 (金属ボックス)	□	□*	□*

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
□	□	□	□

引張力の支持を期待 するアンカーボルト の本数 (正面方向) n_{fH}	引張力の支持を期待 するアンカーボルト の本数 (側面方向) n_{fV}
□	□

注記*：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

6. 評価結果

(1) モルタル

モルタルの耐震評価結果を表 6-1 に示す。評価部位における発生荷重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 6-1 モルタルの耐震評価結果

荷重	発生荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
付着荷重	6.16×10^3	8.21×10^3
圧縮荷重	3.86×10^4	6.68×10^4

(2) 電路貫通部金属ボックス

電路貫通部金属ボックスの耐震評価結果を表 6-2 に示す。評価部位における発生応力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 6-2 電路貫通部金属ボックスの耐震評価結果

応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張応力	36	129*
せん断応力	11	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-2-10-2-16 取水槽水位計の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 検出器 (LE215-3A, B)	2
2.1 概要	2
2.2 一般事項	2
2.2.1 構造計画	2
2.2.2 評価方針	5
2.2.3 適用規格・基準等	6
2.2.4 記号の説明	7
2.2.5 計算精度と数値の丸め方	8
2.3 評価部位	9
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	13
2.5 構造強度評価	15
2.5.1 構造強度評価方法	15
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	15
2.5.3 設計用地震力	19
2.5.4 計算方法	20
2.5.5 計算条件	23
2.5.6 応力の評価	23
2.6 機能維持評価	24
2.6.1 電氣的機能維持評価方法	24
2.7 評価結果	25
2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果	25

3. 発信器 (LX215-3A, B)	34
3.1 概要	34
3.2 一般事項	34
3.2.1 構造計画	34
3.2.2 評価方針	36
3.2.3 適用規格・基準等	37
3.2.4 記号の説明	38
3.2.5 計算精度と数値の丸め方	40
3.3 評価部位	41
3.4 固有周期	41
3.4.1 固有周期の確認	41
3.5 構造強度評価	42
3.5.1 構造強度評価方法	42
3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	42
3.5.3 設計用地震力	46
3.5.4 計算方法	47
3.5.5 計算条件	49
3.5.6 応力の評価	50
3.6 機能維持評価	51
3.6.1 電氣的機能維持評価方法	51
3.7 評価結果	52
3.7.1 設計基準対象施設としての評価結果	52

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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、取水槽水位計が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

取水槽水位計は、検出器及び発信器から構成される。取水槽水位計の構造図を図1-1に示す。

「2. 検出器」においては、取水槽水位計のうち検出器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明する。構造強度評価として、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施し、電気的機能維持評価として、検出器を評価対象部位として評価を実施する。

「3. 発信器」においては、取水槽水位計のうち発信器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明する。構造強度評価として、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施し、電気的機能維持評価として、発信器を評価対象部位として評価を実施する。

電気的機能維持評価では、機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下であることで評価する。

取水槽水位計は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

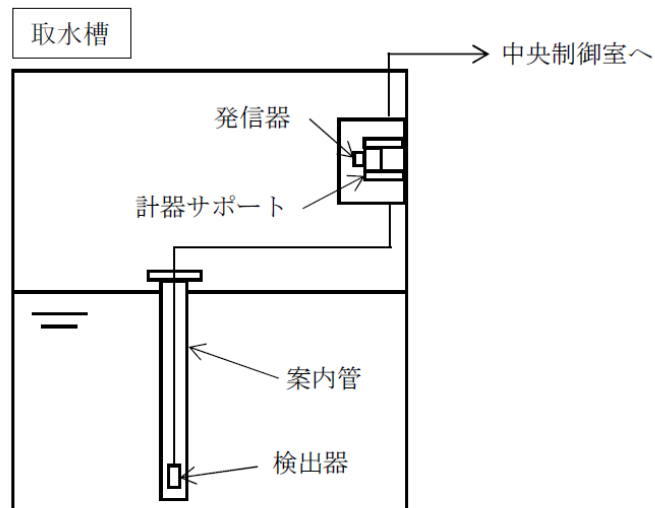


図1-1 取水槽水位計の構造図

2. 検出器 (LE215-3A, B)

2.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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、検出器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

検出器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画 (1/2)

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>The diagram shows a vertical detector assembly. The front view (正面図) labels include: ケーブル (Cable), 基礎ボルト (ケミカルアンカ) (Foundation Bolt (Chemical Anchor)), (据付床) (Support Bed), スリーブ (Sleeve), フランジ (Flange), 案内管 (Guide Pipe), サポート鋼材 (山形鋼) (Support Steel (Channel Steel)), (壁) (Wall), 後打金物 (After-Installation Hardware), and 検出器 (Detector). The side view (側面図) labels include: 基礎ボルト (Foundation Bolt), サポート鋼材 (平板) (Support Steel (Flat Plate)), and Uボルト (U-bolt). Two cross-sectional views are provided: A-A 矢視図 (A-A Section View) showing a square support plate with four bolts, and B-B 矢視図 (B-B Section View) showing the U-bolt connection to the channel steel. The drawing is identified as (LE215-3A) and includes the unit (単位: mm).</p>	

表 2-1 構造計画 (2/2)

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)</p>	<p>(正面図)</p>

(LE215-3B)

(単位：mm)

2.2.2 評価方針

検出器の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2.1 構造計画」にて示す検出器の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、検出器の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「2.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.7 評価結果」に示す。

検出器の耐震評価フローを図2-1に示す。

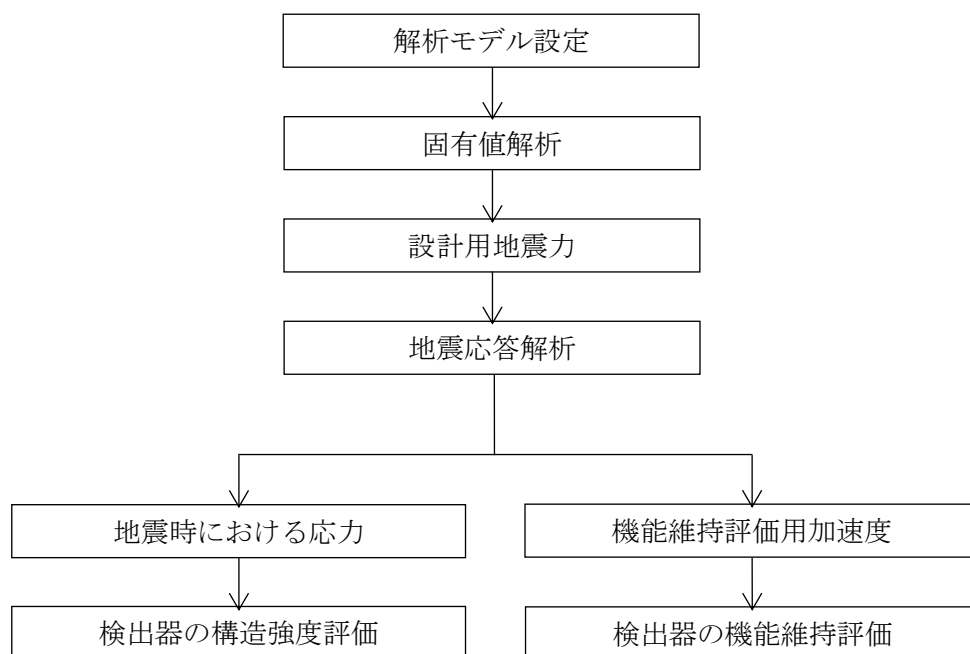


図2-1 検出器の耐震評価フロー

2.2.3 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。)

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
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 _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
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	—
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
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

記号	記号の説明	単位
π	円周率	—
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

2.2.5 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に示すとおりである。

表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桁以下となる場合は、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

検出器の耐震評価は、「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、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。検出器の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4 固有周期

2.4.1 固有値解析方法

検出器の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 検出器は、「2.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとする。

2.4.2 解析モデル及び諸元

検出器の解析モデルを図 2-2 及び図 2-3 に、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) の耐震性についての計算結果】、【検出器 (LE215-3B) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 検出器の案内管の質量は、案内管自身の質量のほか、内包水の質量及び水の付加質量*を考慮する。
- (2) 検出器及びケーブルの質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (3) 検出器及びケーブルの重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定する。
- (4) 拘束条件として、基礎部の並進方向及び回転方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (5) 案内管とサポート鋼材は剛性の高い梁要素で接続し、案内管と剛性の高い梁要素は並進 2 方向（水平方向）及び回転 1 方向（案内管軸回り方向）拘束条件で結合する。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (7) 解析コードは、「NSAFE」を使用し、固有値及び荷重を求める。

なお、評価に用いる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。

注記*：機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した質量

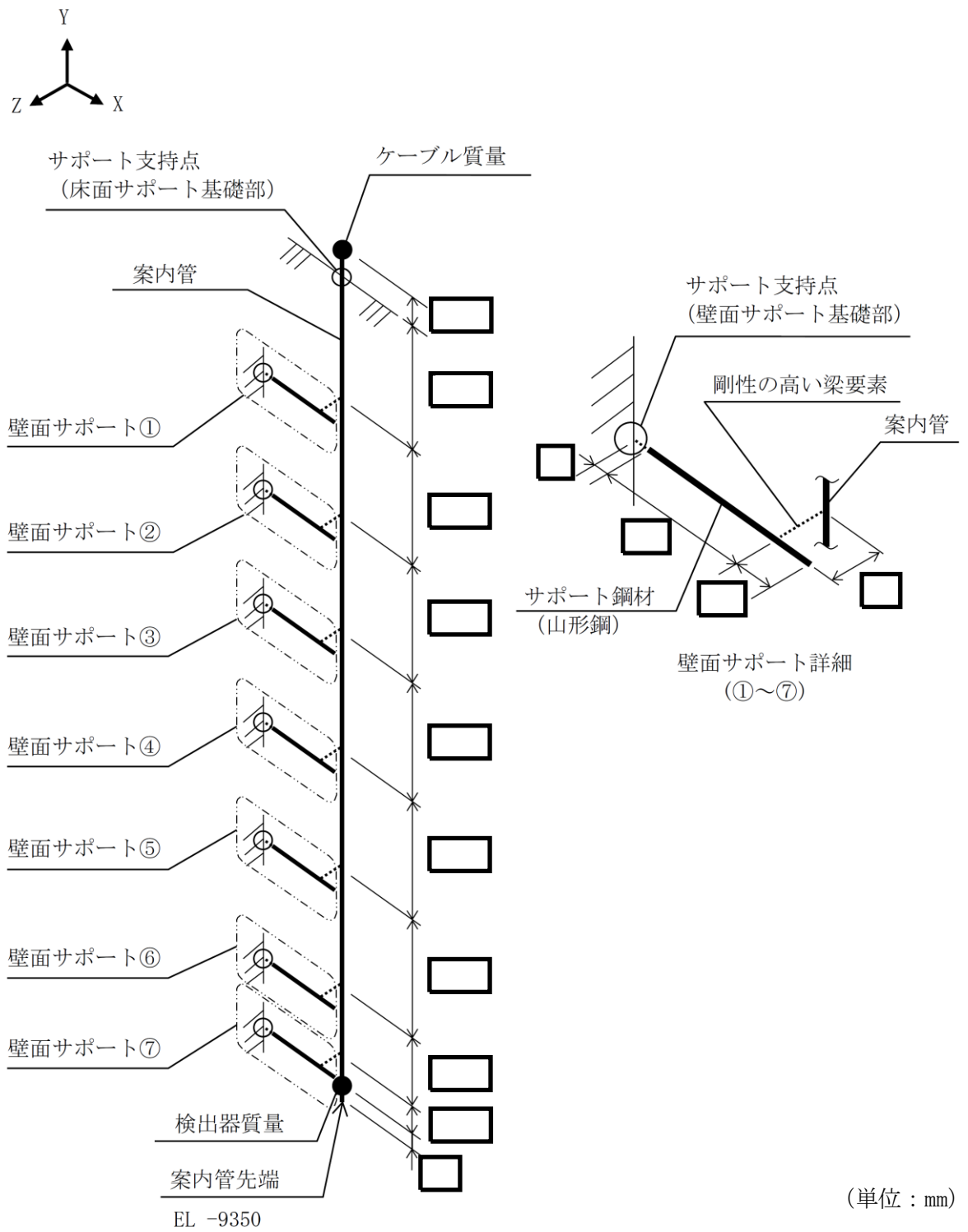


図 2-2 解析モデル (LE215-3A)

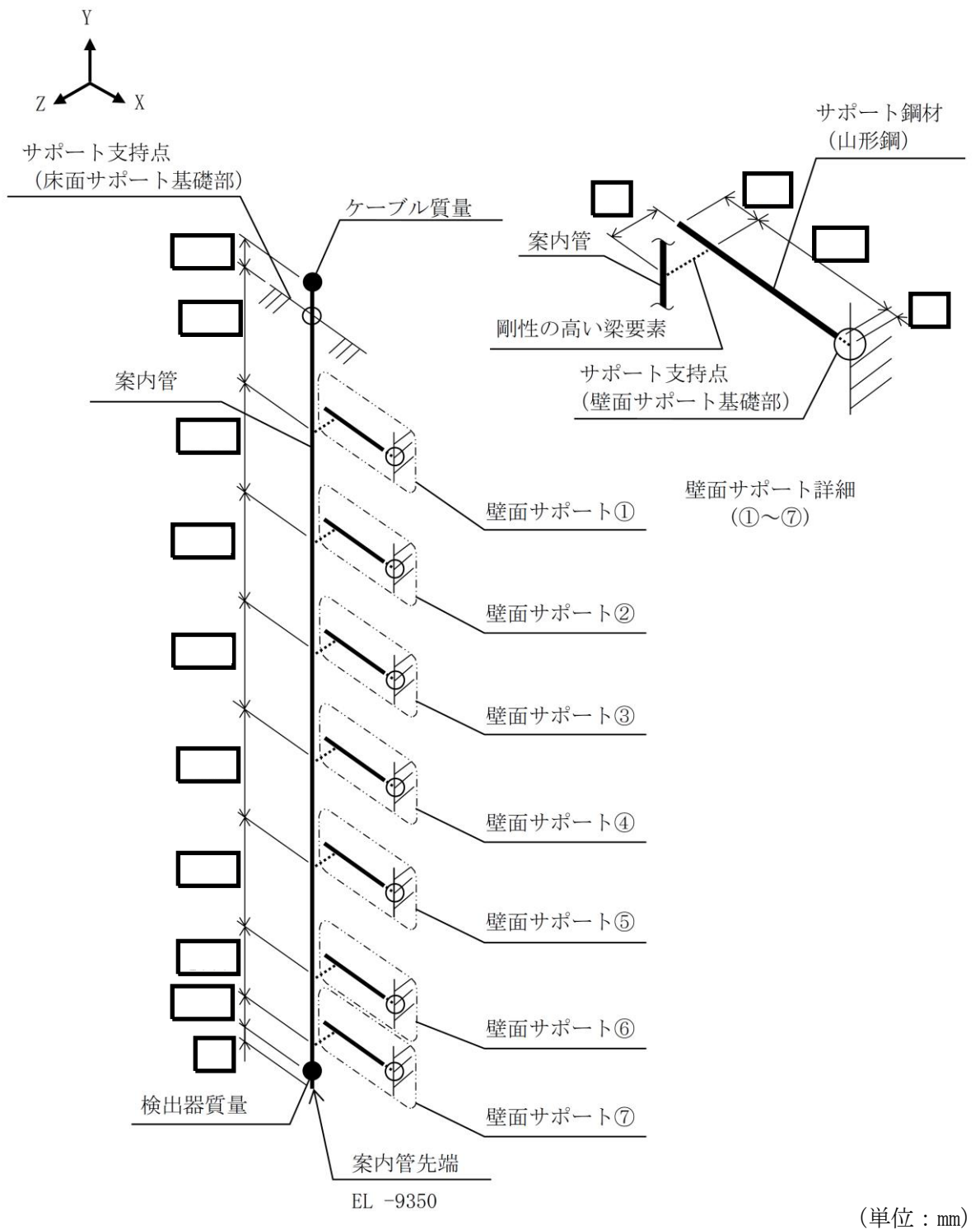


図 2-3 解析モデル (LE215-3B)

2.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-3, 振動モード図を図 2-4 及び図 2-5 に示す。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。

表 2-3 固有値解析結果

計器番号	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
				X方向	Y方向	
LE215-3A	1次	水平		—	—	—
LE215-3B	1次	水平		—	—	—

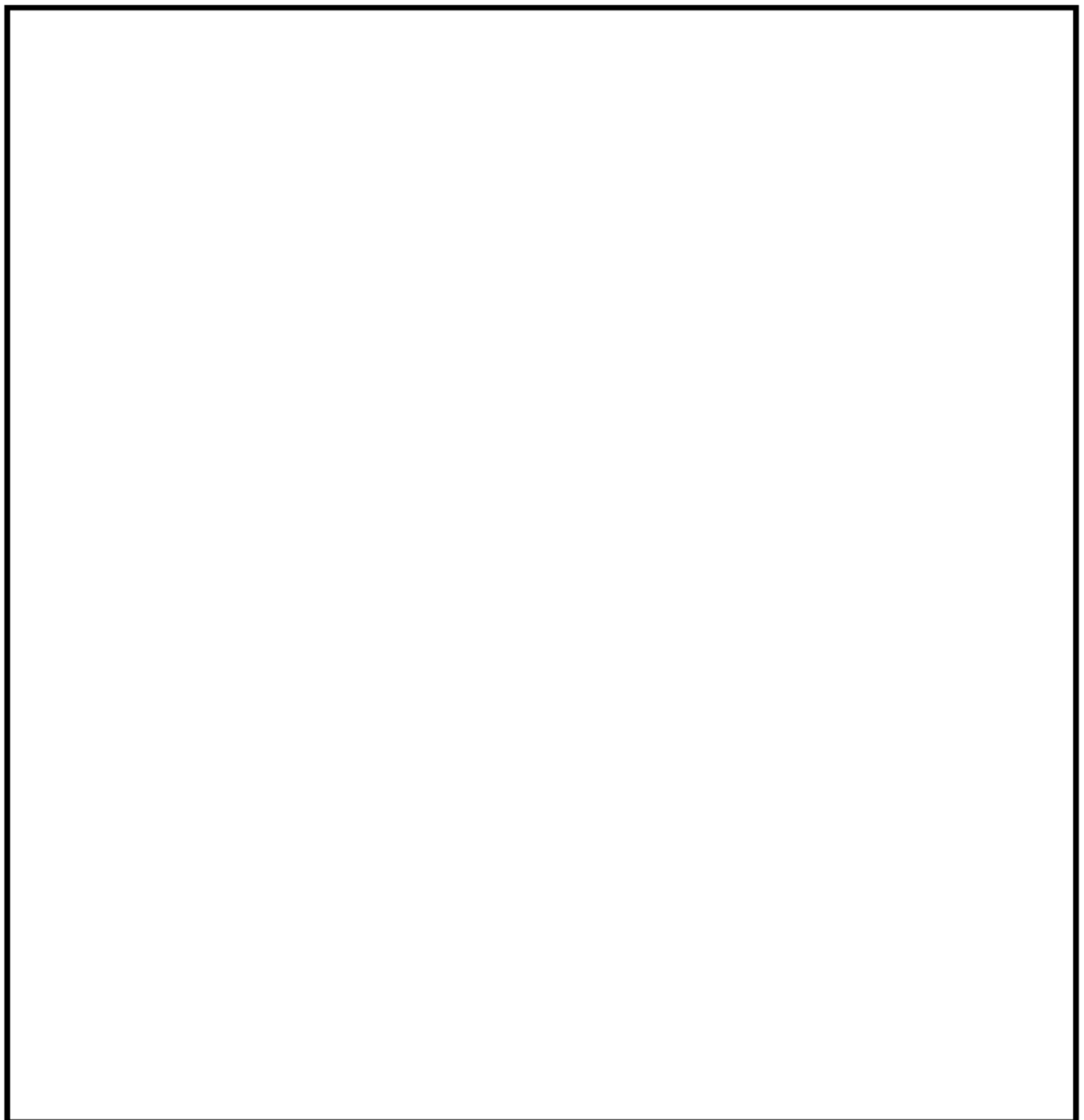


図 2-4 振動モード (LE215-3A) (1次モード 水平方向 s)

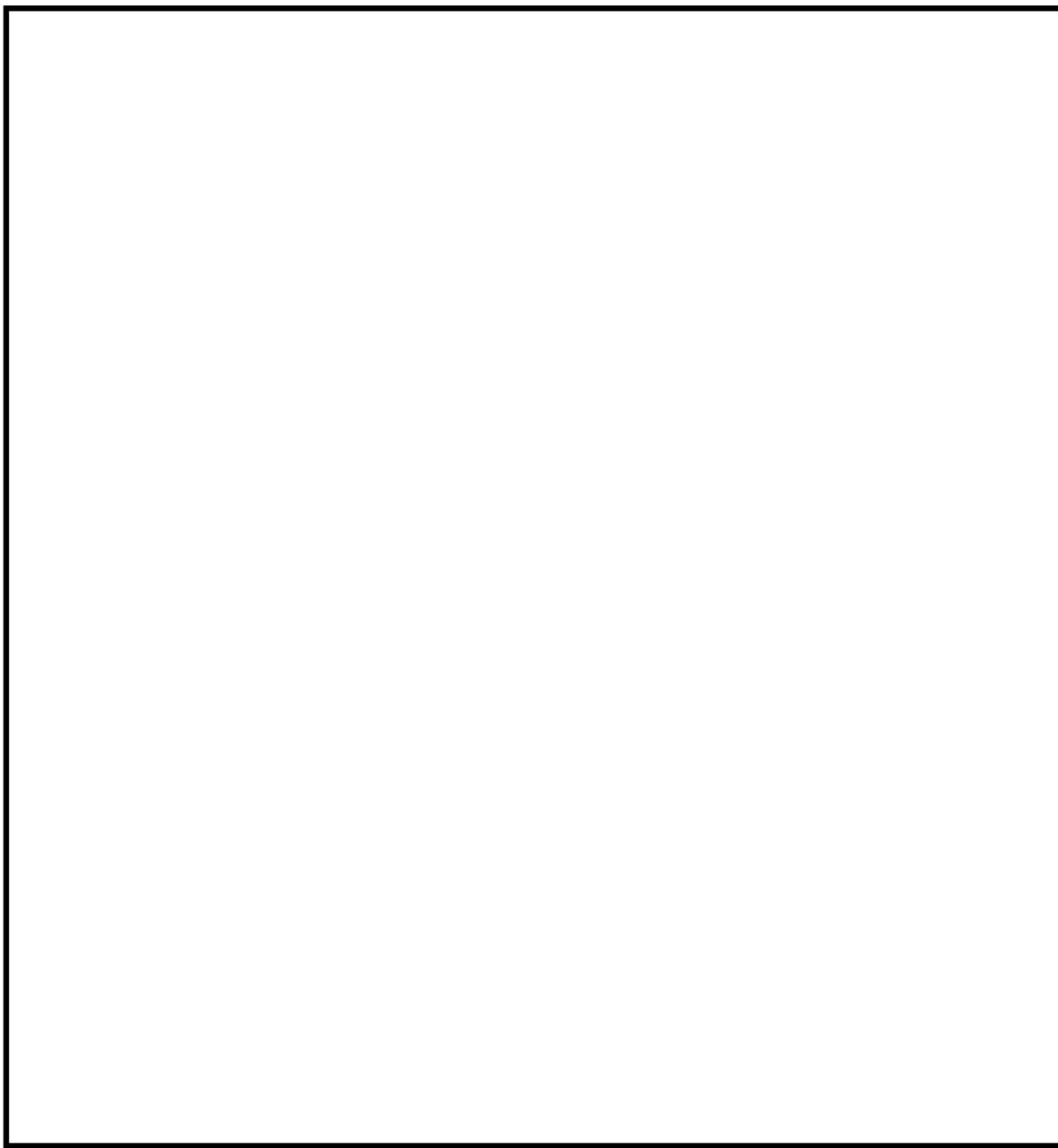


図 2-5 振動モード (LE215-3B) (1 次モード 水平方向 s)

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

2.4.2項(1)～(7)のほか，次の条件で計算する。

- (1) 地震力は，検出器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。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

検出器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表2-4に示す。

2.5.2.2 許容応力

検出器の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表2-5のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

検出器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2-6に示す。

表 2-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

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
津波監視設備	取水槽水位計	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ _A S

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 2-5 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 2-6 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

2.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-7 に示す。

「基準地震動 S_s」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 2-7 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 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
検出器 (LE215-3A)	取水槽 EL 4.0 ^{*1} (EL 8.8 ^{*1})	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =4.85 ^{*2}	C _V =2.13 ^{*2}
検出器 (LE215-3B)	取水槽 EL 4.0 ^{*1} (EL 8.8 ^{*1})			—	—	C _H =4.85 ^{*2}	C _V =2.13 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、図 2-6 及び図 2-7 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 2-8 及び表 2-9 に示す。

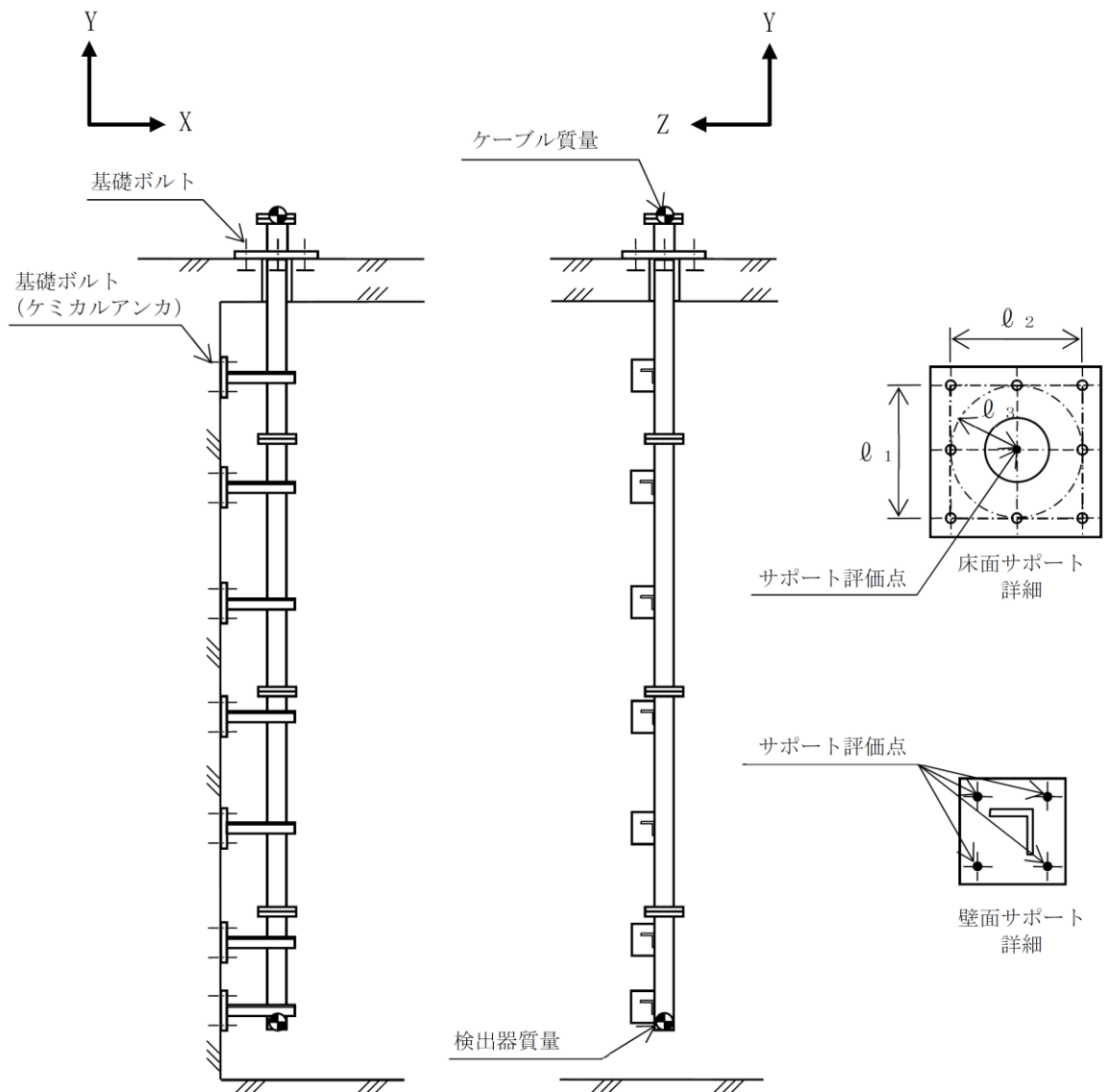


図 2-6 計算モデル（基礎ボルト部）（LE215-3A）

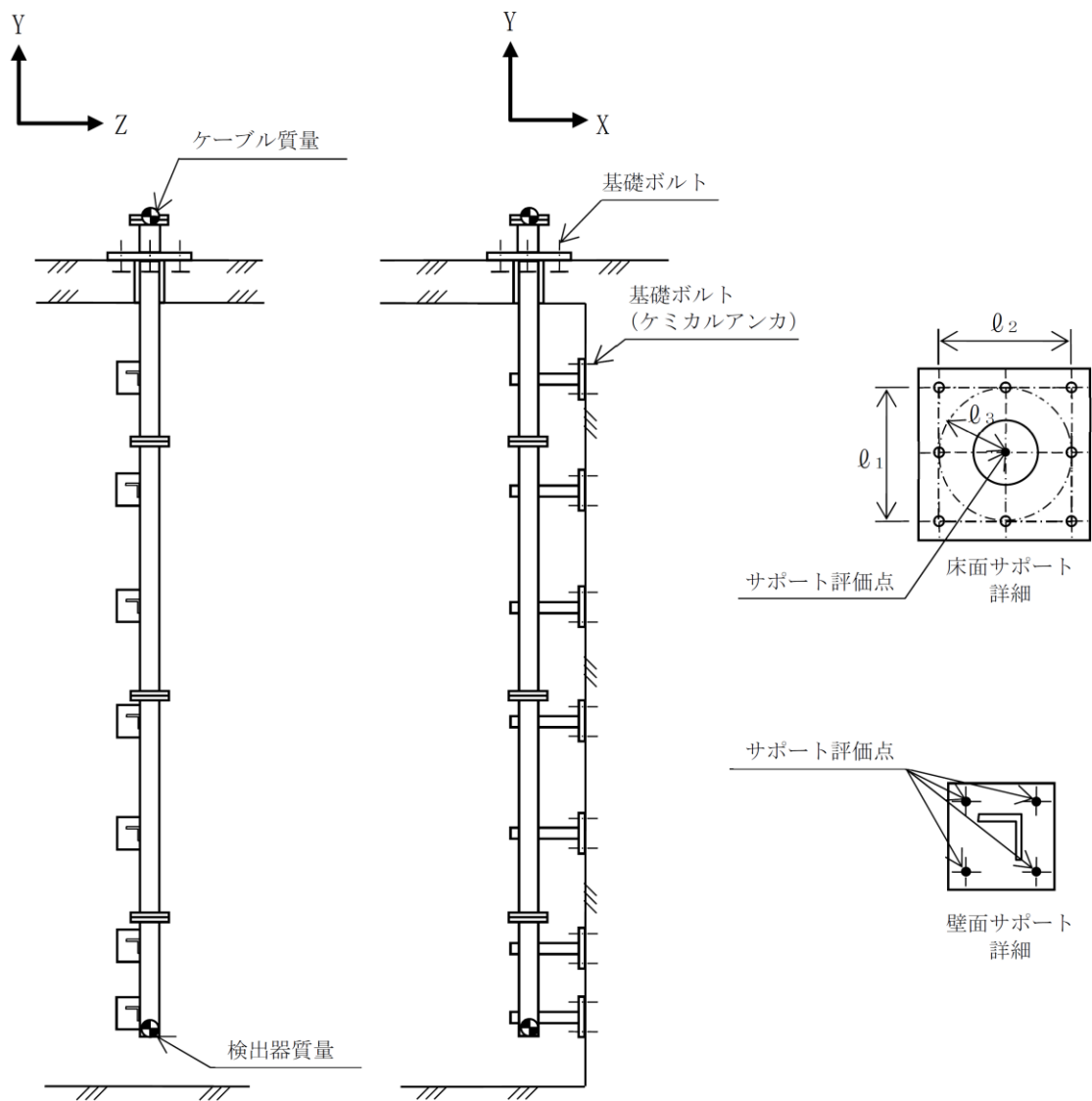


図 2-7 計算モデル (基礎ボルト部) (LE215-3B)

表2-8 サポート発生反力，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
LE215-3A						
LE215-3B						

表 2-9 サポート発生反力（壁面サポート）

対象機器	反力(N)	
	F _b	Q _b
LE215-3A		
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）

$$F_b = \frac{F_y}{n} + \frac{M_x}{l_1 \cdot n_1} + \frac{M_z}{l_2 \cdot n_2} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.3)$$

(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）

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_z^2}}{n} + \frac{M_y}{l_3 \cdot n_3} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.5)$$

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【検出器 (LE215-3A) の耐震性についての計算結果】、【検出器 (LE215-3B) 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。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

2.5.4.1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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

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。

	基準地震動 S_s 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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 機能維持評価

2.6.1 電氣的機能維持評価方法

検出器の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度を設定する。

検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬したうえで、検出器が設置される壁における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において電氣的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-10 に示す。

表 2-10 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
検出器 (LE215-3A)	水平	
	鉛直	
検出器 (LE215-3B)	水平	
	鉛直	

2.7 評価結果

2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

検出器の設計基準対象施設としての耐震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，電氣的機能を維持できることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【検出器 (LE215-3A) の耐震性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 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
検出器 (LE215-3A)	S	取水槽 EL 4.0* ¹ (EL 8.8* ¹)		0.05 以下	—	—	C _H =4.85* ²	C _V =2.13* ²	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) 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 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (床面サポート)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (床面サポート)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (床面サポート)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
基礎ボルト (壁面サポート)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (床面サポート)	SS400	引張	—	—	$\sigma_b=8$	$f_{ts}=180^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=3$	$f_{sb}=139$
基礎ボルト (壁面サポート)	SUS316L	引張	—	—	$\sigma_b=18$	$f_{ts}=105^*$
		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。

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
検出器 (LE215-3A)	水平方向	1.17	
	鉛直方向	0.87	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度により定まる加速度

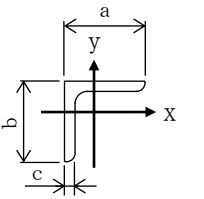
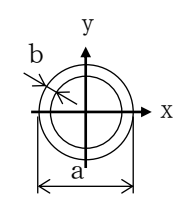
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

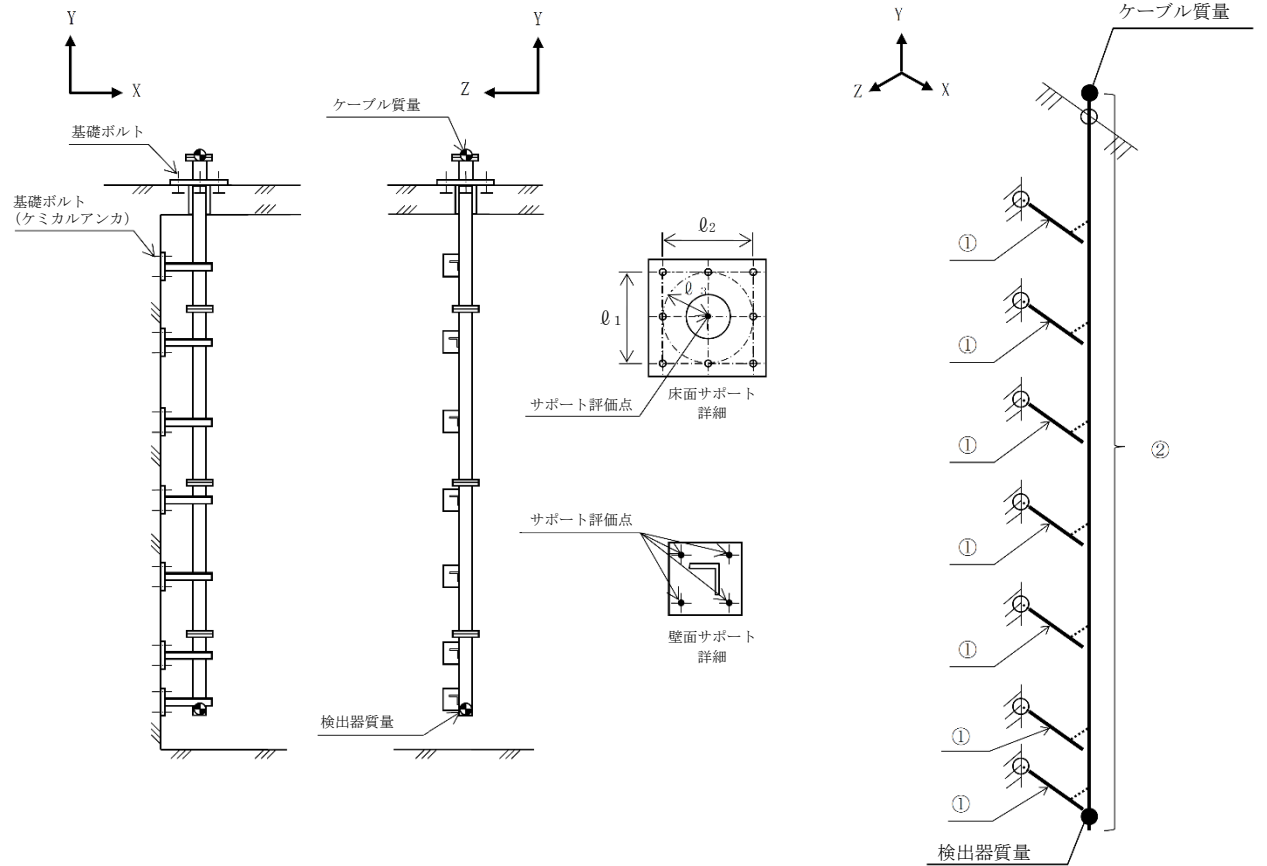
1.5 その他の機器要目

(1) 機器諸元

項目	記号	単位	入力値 (LE215-3A)
材質	—	—	SUS316/SUS316TP
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	50
縦弾性係数	E	MPa	193000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

(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)	<input type="text"/>	
Z ₁ (mm ³)		
Z ₂ (mm ³)		
Z _D (mm ³)		
断面形状 (mm)	 <input type="text"/> (a × b × c)	 <input type="text"/> (a × b)



【検出器 (LE215-3B) の耐震性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 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
検出器 (LE215-3B)	S	取水槽 EL 4.0* ¹ (EL 8.8* ¹)	□	0.05 以下	—	—	C _H =4.85* ²	C _V =2.13* ²	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) 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 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (床面サポート)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (床面サポート)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (床面サポート)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
基礎ボルト (壁面サポート)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (床面サポート)	SS400	引張	—	—	$\sigma_b=8$	$f_{ts}=180^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=3$	$f_{sb}=139$
基礎ボルト (壁面サポート)	SUS316L	引張	—	—	$\sigma_b=18$	$f_{ts}=105^*$
		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。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
検出器 (LE215-3B)	水平方向	1.17	
	鉛直方向	0.87	

注記*：設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度により定まる加速度

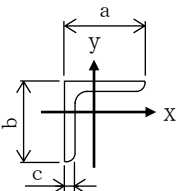
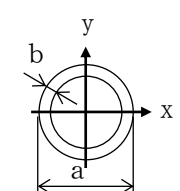
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

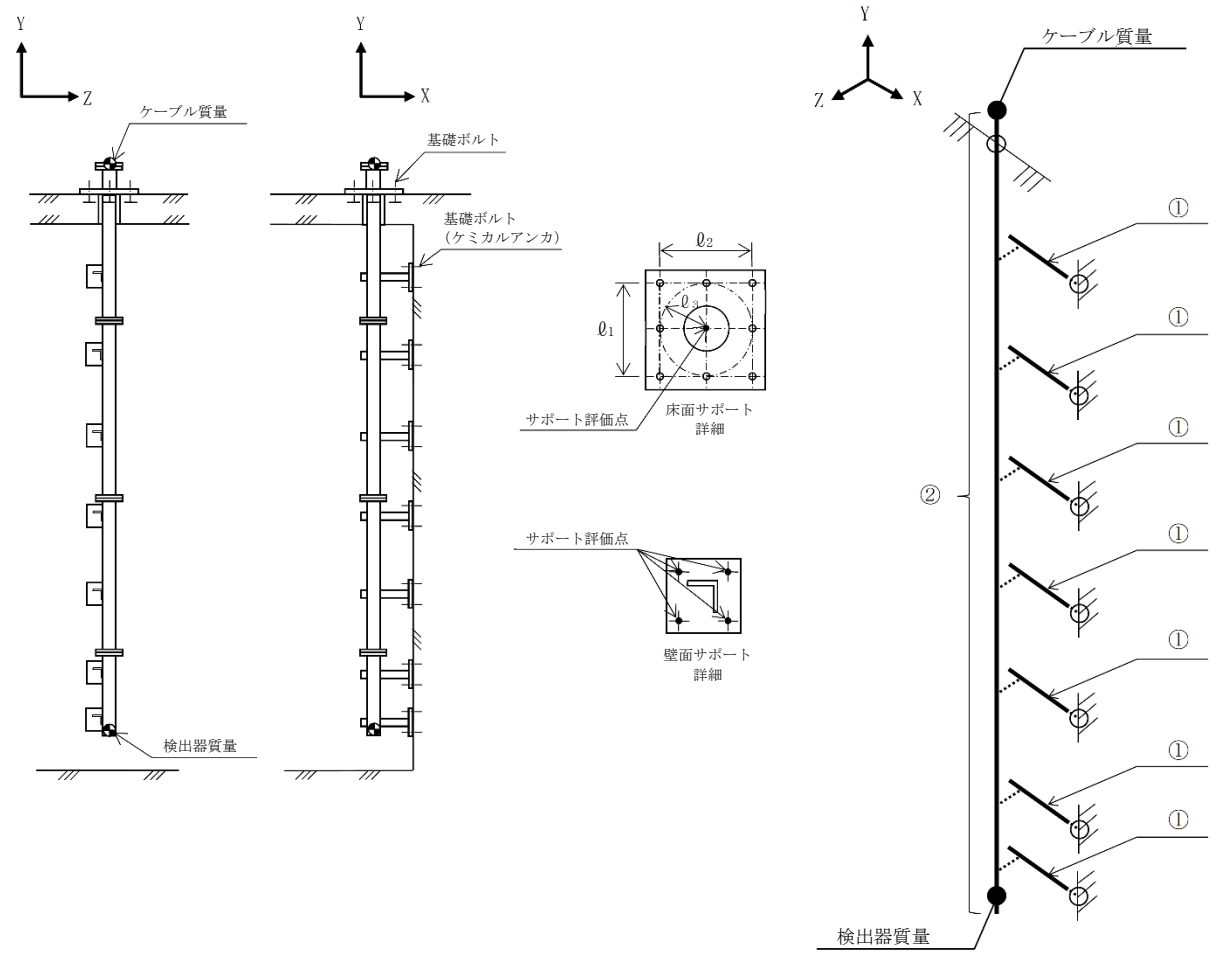
1.5 その他の機器要目

(1) 機器諸元

項目	記号	単位	入力値 (LE215-3B)
材質	—	—	SUS316/SUS316TP
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	50
縦弾性係数	E	MPa	193000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

(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)	<input type="text"/>	
Z ₁ (mm ³)		
Z ₂ (mm ³)		
Z _D (mm ³)		
断面形状 (mm)	 <input type="text"/> (a × b × c)	 <input type="text"/> (a × b)



3. 発信器 (LX215-3A, B)

3.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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、発信器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

発信器の構造計画を表 3-1 に示す。

表 3-1 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>発信器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、計器取付板は、計器取付板取付ボルトにより計器サポートに固定される。</p> <p>計器サポートは計器サポート取付ボルトによりベースに固定され、ベースは基礎ボルトで壁面に設置する。</p>	<p>壁掛形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の計器ステーション)</p>	<p>(正面図) (側面図)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>発信器 (LX215-3A)</th> <th>発信器 (LX215-3B)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>	機器名称	発信器 (LX215-3A)	発信器 (LX215-3B)	たて			横			高さ		
機器名称	発信器 (LX215-3A)		発信器 (LX215-3B)											
たて														
横														
高さ														

3.2.2 評価方針

発信器の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3.2.1 構造計画」にて示す発信器の部位を踏まえ「3.3 評価部位」にて設定する箇所において、「3.4 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「3.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、発信器の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「3.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「3.7 評価結果」に示す。

発信器の耐震評価フローを図3-1に示す。

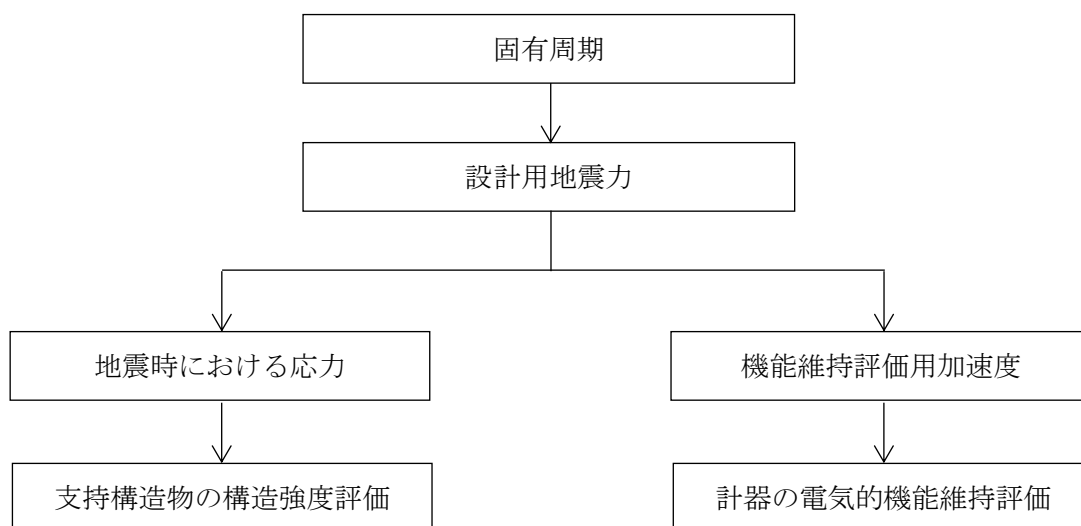


図3-1 発信器の耐震評価フロー

3.2.3 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。)

3.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F _b	ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F _{b1}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンション取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F _{b2}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンション取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり)	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 (=9.80665)	m/s ²
h ₂	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
l ₃	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛形)	mm
l _b	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛形)	mm
l _a	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離 (壁掛形)	mm
m	計器スタンションの質量	kg
n	ボルトの本数	—
n _{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (前後方向) (壁掛形)	—
n _{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (左右方向) (壁掛形)	—
Q _b	ボルトに作用するせん断力	N
Q _{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛形)	N
Q _{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛形)	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 (RT)	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
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa
P_s	積雪荷重	N

3.2.5 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 に示すとおりである。

表 3-2 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
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
速度	m/s	—	—	小数点以下第 1 位
速度圧	N/m ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2

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

発信器の耐震評価は「3.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施する。


発信器の耐震評価部位については、表 3-1 の概略構造図に示す。

3.4 固有周期

3.4.1 固有周期の確認

発信器の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 固有周期 (単位：s)

発信器 (LX215-3B)	水平	
	鉛直	

発信器の固有周期は、構造が同等な計器スタンションに対する振動試験（自由振動試験）の結果算定された固有周期を使用する。固有周期の確認結果を表 3-4 に示す。

表 3-4 固有周期 (単位：s)

発信器 (LX215-3A)	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

3.5 構造強度評価

3.5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、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。
- (3) 計器スタンションは基礎ボルトで壁に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、正面より見て左右方向及び前後方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 計器スタンションの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行う。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

発信器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.5.2.2 許容応力

発信器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-6 のとおりとする。

3.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

発信器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 3-7 に示す。

3.5.2.4 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、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、発信器の形状を踏まえ、算出する。算出した積雪荷重を表 3-8 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

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
津波監視設備	取水槽水位計	S	—*	$D + P_D + P_s + M_D + S_s$	ⅢA S

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 3-6 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 3-7 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	50	169	472	175
基礎ボルト	SUS316L	周囲環境温度	50	169	472	175

表 3-8 積雪荷重 (単位 : N)

作用する部位	積雪荷重
発信器 (LX215-3A)	□
発信器 (LX215-3B)	

3.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-9 に示す。

「基準地震動 S_s 」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 3-9 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)	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
取水槽 EL 4.0 (EL 8.8 ^{*1})	—	—	$C_H=5.64^{*2}$	$C_V=1.55^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

3.5.4 計算方法

3.5.4.1 基礎ボルトの応力計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

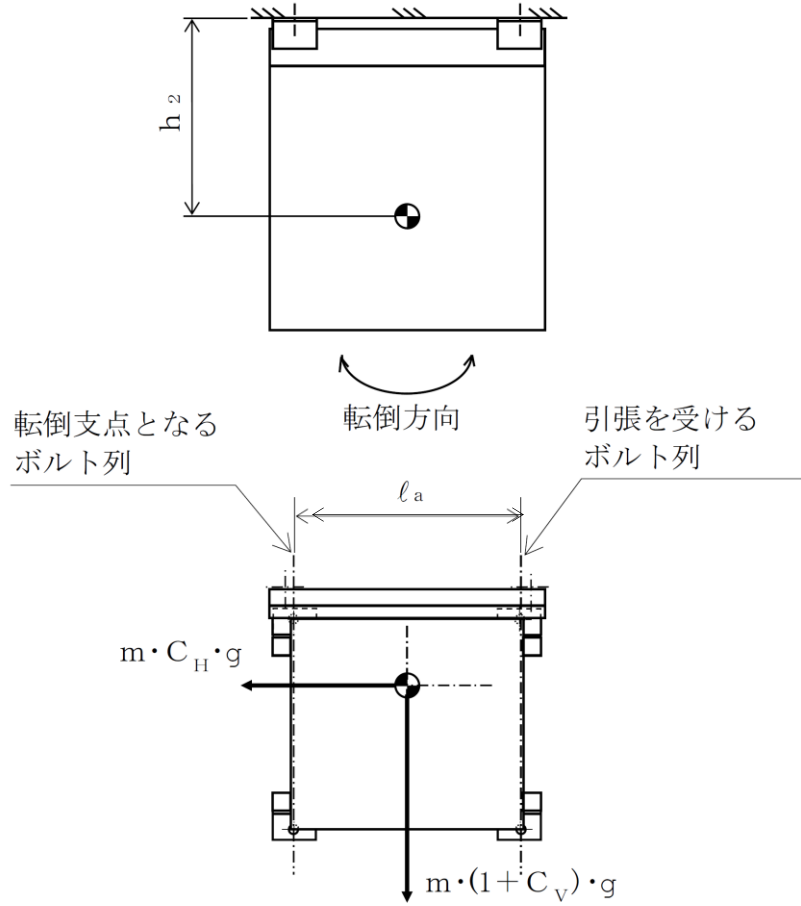


図3-2 計算モデル（左右方向転倒）

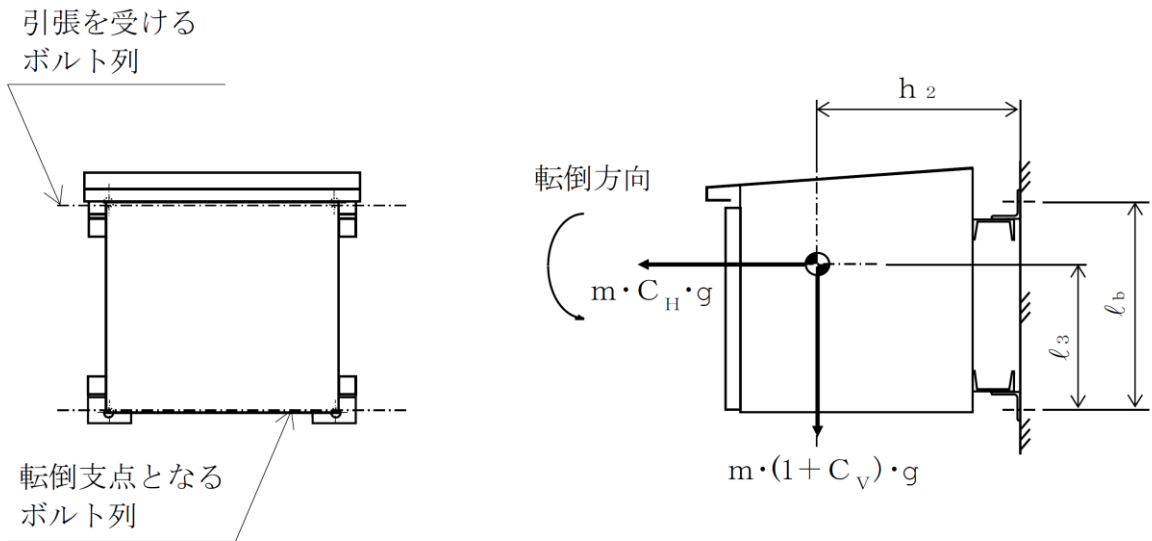


図3-3 計算モデル（前後方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図3-2及び図3-3でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{(m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot (1 + C_v) \cdot h_2}{n_{fv} \cdot \ell_b} + \frac{(m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot \ell_a} \dots \quad (2.5.4.1.1)$$

$$F_{b2} = \frac{(m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot (1 + C_v) \cdot h_2}{n_{fv} \cdot \ell_b} + \frac{(m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \cdot C_H \cdot \ell_3}{n_{fv} \cdot \ell_b} \dots \quad (2.5.4.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = C_H \cdot (m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.6)$$

$$Q_{b2} = (1 + C_v) \cdot (m \cdot g + 0.35 \cdot P_s) \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots \quad (2.5.4.1.9)$$

3.5.5 計算条件

3.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【発信器（LX215-3A）の耐震性についての計算結果】、【発信器（LX215-3B）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 ボルトの応力評価

3.5.4.1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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (3.5.6.1.1)$$

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。

	基準地震動 S_s 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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

3.6 機能維持評価

3.6.1 電氣的機能維持評価方法

発信器の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンション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。

計器スタンションに設置される発信器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の発信器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-10 に示す。

表 3-10 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
発信器 (LX215-3A)	水平	
	鉛直	
発信器 (LX215-3B)	水平	
	鉛直	

3.7 評価結果

3.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

発信器の設計基準対象施設としての耐震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、電気的機能を維持できることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【発信器 (LX215-3A) の耐震性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 又は静的震度		基準地震動 S s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
発信器 (LX215-3A)	S	取水槽 EL 4.0 (EL 8.8*1)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =5.64*2	C _V =1.55*2	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト						169	472	175

部材	l ₃ * (mm)	l _a * (mm)	l _b * (mm)	n _{fV} * (mm)	n _{fH} * (mm)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト						175	—	—	左右方向

注記*：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 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 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 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 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SUS316L	引張	—	—	$\sigma_b = 43$	$f_{ts} = 105^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 21$	$f_{sb} = 80$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

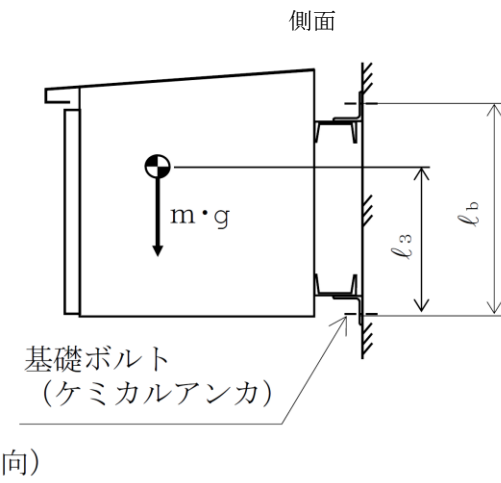
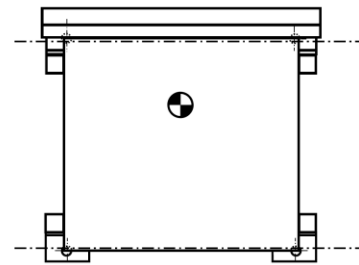
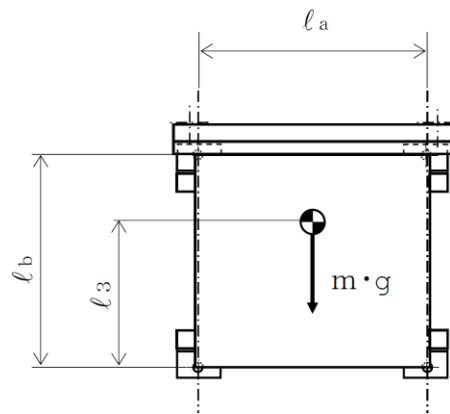
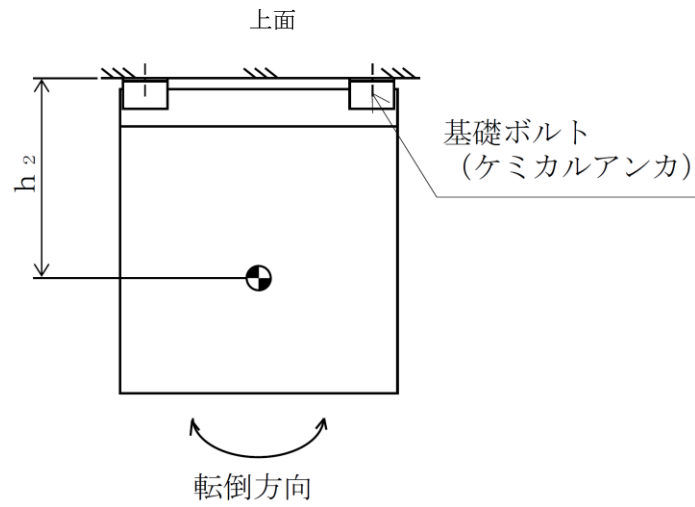
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
発信器 (LX215-3A)	水平方向	2.58	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.16	

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



【発信器 (LX215-3B) の耐震性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 又は静的震度		基準地震動 S s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
発信器 (LX215-3B)	S	取水槽 EL 4.0 (EL 8.8*1)			—	—	C _H =5.64*2	C _V =1.55*2	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト						169	472	175

部材	l ₃ * (mm)	l _a * (mm)	l _b * (mm)	n _{fV} * (mm)	n _{fH} * (mm)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト						175	—	—	左右方向

注記*: 各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 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 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 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 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SUS316L	引張	—	—	$\sigma_b = 43$	$f_{ts} = 105^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 21$	$f_{sb} = 80$

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。

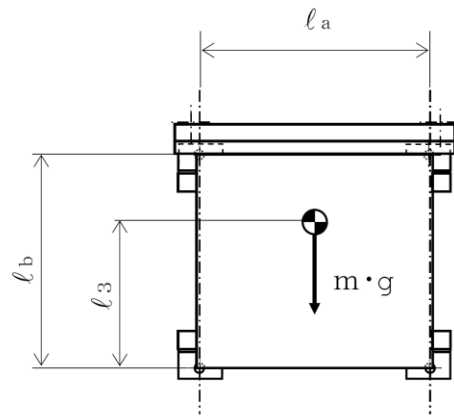
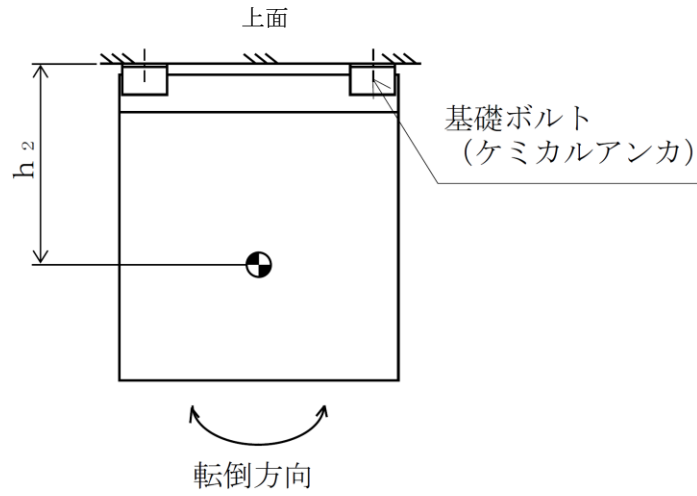
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

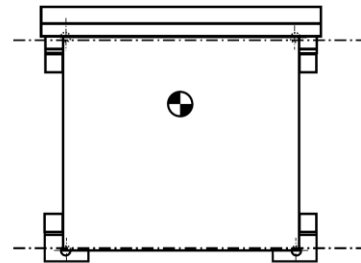
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
発信器 (LX215-3B)	水平方向	2.58	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.16	

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度により定まる加速度

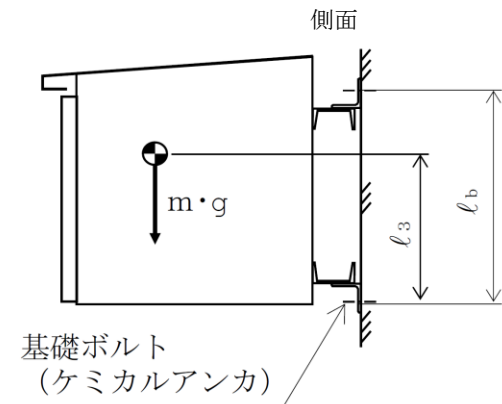
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



(左右方向)



(前後方向)



VI-2-10-2-17 津波監視カメラの耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	2号機排気筒津波監視カメラ	2
2.1	一般事項	2
2.1.1	構造計画	2
2.1.2	評価方針	4
2.1.3	適用規格・基準等	5
2.1.4	記号の説明	5
2.1.5	計算精度と数値の丸め方	7
2.2	評価部位	8
2.3	地震応答解析及び構造強度評価	8
2.3.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	8
2.3.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
2.3.3	解析モデル及び諸元	12
2.3.4	固有周期	13
2.3.5	設計用地震力	14
2.3.6	応力の計算方法	15
2.3.7	計算条件	17
2.3.8	応力の評価	17
2.4	機能維持評価	19
2.4.1	電氣的機能維持評価方法	19
2.5	評価結果	19
2.5.1	設計基準対象施設としての評価結果	19
3.	3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ	25
3.1	一般事項	25
3.1.1	構造計画	25
3.1.2	評価方針	27
3.1.3	適用規格・基準等	28
3.1.4	記号の説明	28
3.1.5	計算精度と数値の丸め方	31
3.2	評価部位	32
3.3	地震応答解析及び構造強度評価	32
3.3.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	32
3.3.2	荷重の組合せ及び許容応力	32
3.3.3	解析モデル及び諸元	36
3.3.4	固有周期	37
3.3.5	設計用地震力	38
3.3.6	応力の計算方法	39

3.3.7	計算条件	42
3.3.8	応力の評価	42
3.4	機能維持評価	44
3.4.1	電氣的機能維持評価方法	44
3.5	評価結果	44
3.5.1	設計基準対象施設としての評価結果	44
4.	3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ	51
4.1	一般事項	51
4.1.1	構造計画	51
4.1.2	評価方針	53
4.1.3	適用規格・基準等	54
4.1.4	記号の説明	54
4.1.5	計算精度と数値の丸め方	57
4.2	評価部位	58
4.3	地震応答解析及び構造強度評価	58
4.3.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	58
4.3.2	荷重の組合せ及び許容応力	58
4.3.3	解析モデル及び諸元	62
4.3.4	固有周期	63
4.3.5	設計用地震力	64
4.3.6	応力の計算方法	65
4.3.7	計算条件	68
4.3.8	応力の評価	68
4.4	機能維持評価	70
4.4.1	電氣的機能維持評価方法	70
4.5	評価結果	70
4.5.1	設計基準対象施設としての評価結果	70

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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、津波監視カメラが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

津波監視カメラは、2号機排気筒津波監視カメラ、3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ及び3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの3式を設置する。津波監視カメラの配置図を図1-1に示す。本計算書は各津波監視カメラの評価結果を示す。

津波監視カメラは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

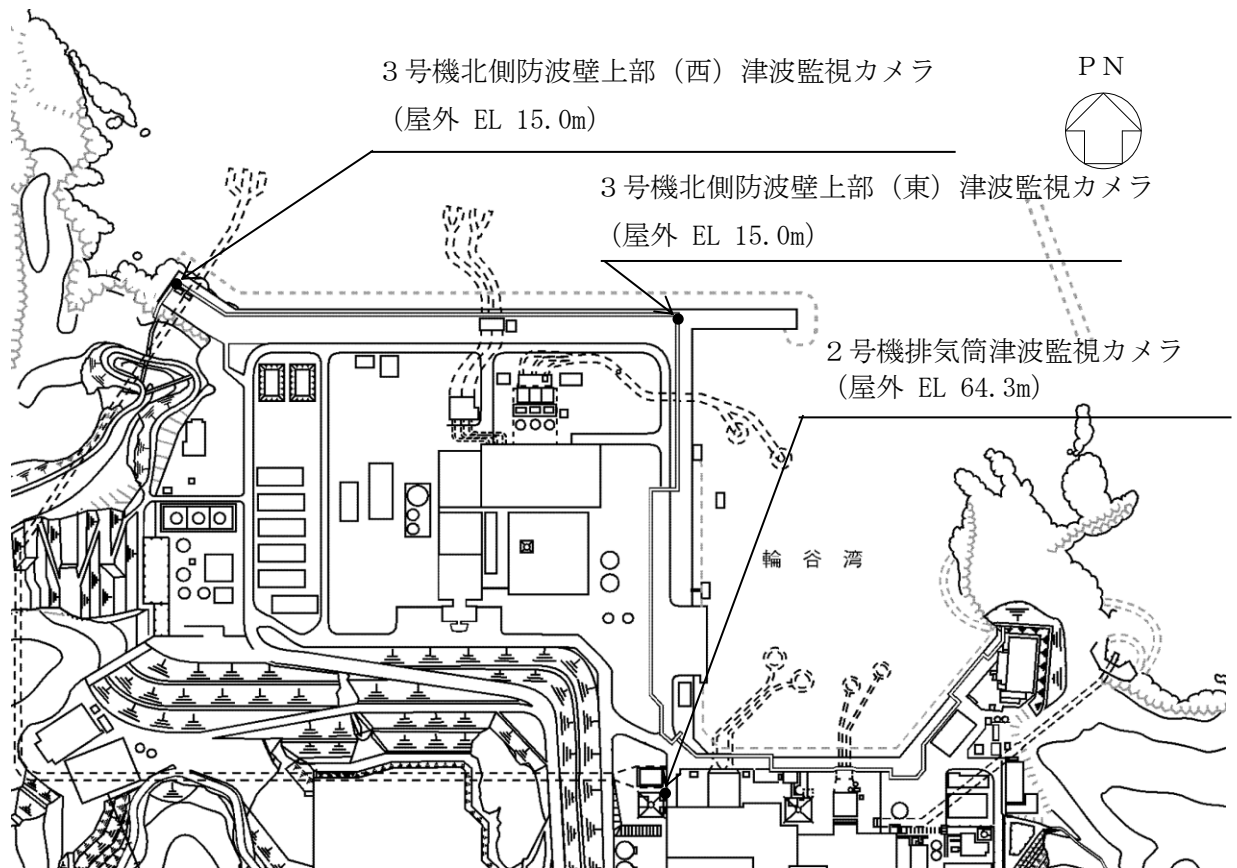


図1-1 津波監視カメラ配置図

2. 2号機排気筒津波監視カメラ

2.1 一般事項

2.1.1 構造計画

2号機排気筒津波監視カメラの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画（2号機排気筒津波監視カメラ）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>監視カメラは、津波監視カメラ架台の一部であるカメラ取付プレートに監視カメラ取付ボルトにより固定され、津波監視カメラ架台は排気筒支柱材に溶接により固定される。</p>	<p>監視カメラ</p>	<p>(平面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(単位：mm)</p>

2.1.2 評価方針

2号機排気筒津波監視カメラの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1.1 構造計画」にて示す津波監視カメラの部位を踏まえ「2.2 評価部位」にて設定する箇所において、「2.3.3 解析モデル及び諸元」及び「2.3.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.3 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、津波監視カメラの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「2.4 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.5 評価結果」に示す。

2号機排気筒津波監視カメラの耐震評価フローを図2-1に示す。

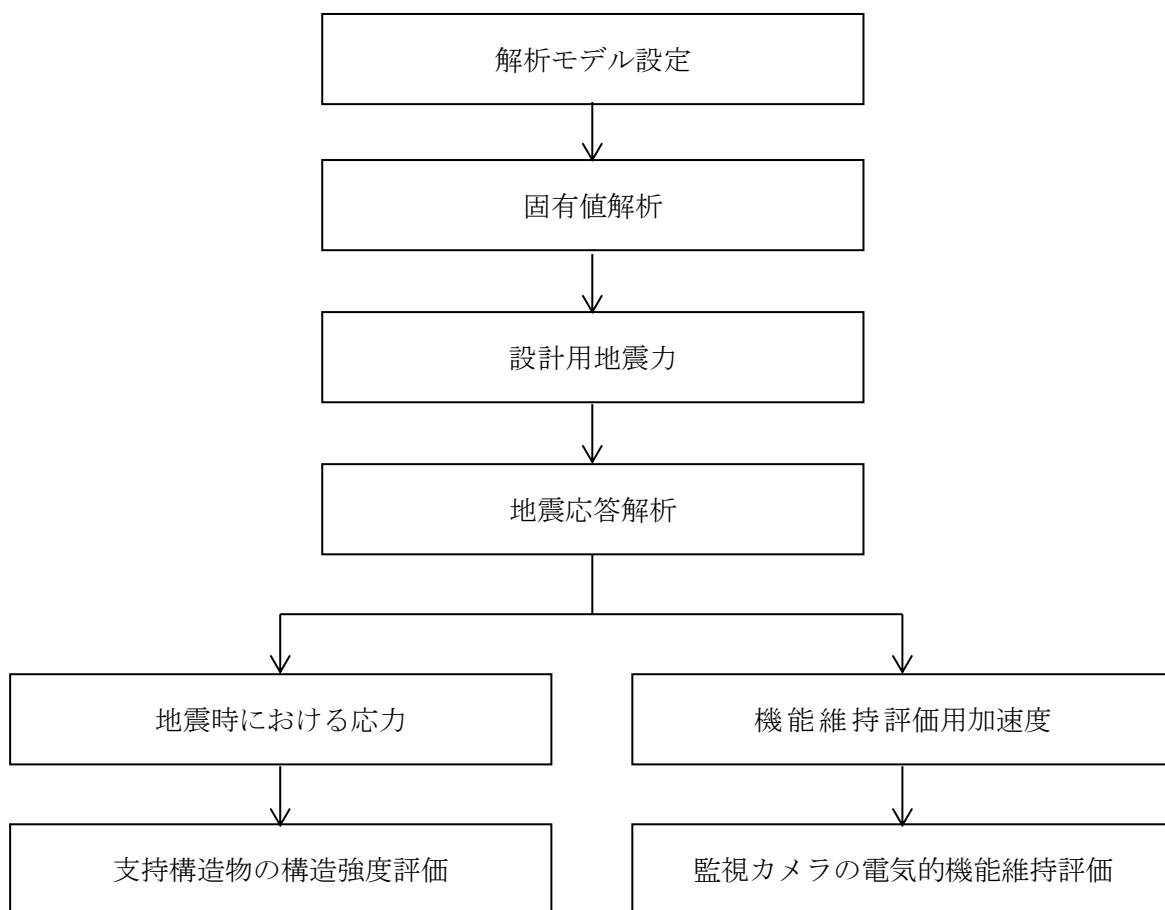


図2-1 2号機排気筒津波監視カメラの耐震評価フロー

2.1.3 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。)
- ・建築基準法・同施行令

2.1.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	架台の断面積	mm ²
A _{ey} , A _{ez}	架台のせん断断面積	mm ²
A _w	架台溶接部の断面積	mm ²
A _{eyw} , A _{ezw}	架台溶接部のせん断断面積	mm ²
A _b	取付ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _o	取付ボルトの呼び径	mm
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 _x	架台の軸力 (x 方向)	N
F _y , F _z	架台のせん断力 (y, z 方向)	N
F _{xb}	取付ボルトに作用する軸力 (x 方向)	N
F _{yb} , F _{zb}	取付ボルトに作用するせん断力 (y, z 方向)	N
f _b	架台の許容曲げ応力	MPa
f _c	架台の許容圧縮応力	MPa
f _s	架台の許容せん断応力	MPa
f _t	架台の許容引張応力	MPa
f _{sw}	架台溶接部の許容せん断応力	MPa
f _{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{tob}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f _{tsb}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
i	断面二次半径	mm
I _y , I _z	架台の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
I _{yw} , I _{zw}	架台溶接部の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
J	架台のねじり定数	mm ⁴

記号	記号の説明	単位
J_w	架台溶接部のねじり定数	mm^4
ℓ_k	座屈長さ	mm
m	架台の質量 (監視カメラ含む)	kg
M_x	架台のねじりモーメント (x 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_y, M_z	架台の曲げモーメント (y, z 軸)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
n	取付ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する取付ボルトの本数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	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
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
X, Y, Z	絶対 (節点) 座標軸	—
x, y, z	局所 (要素) 座標軸	—
Z_p	架台のねじり断面係数	mm^3
Z_y, Z_z	架台の断面係数 (y, z 軸)	mm^3
Z_{pw}	架台溶接部のねじり断面係数	mm^3
Z_{yw}, Z_{zw}	架台の断面係数 (y, z 軸)	mm^3
Λ	架台の限界細長比	—
λ	架台の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	架台に生じる曲げ応力	MPa
σ_{bw}	架台溶接部に生じる曲げモーメントにより発生するせん断応力	MPa
σ_c	架台に生じる圧縮応力	MPa
σ_{cw}	架台溶接部に生じる圧縮力により発生するせん断応力	MPa
σ_f	架台に生じる組合せ応力	MPa
σ_{fw}	架台溶接部に生じるせん断応力	MPa
σ_t	架台に生じる引張応力	MPa
σ_{tw}	架台溶接部に生じる引張力により発生するせん断応力	MPa
σ_{tb}	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
τ	架台に生じるせん断応力	MPa
τ_w	架台溶接部に生じるせん断力により発生するせん断応力	MPa
τ_b	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.1.5 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 に示すとおりである。

表 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 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第 1 位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}	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：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：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。

*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*5：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。

2.2 評価部位

2号機排気筒津波監視カメラの耐震評価は、「2.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき耐震評価上厳しくなる監視カメラ架台、架台溶接部及びカメラ取付ボルトについて耐震評価を実施する。津波監視カメラの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.3 地震応答解析及び構造強度評価

2.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 2号機排気筒津波監視カメラの質量には、監視カメラ本体及び架台の質量のほか、防水ボックス、電線管及び積雪により付加される質量を考慮する。
- (2) 地震力は、2号機排気筒津波監視カメラに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平2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、S R S S法を適用する。
- (3) 風圧力は、水平2方向それぞれの受風面積から荷重を算出し、はり要素に分布荷重として同時に作用させる。集中質量としてモデル化している監視カメラ、防水ボックスに対しては集中荷重として作用させる。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

2.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

2号機排気筒津波監視カメラの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-3 に示す。

(2) 許容応力

2号機排気筒津波監視カメラの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2-4 に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

2号機排気筒津波監視カメラ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 に示す。

(4) 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速 30m/s を使用し、2号機排気筒津波監視カメラの形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表 2-6 に示す。

(5) 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、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、2号機排気筒津波監視カメラの形状を踏まえ、算出する。算出した単位面積当たりの積雪荷重を表2-7に示す。

表 2-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

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
その他発電用 原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	津波監視カメラ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$ $+ P_K + P_S$	Ⅲ _A S

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 2-4 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 (ボルト等以外)				許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

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 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 (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
津波監視カメラ架台 (C125×65×6)	SS400	周囲環境温度	50	—			—
津波監視カメラ架台 溶接部	SS400	周囲環境温度	50	—			—
津波監視カメラ 取付ボルト	SS400	周囲環境温度	50	—			—

表 2-6 基準速度圧

(単位 : N/m²)

作用する部位	基準速度圧
2号機排気筒津波監視カメラ	1.801×10 ³

表 2-7 単位面積当たりの積雪荷重

(単位 : N/m²)

作用する部位	単位面積当たりの積雪荷重
2号機排気筒津波監視カメラ	2.000×10 ³

2.3.3 解析モデル及び諸元

2号機排気筒津波監視カメラの解析モデルを図 2-2 に、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【2号機排気筒津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 2号機排気筒津波監視カメラ架台のうちカメラ取付プレートを除く鋼材をはり要素で、カメラ取付プレートをシェル要素でモデル化した FEM モデルを用いる。
- (2) 2号機排気筒津波監視カメラ及び防水ボックスの質量は、それぞれの重心位置に集中するものとし、取付プレートと内挿拘束要素で結合する。カメラ取付ボルトははり要素でモデル化する。電線管の質量は取付位置近傍の節点位置に分散して付加する。なお、積雪相当の質量は、分布質量としてモデル全体に付加する。
- (3) 拘束条件は、津波監視カメラ架台の溶接部を固定とする。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる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。

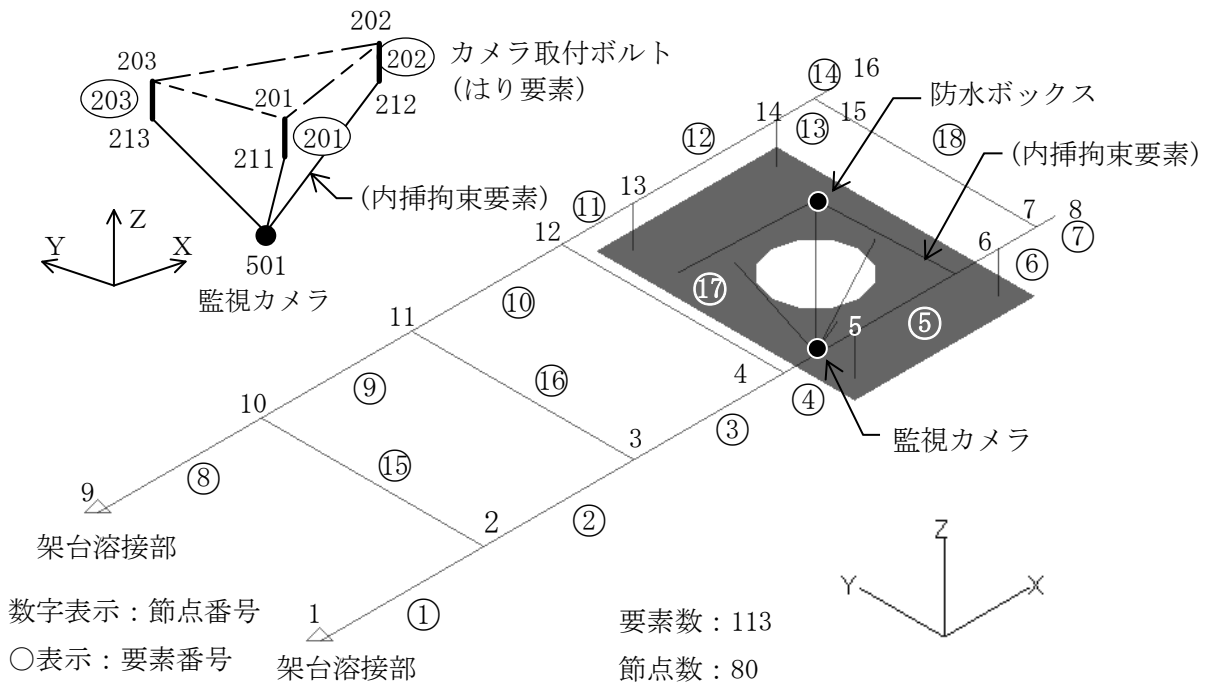


図 2-2 2号機排気筒津波監視カメラ解析モデル

2.3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 2-8, 振動モード図を図 2-3 に示す。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。

表 2-8 固有値解析結果

機器名称	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
				X方向	Y方向	
2号機排気筒 津波監視カメラ	1次	□	□	—	—	—



図 2-3 2号機排気筒津波監視カメラ振動モード (1次モード □方向 □s)

2.3.5 設計用地震力

2号機排気筒津波監視カメラ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2-9に示す。

「基準地震動S_s」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2-9 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)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
排気筒 EL 64.3 (EL 62.2~69.5* ¹)			—	—	C _H =2.05* ²	C _V =1.66* ²

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）

2.3.6 応力の計算方法

(1) 架台の応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

a. 引張応力, 圧縮応力

$$\sigma_t = \sigma_c = \frac{|F_x|}{A} \quad (2.3.6.1)$$

b. せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{ey}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ez}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_p} \quad (2.3.6.2)$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \quad (2.3.6.3)$$

d. 組合せ応力

(a) 組合せ応力 (垂直+せん断)

垂直応力とせん断応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \leq f_t \quad (2.3.6.4)$$

(b) 組合せ応力 (圧縮+曲げ)

圧縮応力と曲げ応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}, \frac{\sigma_b}{f_t}\right) \leq 1 \quad (2.3.6.5)$$

(c) 組合せ応力 (引張+曲げ)

引張応力と曲げ応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t}, \frac{\sigma_b}{f_b}\right) \leq 1 \quad (2.3.6.6)$$

(2) 架台溶接部の応力

架台の固定端において解析による計算で得られる軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

- a. 引張力及び圧縮力により発生するせん断応力

$$|\sigma_{tw}| = |\sigma_{cw}| = \frac{|F_x|}{A_w} \quad (2.3.6.7)$$

- b. せん断力により発生するせん断応力

$$\tau_w = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{eyw}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ezw}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_{pw}} \quad (2.3.6.8)$$

- c. 曲げモーメントにより発生するせん断応力

$$\sigma_{bw} = \frac{|M_y|}{Z_{yw}} + \frac{|M_z|}{Z_{zw}} \quad (2.3.6.9)$$

- d. 溶接部に生じるせん断応力

$$\sigma_{fw} = \sqrt{(\sigma_{tw} + \sigma_{bw})^2 + \tau_w^2} \quad (2.3.6.10)$$

(3) 取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は、解析で得られるボルト位置での軸力 F_{xb} 、せん断力 F_{yb} 、 F_{zb} より、引張応力とせん断応力について計算する。

- a. 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_{xb}}{A_b} \quad (2.3.6.11)$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \quad (2.3.6.12)$$

- b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_{yb}^2 + F_{zb}^2}}{A_b} \quad (2.3.6.13)$$

2.3.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【2号機排気筒津波監視カメラ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。

2.3.8 応力の評価

(1) 架台の応力評価

2.3.6(1)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(2.3.6.5)式、(2.3.6.6)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\theta_k}{i} \tag{2.3.8.1}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \tag{2.3.8.2}$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \tag{2.3.8.3}$$

(2) 架台溶接部の応力評価

2.3.6(2)項で求めたせん断応力が下表で定めた許容せん断応力以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

(3) 取付ボルトの応力評価

2.3.6(3)a.項で求めた取付ボルトの引張応力 $\sigma_{t b}$ は、下記の $f_{t s b}$ 以下であること。

ただし $f_{t o b}$ は下表による。

$$f_{t s b} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t o b} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t o b}] \quad (2.3.8.4)$$

2.3.6(3)項で求めたせん断応力 τ_b は、せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 $f_{s b}$ 以下であること。ただし、 $f_{s b}$ は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{t o b}$	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s b}$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.4 機能維持評価

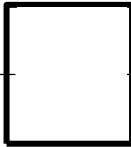
2.4.1 電氣的機能維持評価方法

2号機排気筒津波監視カメラの電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

2号機排気筒津波監視カメラの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の監視カメラ単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表2-10に示す。

表 2-10 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
監視カメラ	水平	
	鉛直	

2.5 評価結果

2.5.1 設計基準対象施設としての評価結果

2号機排気筒津波監視カメラの設計基準対象施設としての耐震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、電氣的機能を維持できることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【2号機排気筒津波監視カメラの耐震性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 又は静的震度		基準地震動 S _s		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2号機排気筒 津波監視カメラ	S	排気筒 EL 64.3 (EL 62.2~69.5*1)	□	□	—	—	C _H =2.05*2	C _V =1.66*2	50

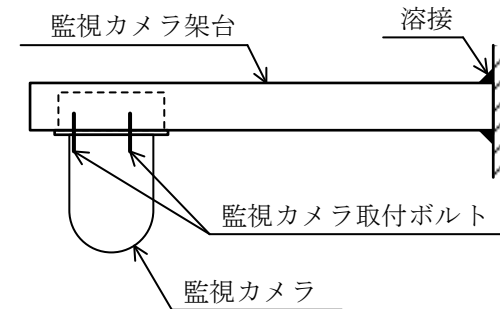
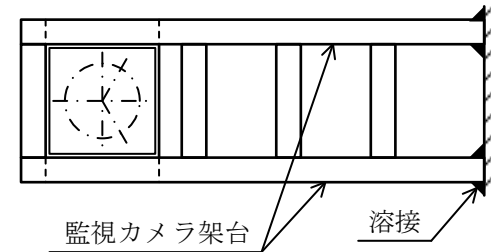
注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	m (kg)	d _o (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f
津波監視カメラ 架台	□	—	—	—	—
津波監視カメラ 取付ボルト	—	□	□	3	3

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)
津波監視カメラ 架台 (C125×65×6)	SS400	□	□	□
津波監視カメラ 架台溶接部	SS400	□	□	□
津波監視カメラ 取付ボルト	SS400	□	□	□



材料	E (MPa)	ν	\varnothing_k (mm)	i (mm)	λ	Λ
SS400 (架台)	201000	0.3				

		要素番号	
		1~14, 18	1, 8
材料		架台 (C125×65×6) SS400	架台溶接部 SS400
断面積	A (w) (mm ²)		
断面二次 モーメント	I _y (w) (mm ⁴)		
	I _z (w) (mm ⁴)		
ねじり定数	J (w) (mm ⁴)		
ねじり 断面係数	Z _p (w) (mm ³)		
せん断面積	A _{e y} (w) (mm ²)		
	A _{e z} (w) (mm ²)		
断面係数	Z _y (w) (mm ³)		
	Z _z (w) (mm ³)		

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
1	1						
4	4						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 架台溶接部の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 取付ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_{xb} (N)	F_{yb} (N)	F_{zb} (N)
201	201			

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S _s	
					算出応力	許容応力
架台	SS400	引張	1	1	$\sigma_t = 4$	$f_t = \square$
		圧縮	1	1	$\sigma_c = 4^{*1}$	$f_c = \square$
		せん断	4	4	$\tau = 7$	$f_s = \square$
		曲げ	1	1	$\sigma_b = \square$	$f_b = \square$
		組合せ (垂直+せん断)	1	1	$\sigma_f = \square$	$f_t = \square$
		組合せ (圧縮+曲げ)	1	1	\square	1
		組合せ (引張+曲げ)	1	1	0.204	1
架台溶接部	SS400	せん断	-	1	$\sigma_{fw} = \square$	$f_{sw} = \square$
取付ボルト	SS400	引張	201	201	$\sigma_{tb} = \square$	$f_{tsb} = \square$
		せん断	201	201	$\tau_b = \square$	$f_{sb} = \square$

注記*1：絶対値を記載

$$*2: f_{tsb} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tob} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{tob}]$$

すべて許容応力以下である。

1.4.3 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ	水平方向	1.71	
	鉛直方向	1.38	

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

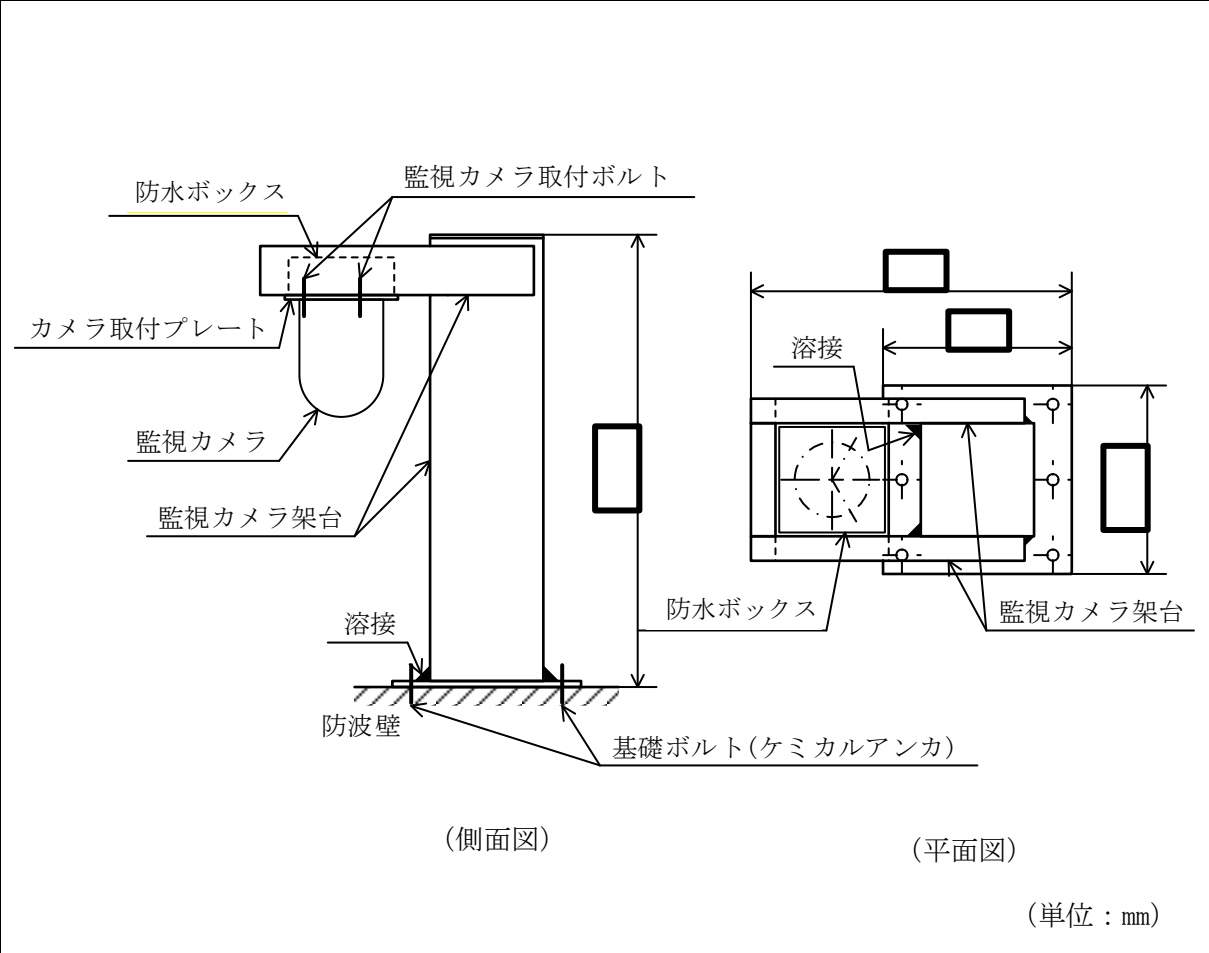
3. 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ

3.1 一般事項

3.1.1 構造計画

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの構造計画を表3-1に示す。

表 3-1 構造計画（3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>監視カメラは，津波監視カメラ架台の一部であるカメラ取付プレートに監視カメラ取付ボルトにより固定され，津波監視カメラ架台は防波壁上に基礎ボルトにより固定される。</p>	<p>監視カメラ</p>	 <p>(側面図)</p> <p>(平面図)</p> <p>(単位：mm)</p>

3.1.2 評価方針

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3.1.1 構造計画」にて示す津波監視カメラの部位を踏まえ「3.2 評価部位」にて設定する箇所において、「3.3.3 解析モデル及び諸元」及び「3.3.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「3.3 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、津波監視カメラの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機器の機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「3.4 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「3.5 評価結果」に示す。

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震評価フローを図3-1に示す。

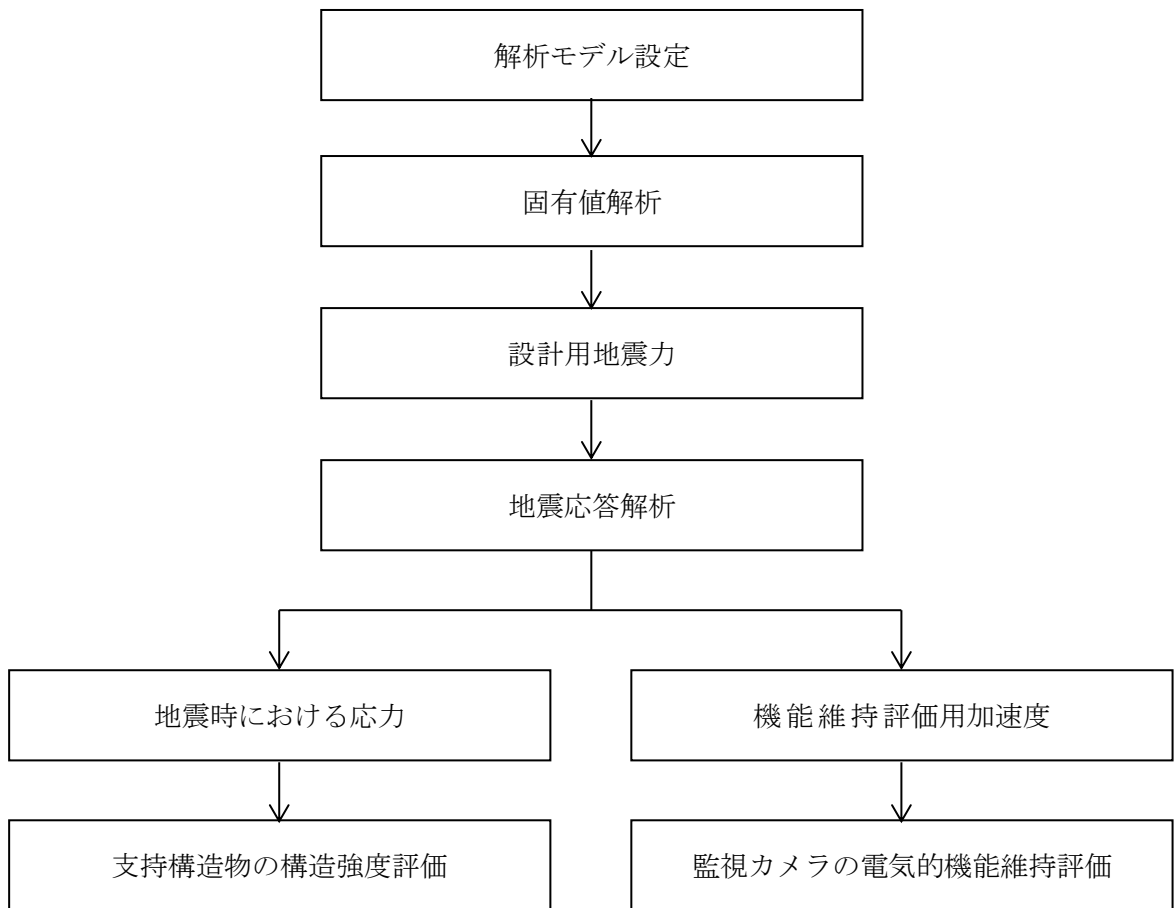


図3-1 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震評価フロー

3.1.3 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。)
- ・建築基準法・同施行令

3.1.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	架台の断面積	mm ²
A _{ey} , A _{ez}	架台のせん断断面積	mm ²
A _w	架台溶接部の断面積	mm ²
A _{eyw} , A _{ezw}	架台溶接部のせん断断面積	mm ²
A _{bi}	ボルトの軸断面積*	mm ²
a	基礎ボルトの間隔 (y 方向)	mm
b	基礎ボルトの間隔 (z 方向)	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _{oi}	ボルトの呼び径*	mm
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 _x	架台の軸力 (x 方向)	N
F _y , F _z	架台のせん断力 (y, z 方向)	N
F _{xb}	取付ボルトに作用する軸力 (x 方向)	N
F _{yb} , F _{zb}	取付ボルトに作用するせん断力 (y, z 方向)	N
f _b	架台の許容曲げ応力	MPa
f _c	架台の許容圧縮応力	MPa
f _s	架台の許容せん断応力	MPa
f _t	架台の許容引張応力	MPa
f _{sw}	架台溶接部の許容せん断応力	MPa
f _{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*	MPa
f _{tobi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*	MPa
f _{tsbi}	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
i	断面二次半径	mm

記号	記号の説明	単位
I_y, I_z	架台の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
I_{yw}, I_{zw}	架台溶接部の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
J	架台のねじり定数	mm ⁴
J_w	架台溶接部のねじり定数	mm ⁴
ℓ_k	座屈長さ	mm
m	架台の質量 (監視カメラ含む)	kg
M_x	架台のねじりモーメント (x 軸)	N・mm
M_y, M_z	架台の曲げモーメント (y, z 軸)	N・mm
n_i	ボルトの本数*	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	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
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
S_b	基礎ボルトのせん断力	N
T	基礎ボルトの引張力	N
X, Y, Z	絶対 (節点) 座標軸	—
x, y, z	局所 (要素) 座標軸	—
Z_p	架台のねじり断面係数	mm ³
Z_y, Z_z	架台の断面係数 (y, z 軸)	mm ³
Z_{pw}	架台溶接部のねじり断面係数	mm ³
Z_{yw}, Z_{zw}	架台溶接部の断面係数 (y, z 軸)	mm ³
Λ	架台の限界細長比	—
λ	架台の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	架台に生じる曲げ応力	MPa
σ_{bw}	架台溶接部に生じる曲げモーメントにより発生するせん断応力	MPa
σ_c	架台に生じる圧縮応力	MPa
σ_{cw}	架台溶接部に生じる圧縮力により発生するせん断応力	MPa
σ_f	架台に生じる組合せ応力	MPa
σ_{fw}	架台溶接部に生じるせん断応力	MPa
σ_t	架台に生じる引張応力	MPa
σ_{tw}	架台溶接部に生じる引張力により発生するせん断応力	MPa
σ_{tbi}	ボルトに生じる引張応力*	MPa
τ	架台に生じるせん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_w	架台溶接部に生じるせん断力により発生するせん断応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記*：添字 i の意味は以下のとおりとする。

$i = 1$: 取付ボルト

$i = 2$: 基礎ボルト

3.1.5 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 に示すとおりである。

表 3-2 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 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第 1 位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}	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：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：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。

*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*5：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。

3.2 評価部位

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震評価は、「3.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき耐震評価上厳しくなる監視カメラ架台、架台溶接部、津波監視カメラ取付ボルト及び津波監視カメラ架台基礎ボルトについて耐震評価を実施する。津波監視カメラの耐震評価部位については、表3-1の概略構造図に示す。

3.3 地震応答解析及び構造強度評価

3.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの質量には、監視カメラ本体及び架台の質量のほか、防水ボックス、電線管及び積雪により付加される質量を考慮する。
- (2) 地震力は、3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平2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、S R S S法を適用する。
- (3) 風圧力は、水平2方向それぞれの受風面積から荷重を算出し、はり要素に分布荷重として同時に作用させる。集中質量としてモデル化している監視カメラ、防水ボックスに対しては集中荷重として作用させる。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-3に示す。

(2) 許容応力

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3-4に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ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に示す。

(4) 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速30m/sを使用し、3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表3-6に示す。

(5) 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、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、3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの形状を踏まえ、算出する。算出した単位面積当たりの積雪荷重を表3-7に示す。

表 3-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

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
その他発電用 原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	津波監視カメラ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$ $+ P_K + P_S$	Ⅲ _A S

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 3-4 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 (ボルト等以外)				許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

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 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 (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
津波監視カメラ架台 (B300×300×9)	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 (C130×65×6)	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 溶接部	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ 取付ボルト	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 基礎ボルト	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205

表 3-6 基準速度圧

(単位 : N/m²)

作用する部位	基準速度圧
3号機北側防波壁上部 (東) 津波監視カメラ	1.346×10 ³

表 3-7 単位面積当たりの積雪荷重

(単位 : N/m²)

作用する部位	単位面積当たりの積雪荷重
3号機北側防波壁上部 (東) 津波監視カメラ	2.000×10 ³

3.3.3 解析モデル及び諸元

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの解析モデルを図 3-2 に、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【3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ架台のうちカメラ取付プレートを除く鋼材をはり要素で、カメラ取付プレートをシェル要素でモデル化した FEM モデルを用いる。
- (2) 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ及び防水ボックスの質量は、それぞれの重心位置に集中するものとし、取付プレートと内挿拘束要素で結合する。カメラ取付ボルトははり要素でモデル化する。電線管の質量は取付位置近傍の節点位置に分散して付加する。なお、積雪相当の質量は、分布質量としてモデル全体に付加する。
- (3) 拘束条件は、津波監視カメラ架台の基礎部を固定とする。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる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。

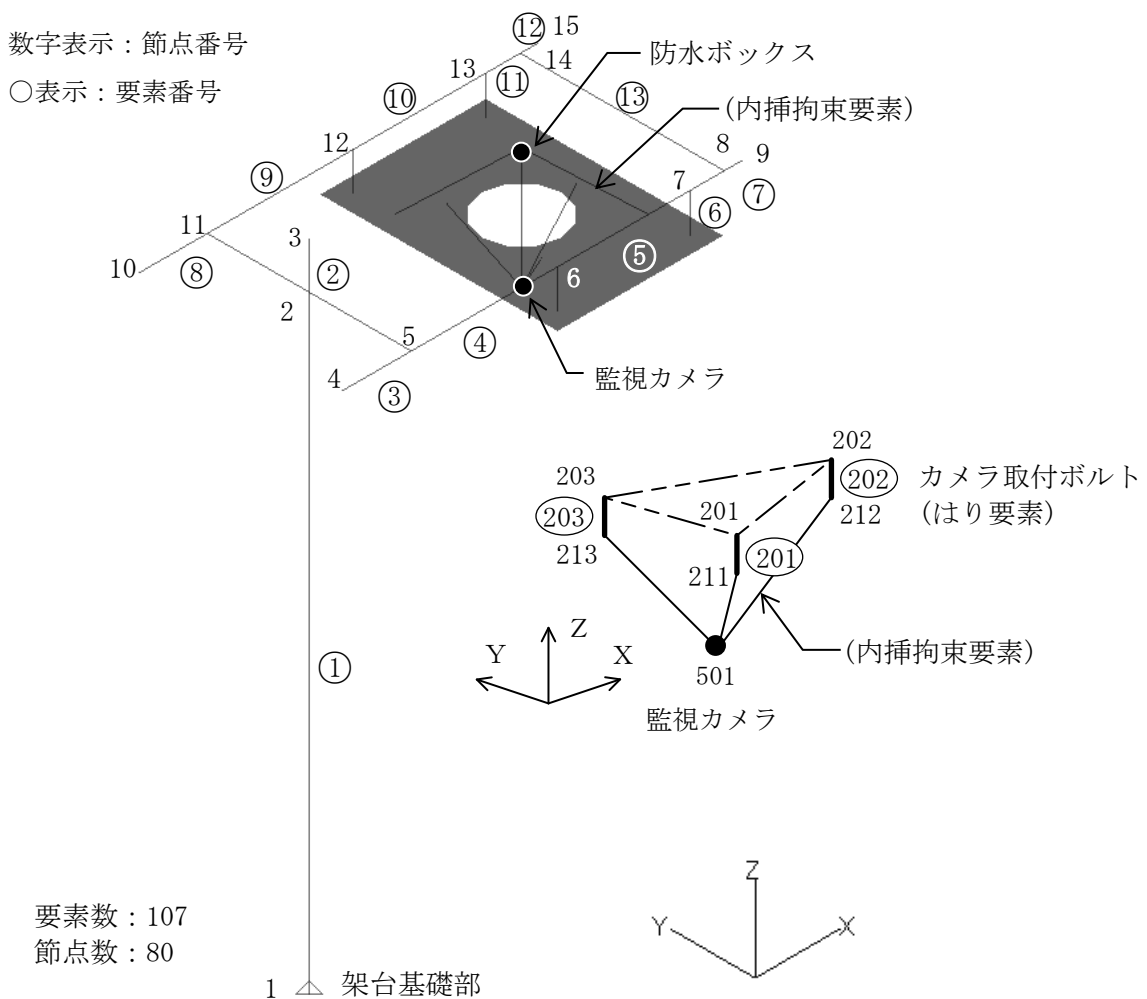


図 3-2 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ解析モデル

3.3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-8, 振動モード図を図 3-3 に示す。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。

表 3-8 固有値解析結果

機器名称	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
				X方向	Y方向	
3号機北側防波壁上部(東)津波監視カメラ	1次	□	□	—	—	—

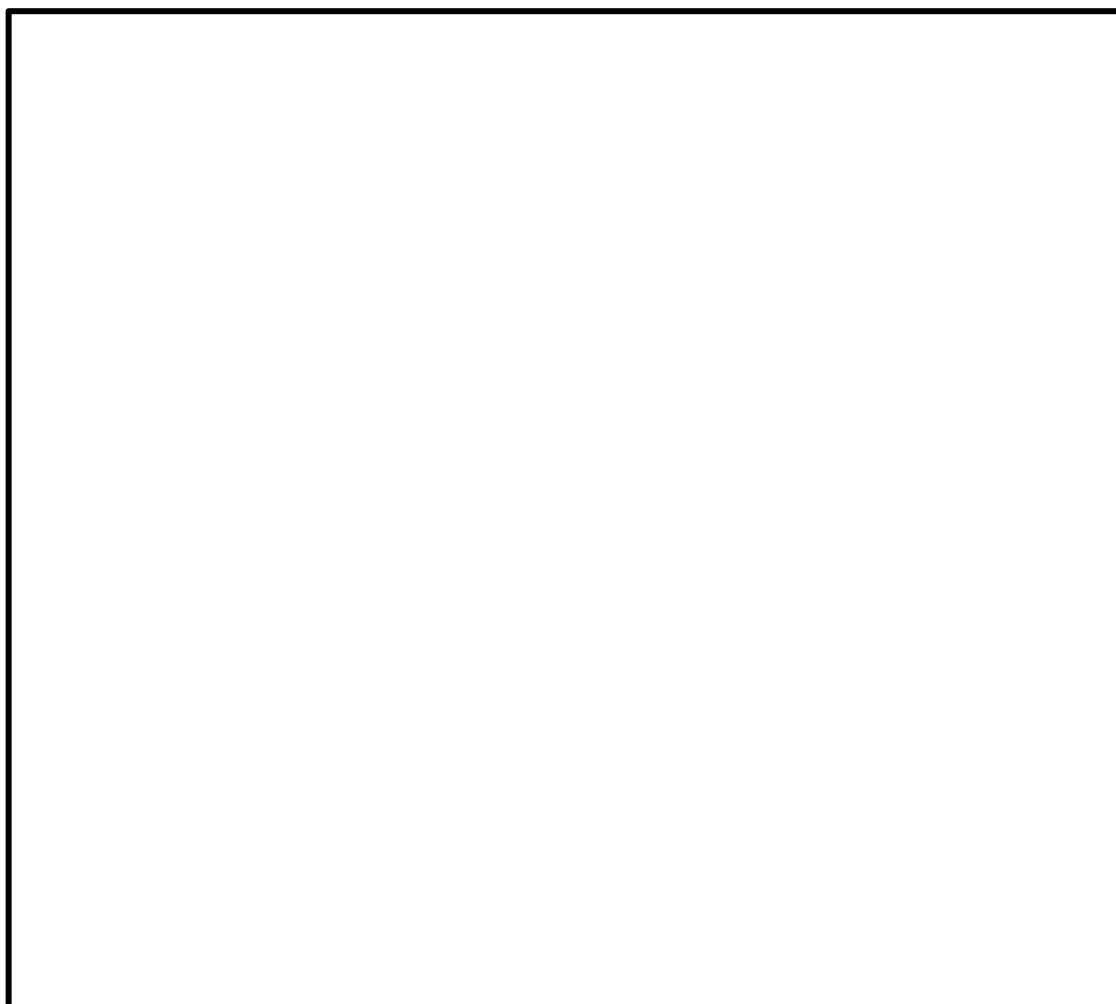


図 3-3 3号機北側防波壁上部(東)津波監視カメラ振動モード
(1次モード □方向 □s)

3.3.5 設計用地震力

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ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3-9に示す。

「基準地震動S_s」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3-9 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)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
防波壁 (波返重力擁壁) EL 15.0 ^{*1}			—	—	C _H =4.38 ^{*2}	C _V =3.83 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度I（基準地震動S_s）を上回る設計震度

3.3.6 応力の計算方法

(1) 架台の応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

a. 引張応力, 圧縮応力

$$|\sigma_t| = |\sigma_c| = \frac{|F_x|}{A} \quad (3.3.6.1)$$

b. せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{ey}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ez}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_p} \quad (3.3.6.2)$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \quad (3.3.6.3)$$

d. 組合せ応力

(a) 組合せ応力 (垂直+せん断)

垂直応力とせん断応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \leq f_t \quad (3.3.6.4)$$

(b) 組合せ応力 (圧縮+曲げ)

圧縮応力と曲げ応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}, \frac{\sigma_b}{f_t}\right) \leq 1 \quad (3.3.6.5)$$

(c) 組合せ応力 (引張+曲げ)

引張応力と曲げ応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t}, \frac{\sigma_b}{f_b}\right) \leq 1 \quad (3.3.6.6)$$

(2) 架台溶接部の応力

架台溶接部において解析による計算で得られる軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

- a. 引張力及び圧縮力により発生するせん断応力

$$|\sigma_{tw}| = |\sigma_{cw}| = \frac{|F_x|}{A_w} \quad (3.3.6.7)$$

- b. せん断力により発生するせん断応力

$$\tau_w = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{eyw}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ezw}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_{pw}} \quad (3.3.6.8)$$

- c. 曲げモーメントにより発生するせん断応力

$$\sigma_{bw} = \frac{|M_y|}{Z_{yw}} + \frac{|M_z|}{Z_{zw}} \quad (2.3.6.9)$$

- d. 溶接部に生じるせん断応力

$$\sigma_{fw} = \sqrt{(\sigma_{tw} + \sigma_{bw})^2 + \tau_w^2} \quad (3.3.6.10)$$

(3) 取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は、解析で得られるボルト位置での軸力 F_{xb} 、せん断力 F_{yb} 、 F_{zb} より、引張応力とせん断応力について計算する。

- a. 引張応力

$$\sigma_{tb1} = \frac{F_{xb1}}{A_{b1}} \quad (3.3.6.11)$$

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{o1}^2 \quad (3.3.6.12)$$

- b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{\sqrt{F_{yb1}^2 + F_{zb1}^2}}{A_{b1}} \quad (3.3.6.13)$$

(4) 基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる架台下端の要素の軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z から、基礎ボルトのうち引張応力とせん断応力を手計算により計算する。基礎ボルト部の概要を図 3-4 に示す。

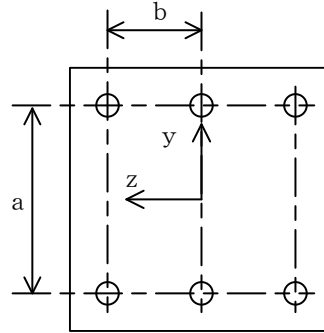


図 3-4 基礎ボルト部の概要

a. 引張応力

$$\sigma_{tb2} = \frac{T}{A_{b2}} \quad (3.3.6.14)$$

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \quad (3.3.6.15)$$

$$T = \frac{F_x}{6} + \frac{M_y}{4b} + \frac{M_z}{3a} \quad (3.3.6.16)$$

b. せん断応力

$$\tau_{tb2} = \frac{S_b}{A_{b2}} \quad (3.3.6.17)$$

$$S_b = \sqrt{\left(\frac{F_y}{6} + \frac{b \cdot M_x}{r}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{6} + \frac{a \cdot M_x}{2r}\right)^2} \quad (3.3.6.18)$$

$$r = \frac{3}{2} \cdot a^2 + 4 \cdot b^2 \quad (3.3.6.19)$$

3.3.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ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。

3.3.8 応力の評価

(1) 架台の応力評価

3.3.6(1)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(3.3.6.5)式、(3.3.6.6)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \quad (3.3.8.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \quad (3.3.8.2)$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \quad (3.3.8.3)$$

(2) 架台溶接部の応力評価

3.3.6(2)項で求めたせん断応力が下表で定めた許容せん断応力以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

(3) ボルトの応力評価

3.3.6 項で求めたボルトの引張応力 σ_{tbi} は、下記の f_{tsbi} 以下であること。ただし f_{tobi} は下表による。

$$f_{tsbi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tobi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tobi}] \quad (3.3.8.4)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tobi}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

3.4 機能維持評価

3.4.1 電氣的機能維持評価方法

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの電氣的機能維持評価について以下に示す。
なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の監視カメラ単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 3-10 に示す。

表 3-10 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度	
監視カメラ	水平		
	鉛直		

3.5 評価結果

3.5.1 設計基準対象施設としての評価結果

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの設計基準対象施設としての耐震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、電氣的機能を維持できることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

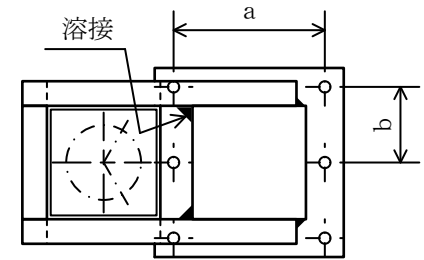
機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
3号機北側防波壁上部 (東) 津波監視カメラ	S	防波壁 (波返重力擁壁) EL. 15.0*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	-	-	C _H =4.38*2	C _V =3.83*2	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

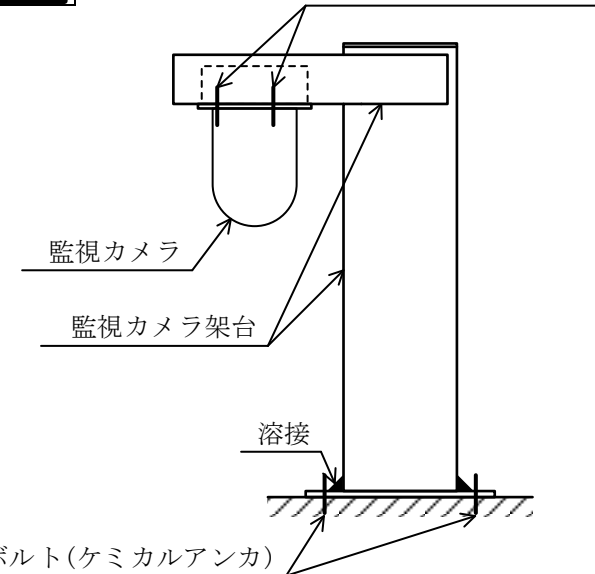
1.2 機器要目

	m (kg)	d _{o i} (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	a	b
津波監視カメラ 架台	<input type="text"/>	-	-	-	-	-	-
津波監視カメラ 取付ボルト	-	<input type="text"/>		3	3	-	-
津波監視カメラ 架台基礎ボルト	-	<input type="text"/>		6	6	<input type="text"/>	



監視カメラ取付ボルト

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
津波監視カメラ 架台 (B300×300×9)	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台 (C130×65×6)	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台溶接部	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 取付ボルト	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台基礎ボルト	SUS316	199	511	205	205



材料	E (MPa)	ν	\varnothing_k (mm)	i (mm)	λ	Λ
SUS316 (B300×300×9)	193000	0.3				
SUS316 (C130×65×6)	193000	0.3				

		要素番号			
		1, 2	3~13	1	4, 9, 13
材料		SUS316 (B300×300×9)	SUS316 (C130×65×6)	SUS316 溶接部(定着部)	SUS316 溶接部
断面積	A (w) (mm ²)				
断面二次 モーメント	I _y (w) (mm ⁴)				
	I _z (w) (mm ⁴)				
ねじり定数	J (w) (mm ⁴)				
ねじり 断面係数	Z _p (w) (mm ³)				
せん断面積	A _{e y} (w) (mm ²)				
	A _{e z} (w) (mm ²)				
断面係数	Z _y (w) (mm ³)				
	Z _z (w) (mm ³)				

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
4	5						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 架台溶接部の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 取付ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_{xb} (N)	F_{yb} (N)	F_{zb} (N)
201	201			

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.4 基礎ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (單位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s	
					算出応力	許容応力
架台	SUS316	引張	4	5	$\sigma_t =$	$f_t = 205$
		圧縮	4	5	$\sigma_c =$	$f_c = 202$
		せん断	4	5	$\tau =$	$f_s = 118$
		曲げ	4	5	$\sigma_b =$	$f_b = 205$
		組合せ (垂直+せん断)	4	5	$\sigma_f =$	$f_t = 205$
		組合せ (圧縮+曲げ)	4	5		1
		組合せ (引張+曲げ)	4	5		1
架台溶接部	SUS316	せん断	-	1	$\sigma_{fw} =$	$f_{sw} = 118$
取付ボルト	SUS316	引張	201	201	$\sigma_{tb1} =$	$f_{tsb1} = 153^{*2}$
		せん断	201	201	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} = 118$
架台 基礎ボルト	SUS316	引張	-	1	$\sigma_{tb2} =$	$f_{tsb2} = 123^{*2}$
		せん断	-	1	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} = 94$

注記*1：絶対値を記載

$$*2: f_{tsbi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tobi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tobi}]$$

すべて許容応力以下である。

1.4.3 電気の機能維持の評価結果

(×9.8 m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ	水平方向	3.30	
	鉛直方向	2.93	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

4. 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ

4.1 一般事項

4.1.1 構造計画

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの構造計画を表4-1に示す。

表 4-1 構造計画 (3号機北側防波壁上部 (西) 津波監視カメラ)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>監視カメラは、津波監視カメラ架台の一部であるカメラ取付プレートに監視カメラ取付ボルトにより固定され、津波監視カメラ架台は防波壁上に基礎ボルトにより固定される。</p>	<p>監視カメラ</p>	<p>(平面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(単位：mm)</p>

4.1.2 評価方針

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「4.1.1 構造計画」にて示す津波監視カメラの部位を踏まえ「4.2 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3.3 解析モデル及び諸元」及び「4.3.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4.3 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、津波監視カメラの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機器の機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「4.4 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「4.5 評価結果」に示す。

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震評価フローを図4-1に示す。

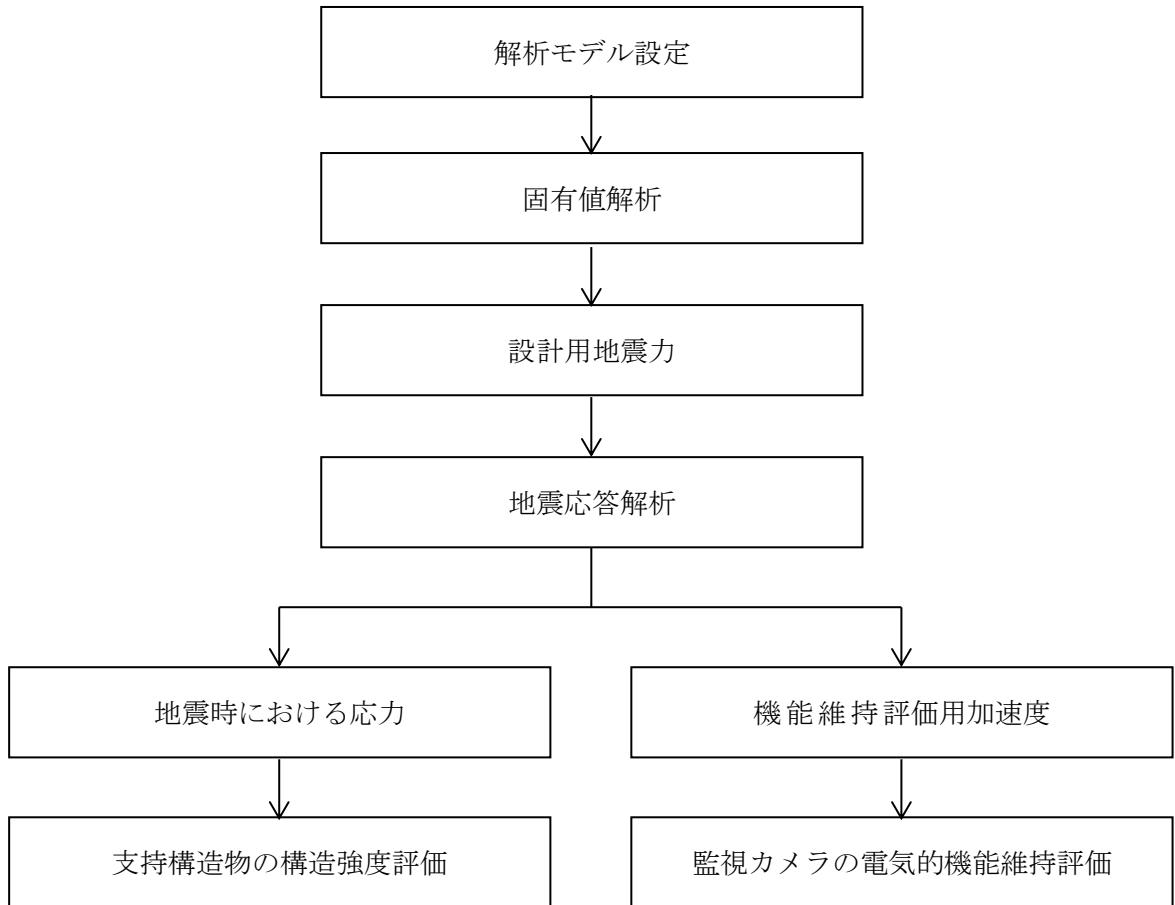


図4-1 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震評価フロー

4.1.3 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。)
- ・建築基準法・同施行令

4.1.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	架台の断面積	mm ²
A _{ey} , A _{ez}	架台のせん断断面積	mm ²
A _w	架台溶接部の断面積	mm ²
A _{eyw} , A _{ezw}	架台溶接部のせん断断面積	mm ²
A _{bi}	ボルトの軸断面積*	mm ²
a	基礎ボルトの間隔 (y 方向)	mm
b	基礎ボルトの間隔 (z 方向)	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _{oi}	ボルトの呼び径*	mm
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 _x	架台の軸力 (x 方向)	N
F _y , F _z	架台のせん断力 (y, z 方向)	N
F _{xb}	取付ボルトに作用する軸力 (x 方向)	N
F _{yb} , F _{zb}	取付ボルトに作用するせん断力 (y, z 方向)	N
f _b	架台の許容曲げ応力	MPa
f _c	架台の許容圧縮応力	MPa
f _s	架台の許容せん断応力	MPa
f _t	架台の許容引張応力	MPa
f _{sw}	架台溶接部の許容せん断応力	MPa
f _{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*	MPa
f _{tobi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*	MPa
f _{tsbi}	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
i	断面二次半径	mm

記号	記号の説明	単位
I_y, I_z	架台の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
I_{yw}, I_{zw}	架台溶接部の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
J	架台のねじり定数	mm ⁴
J_w	架台溶接部のねじり定数	mm ⁴
ℓ_k	座屈長さ	mm
m	架台の質量 (監視カメラ含む)	kg
M_x	架台のねじりモーメント (x 軸)	N・mm
M_y, M_z	架台の曲げモーメント (y, z 軸)	N・mm
n_i	ボルトの本数*	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	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
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
S_b	基礎ボルトのせん断力	N
T	基礎ボルトの引張力	N
X, Y, Z	絶対 (節点) 座標軸	—
x, y, z	局所 (要素) 座標軸	—
Z_p	架台のねじり断面係数	mm ³
Z_y, Z_z	架台の断面係数 (y, z 軸)	mm ³
Z_{pw}	架台溶接部のねじり断面係数	mm ³
Z_{yw}, Z_{zw}	架台溶接部の断面係数 (y, z 軸)	mm ³
Λ	架台の限界細長比	—
λ	架台の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	架台に生じる曲げ応力	MPa
σ_{bw}	架台溶接部に生じる曲げモーメントにより発生するせん断応力	MPa
σ_c	架台に生じる圧縮応力	MPa
σ_{cw}	架台溶接部に生じる圧縮力により発生するせん断応力	MPa
σ_f	架台に生じる組合せ応力	MPa
σ_{fw}	架台溶接部に生じるせん断応力	MPa
σ_t	架台に生じる引張応力	MPa
σ_{tw}	架台溶接部に生じる引張力により発生するせん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{tbi}	ボルトに生じる引張応力*	MPa
τ	架台に生じるせん断応力	MPa
τ_w	架台溶接部に生じるせん断力により発生するせん断応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記*：添字 i の意味は以下のとおりとする。

$i = 1$ ：取付ボルト

$i = 2$ ：基礎ボルト

4.1.5 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 4-2 に示すとおりである。

表 4-2 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 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第 1 位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}	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：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：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。

*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*5：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。

4.2 評価部位

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震評価は、「4.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき耐震評価上厳しくなる監視カメラ架台、架台溶接部、津波監視カメラ取付ボルト及び津波監視カメラ架台基礎ボルトについて耐震評価を実施する。津波監視カメラの耐震評価部位については、表4-1の概略構造図に示す。

4.3 地震応答解析及び構造強度評価

4.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの質量には、監視カメラ本体及び架台の質量のほか、防水ボックス、電線管及び積雪により付加される質量を考慮する。
- (2) 地震力は、3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平2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、S R S S法を適用する。
- (3) 風圧力は、水平2方向それぞれの受風面積から荷重を算出し、はり要素に分布荷重として同時に作用させる。集中質量としてモデル化している監視カメラ、防水ボックスに対しては集中荷重として作用させる。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-3に示す。

(2) 許容応力

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ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4-5に示す。

(4) 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速30m/sを使用し、3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表4-6に示す。

(5) 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、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、3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの形状を踏まえ、算出する。算出した単位面積当たりの積雪荷重を表 4-7 に示す。

表 4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

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
その他発電用 原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	津波監視カメラ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$ $+ P_K + P_S$	Ⅲ _A S

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 4-4 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 (ボルト等以外)				許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

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 4-5 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 (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
津波監視カメラ架台 (B300×300×9)	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 (C130×65×6)	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 溶接部	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ 取付ボルト	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 基礎ボルト	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205

表 4-6 基準速度圧

(単位: N/m²)

作用する部位	基準速度圧
3号機北側防波壁上部 (西) 津波監視カメラ	1.346×10 ³

表 4-7 単位面積当たりの積雪荷重

(単位: N/m²)

作用する部位	単位面積当たりの積雪荷重
3号機北側防波壁上部 (西) 津波監視カメラ	2.000×10 ³

4.3.3 解析モデル及び諸元

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの解析モデルを図4-2に、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【3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ架台のうちカメラ取付プレートを除く鋼材をはり要素で、カメラ取付プレートをシェル要素でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ及び防水ボックスの質量は、それぞれの重心位置に集中するものとし、取付プレートと内挿拘束要素で結合する。カメラ取付ボルトははり要素でモデル化する。電線管の質量は取付位置近傍の節点位置に分散して付加する。なお、積雪相当の質量は、分布質量としてモデル全体に付加する。
- (3) 拘束条件は、津波監視カメラ架台の基礎部を固定とする。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる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。

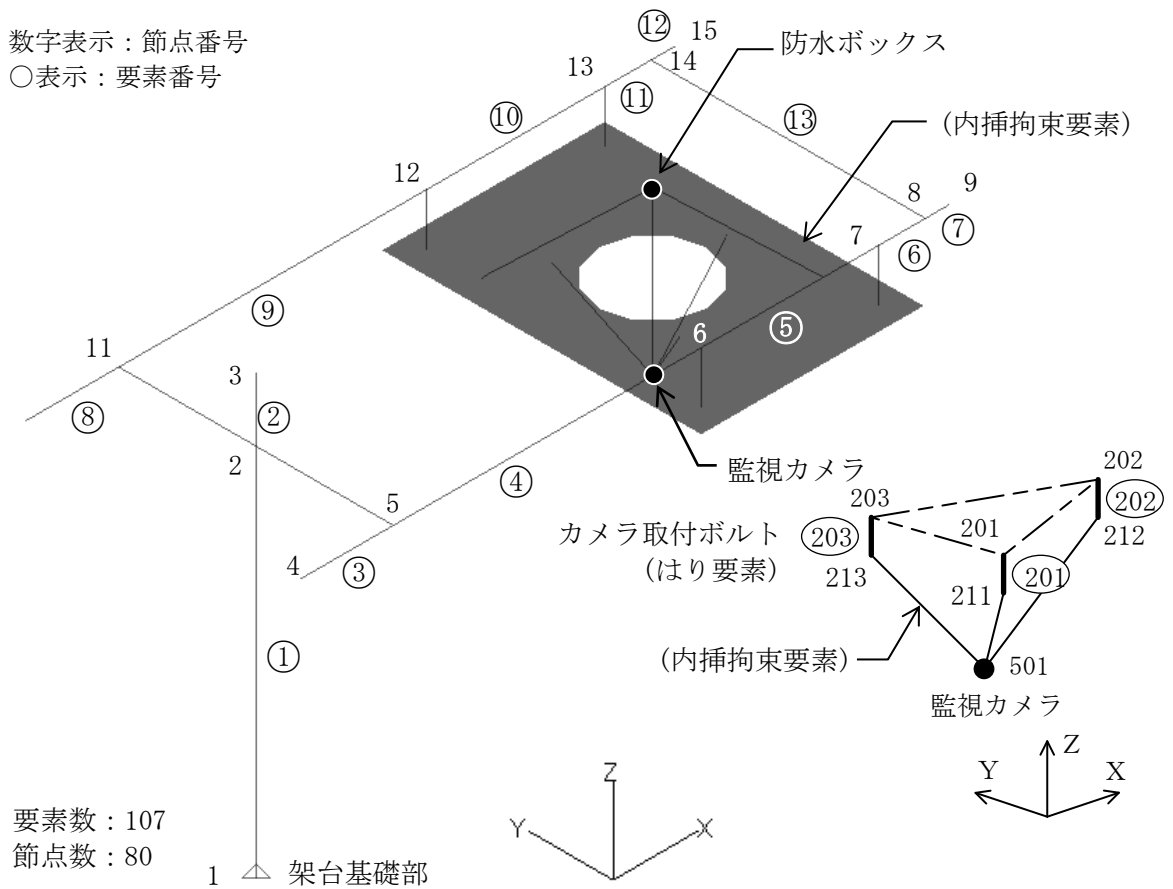


図4-2 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ解析モデル

4.3.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-8、振動モード図を図4-3に示す。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。

表4-8 固有値解析結果





機器名称	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
				X方向	Y方向	
3号機北側防波 壁上部(西) 津波監視カメラ	1次			—	—	—



図4-3 3号機北側防波壁上部(西)津波監視カメラ振動モード
(1次モード  方向  s)

4.3.5 設計用地震力

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ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4-9に示す。

「基準地震動S_s」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4-9 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)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
防波壁 (波返重力擁壁) EL. 15.0 ^{*1}			—	—	C _H =4.38 ^{*2}	C _V =3.83 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度I（基準地震動S_s）を上回る設計震度

4.3.6 応力の計算方法

(1) 架台の応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

a. 引張応力, 圧縮応力

$$|\sigma_t| = |\sigma_c| = \frac{|F_x|}{A} \quad (4.3.6.1)$$

b. せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{ey}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ez}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_p} \quad (4.3.6.2)$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \quad (4.3.6.3)$$

d. 組合せ応力

(a) 組合せ応力 (垂直+せん断)

垂直応力とせん断応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \leq f_t \quad (4.3.6.4)$$

(b) 組合せ応力 (圧縮+曲げ)

圧縮応力と曲げ応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}, \frac{\sigma_b}{f_t}\right) \leq 1 \quad (4.3.6.5)$$

(c) 組合せ応力 (引張+曲げ)

引張応力と曲げ応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t}, \frac{\sigma_b}{f_b}\right) \leq 1 \quad (4.3.6.6)$$

(2) 架台溶接部の応力

架台溶接部において解析による計算で得られる軸力 F_x ，せん断力 F_y ， F_z ，ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y ， M_z より各応力を次のように求める。

- a. 引張力及び圧縮力により発生するせん断応力

$$|\sigma_{tw}| = |\sigma_{cw}| = \frac{|F_x|}{A_w} \quad (4.3.6.7)$$

- b. せん断力により発生するせん断応力

$$\tau_w = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{eyw}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ezw}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_{pw}} \quad (4.3.6.8)$$

- c. 曲げモーメントにより発生するせん断応力

$$\sigma_{bw} = \frac{|M_y|}{Z_{yw}} + \frac{|M_z|}{Z_{zw}} \quad (4.3.6.9)$$

- d. 溶接部に生じるせん断応力

$$\sigma_{fw} = \sqrt{(\sigma_{tw} + \sigma_{bw})^2 + \tau_w^2} \quad (4.3.6.10)$$

(3) 取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は，解析で得られるボルト位置での軸力 F_{xb} ，せん断力 F_{yb} ， F_{zb} より，引張応力とせん断応力について計算する。

- a. 引張応力

$$\sigma_{tb1} = \frac{F_{xb1}}{A_{b1}} \quad (4.3.6.11)$$

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{o1}^2 \quad (4.3.6.12)$$

- b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{\sqrt{F_{yb1}^2 + F_{zb1}^2}}{A_{b1}} \quad (4.3.6.13)$$

(4) 基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる架台下端の要素の軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z から、基礎ボルトのうち引張応力とせん断応力を手計算により計算する。基礎ボルト部の概要を図4-4に示す。

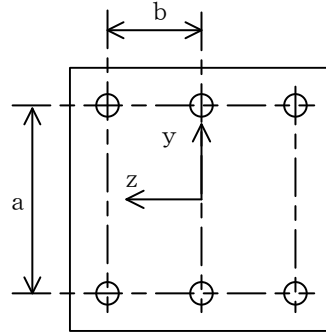


図4-4 基礎ボルト部の概要

a. 引張応力

$$\sigma_{tb2} = \frac{T}{A_{b2}} \quad (4.3.6.14)$$

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \quad (4.3.6.15)$$

$$T = \frac{F_x}{6} + \frac{M_y}{4b} + \frac{M_z}{3a} \quad (4.3.6.16)$$

b. せん断応力

$$\tau_{tb2} = \frac{S_b}{A_{b2}} \quad (4.3.6.17)$$

$$S_b = \sqrt{\left(\frac{F_y}{6} + \frac{b \cdot M_x}{r}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{6} + \frac{a \cdot M_x}{2r}\right)^2} \quad (3.3.6.18)$$

$$r = \frac{3}{2} \cdot a^2 + 4 \cdot b^2 \quad (4.3.6.19)$$

4.3.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ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。

4.3.8 応力の評価

(1) 架台の応力評価

4.3.6(1)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(4.3.6.5)式、(4.3.6.6)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \tag{4.3.8.1}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \tag{4.3.8.2}$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \tag{4.3.8.3}$$

(2) 架台溶接部の応力評価

4.3.6(2)項で求めたせん断応力が下表で定めた許容せん断応力以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

(3) ボルトの応力評価

4.3.6項で求めたボルトの引張応力 σ_{tbi} は、下記の f_{tsbi} 以下であること。ただし f_{tobi} は下表による。

$$f_{tsbi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tobi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tobi}] \quad (4.3.8.4)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tobi}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.4 機能維持評価

4.4.1 電氣的機能維持評価方法

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの電氣的機能維持評価について以下に示す。
なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の監視カメラ単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-10に示す。

表4-10 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
監視カメラ	水平	
	鉛直	

4.5 評価結果

4.5.1 設計基準対象施設としての評価結果

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの設計基準対象施設としての耐震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、電氣的機能を維持できることを確認した。

(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。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

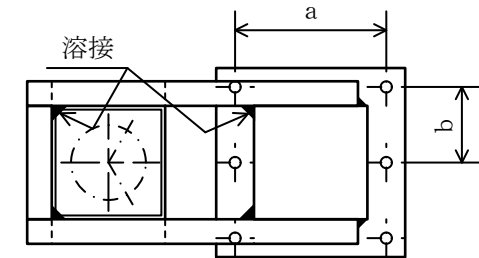
機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
3号機北側防波壁上部 (西) 津波監視カメラ	S	防波壁 (波返重力擁壁) EL. 15.0 ^{*1}			—	—	C _H =4.38 ^{*2}	C _V =3.83 ^{*2}	50

注記*1：基準床レベルを示す。

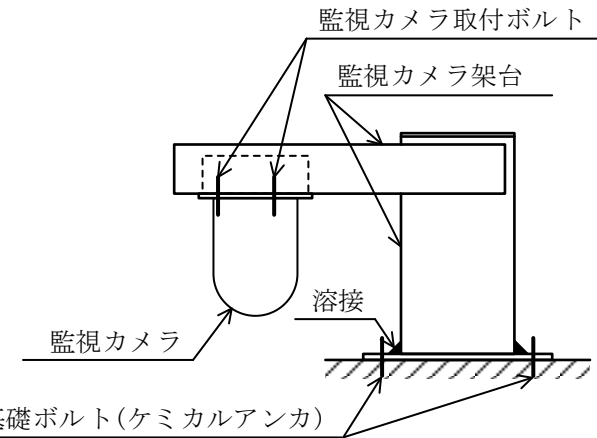
*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

	m (kg)	d _{o i} (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	a	b
津波監視カメラ 架台		—	—	—	—	—	—
津波監視カメラ 取付ボルト	—			3	3	—	—
津波監視カメラ 架台基礎ボルト	—			6	6		



部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)
津波監視カメラ 架台 (B300×300×9)	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台 (C130×65×6)	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台溶接部	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 取付ボルト	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台基礎ボルト	SUS316	199	511	205	205



S2 補 VI-2-10-2-17 R1

材料	E (MPa)	ν	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ
SUS316 (B300×300×9)	193000	0.3				
SUS316 (C130×65×6)	193000	0.3				

		要素番号				
		1, 2	3~13	1	4, 9	13
材料		SUS316 (B300×300×9)	SUS316 (C130×65×6)	SUS316 溶接部(定着部)	SUS316 溶接部	SUS316 溶接部
断面積	A (w) (mm ²)					
断面二次 モーメント	I _y (w) (mm ⁴)					
	I _z (w) (mm ⁴)					
ねじり定数	J (w) (mm ⁴)					
ねじり 断面係数	Z _p (w) (mm ³)					
せん断面積	A _{e y} (w) (mm ²)					
	A _{e z} (w) (mm ²)					
断面係数	Z _y (w) (mm ³)					
	Z _z (w) (mm ³)					

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
4	5						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で、 x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 架台溶接部の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						
13	14						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で、 x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 取付ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_{xb} (N)	F_{yb} (N)	F_{zb} (N)
201	201			

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で、 x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.4 基礎ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						

注：添字 x , y , z は要素に与えられた座標軸で、 x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (單位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s	
					算出応力	許容応力
架台	SUS316	引張	4	5	$\sigma_t =$	$f_t = 205$
		圧縮	4	5	$\sigma_c =$	$f_c = 200$
		せん断	4	5	$\tau =$	$f_s = 118$
		曲げ	4	5	$\sigma_b =$	$f_b = 205$
		組合せ (垂直+せん断)	4	5	$\sigma_f =$	$f_t = 205$
		組合せ (圧縮+曲げ)	4	5		1
		組合せ (引張+曲げ)	4	5		1
架台溶接部	SUS316	せん断	-	1	$\sigma_{fw} =$	$f_{sw} = 118$
取付ボルト	SUS316	引張	201	201	$\sigma_{tb1} =$	$f_{tsb1} = 153^{*2}$
		せん断	201	201	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} = 118$
架台 基礎ボルト	SUS316	引張	-	1	$\sigma_{tb2} =$	$f_{tsb2} = 123^{*2}$
		せん断	-	1	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} = 94$

注記*1：絶対値を記載

*2： $f_{tsbi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tobi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tobi}]$
 すべて許容応力以下である。

1.4.3 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ	水平方向	3.30	□
	鉛直方向	2.93	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-10-3 非常用取水設備の耐震性に関する説明書

VI-2-10-3-1 非常用取水設備の耐震計算結果

目 次

1. 概要 1
2. 耐震評価条件整理 1

1. 概要

本説明書は、非常用取水設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

非常用取水設備に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に許可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

非常用取水設備の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。

表2-1 耐震評価条件整理一覧表

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設		
		耐震重要度分類	新規制基準施行前に認められた実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類 ^{*1}	設計基準対象施設との設計条件の差異	耐震計算の記載箇所
非常用取水設備	取水槽	C	有 ^{*2}	VI-2-10-3-2	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-3-2
	取水設備	C	—	VI-2-10-3-2	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-3-2
	取水口	C	—	VI-2-10-3-2	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-3-2

注記*1：「常設/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備を示し、

「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：地震応答解析は時刻歴応答解析で実施し、構造解析は3次元静的材料非線形解析にて実施

VI-2-10-3-2 非常用取水設備の耐震性についての計算書

非常用取水設備のうち，取水槽の耐震性については，VI-2-2-19「取水槽の耐震性についての計算書」で説明する。

非常用取水設備のうち，取水管の耐震性については，VI-2-2-28「取水管の耐震性についての計算書」で説明する。

非常用取水設備のうち，取水口の耐震性については，VI-2-2-29「取水口の耐震性についての計算書」で説明する。

VI-2-10-4 緊急時対策所の耐震性に関する説明書

VI-2-10-4-1 緊急時対策所の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本説明書は、緊急時対策所の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

緊急時対策所の設備に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件との差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

緊急時対策所の設備の耐震計算は、表 2-1 に示す計算書に記載する。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/2)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の 重要度分類	新規制基準施行 前に許可された 実績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
緊急時対策所	緊急時対策所	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-2*3	
	その他の緊急時対策所機能	無線通信設備（固定型）	C	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-6-7-3-2*4
		衛星電話設備（固定型）	C	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-6-7-3-1*4
		安全パラメータ表示システム（SPDS）	C	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-6-7-3-4*4
		統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	C	—*2	—	常設／その他	—	VI-2-6-7-3-3*4
		主配管	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-8-3-3-1*5
		差圧計	—	—*2	—	常設／その他	—	VI-2-8-3-3-2*5
		緊急時対策所遮蔽	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-8-4-5*5
		緊急時対策所用燃料地下タンク	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-2-4-1*6
		緊急時対策所 発電機接続プラグ盤	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-18*6

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/2)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震設計上の 重要度分類	新規制基準施行 前に許可された 実績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
緊急時対策所	その他の緊急時対策所機能	緊急時対策所 低圧受電盤・低圧母線盤	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-19*6
		緊急時対策所 低圧分電盤 1	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-20*6
		緊急時対策所 低圧分電盤 2	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-21*6
		緊急時対策所 無停電交流電源装置	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-27*6
		緊急時対策所 無停電分電盤 1	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-28*6
		緊急時対策所 直流 115V 充電器	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-29*6

注記*1: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設／その他」は常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備以外の重大事故等対処設備を示す。

*2: 本工事計画で新規に申請する設備であることから, 差異比較の対象外

*3: 建物・構築物の耐震評価は, VI-2-2「耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性に関する説明書」に記載する。

*4: 計測制御系統施設と兼用の設備であり, 評価内容が共通であるため, 耐震評価は, VI-2-6-7「その他の計測制御系統施設の耐震性についての計算書」に記載する。

*5: 放射線管理施設と兼用の設備であり, 評価内容が共通であるため, 耐震評価は, VI-2-8「放射線管理施設の耐震性に関する説明書」に記載する。

*6: 非常用電源設備と兼用の設備であり, 評価内容が共通であるため, 耐震評価は, VI-2-10-1「非常用電源設備の耐震性に関する説明書」に記載する。