

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-014-11 改 01
提出年月日	2023 年 5 月 18 日

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

S2 補 VI-2-11-2-5 R0

2023 年 5 月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造の概要	4
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	8
3. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））	9
3.1 固有振動数及び設計用地震力	9
3.1.1 固有振動数の算出方法	9
3.1.2 固有振動数の計算条件	11
3.1.3 固有振動数の算出結果	12
3.1.4 設計用地震力	13
3.2 耐震評価方法	14
3.2.1 記号の説明	14
3.2.2 評価対象部位	17
3.2.3 荷重及び荷重の組合せ	18
3.2.4 許容限界	20
3.2.5 評価方法	22
3.2.6 評価条件	32
4. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））	35
4.1 固有振動数及び設計用地震力	35
4.1.1 固有振動数の算出方法	35
4.1.2 固有振動数の計算条件	37
4.1.3 固有振動数の算出結果	38
4.1.4 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	44
4.2.4 許容限界	46
4.2.5 評価方法	48
4.2.6 評価条件	58
5. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）	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	固有振動数の計算条件	63
5.1.3	固有振動数の算出結果	64
5.1.4	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	70
5.2.4	許容限界	72
5.2.5	評価方法	74
5.2.6	評価条件	84
6.	評価結果	87

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、取水槽海水ポンプエリア防護対策設備が原子炉補機海水ポンプ、原子炉補機海水系配管、取水槽水位計等¹に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、原子炉補機海水ポンプ、原子炉補機海水系配管、取水槽水位計等²の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷による影響では、取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造部材の健全性評価を実施する。構造部材の健全性評価にあたっては、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」を基に算定した荷重を評価式に代入すること及びフレーム計算に入力することにより確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の位置図を図 2-1 に示す。

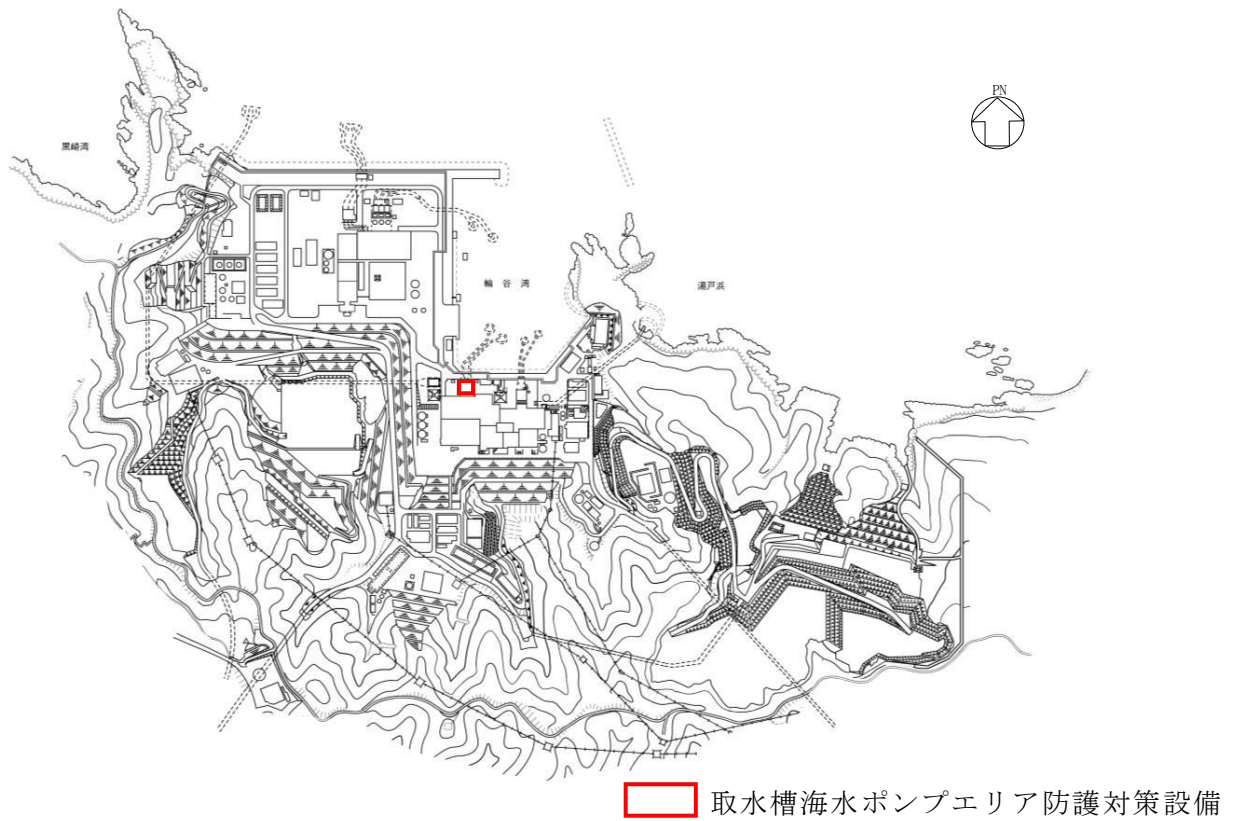
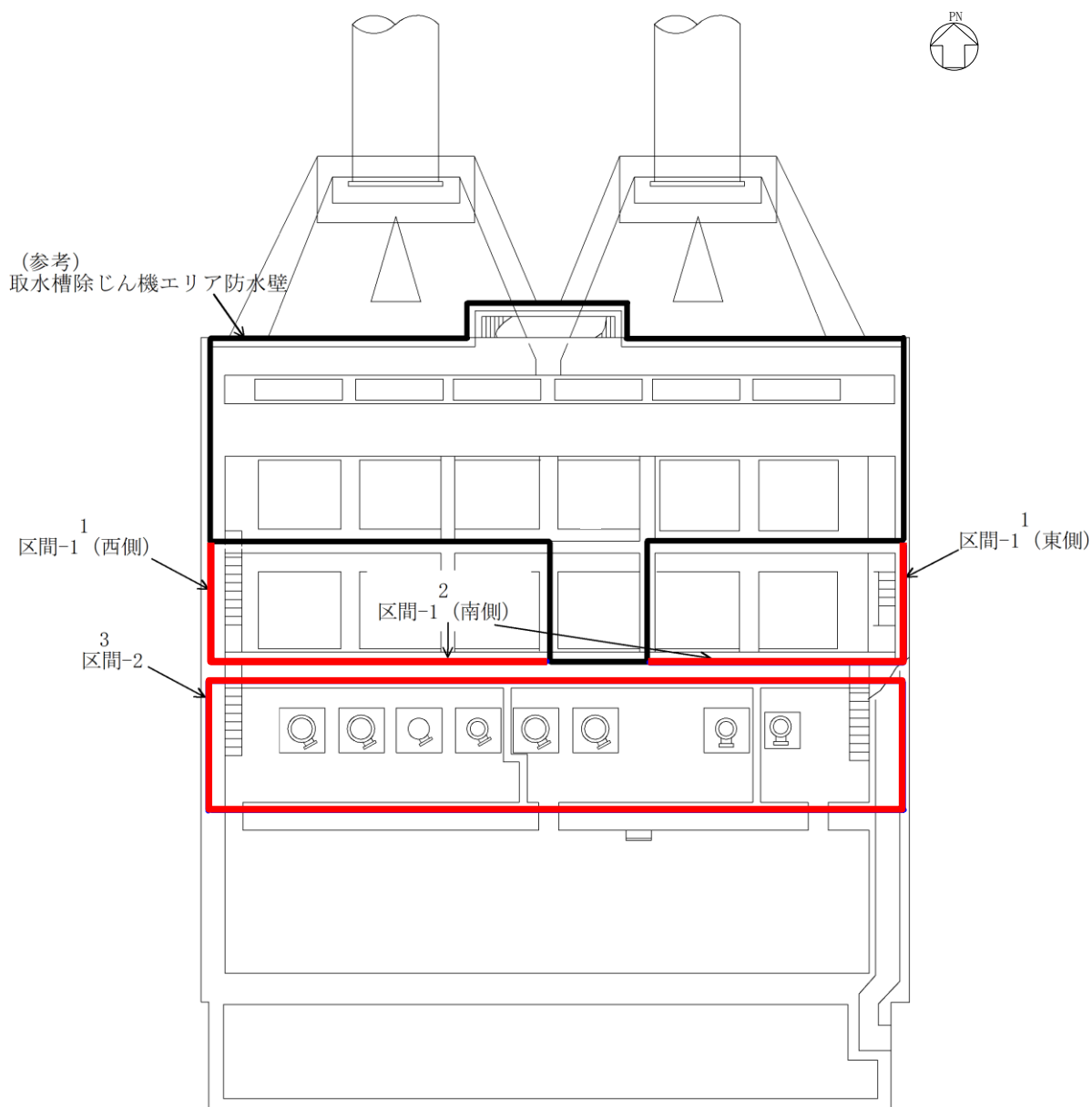


図 2-1(1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 位置図



1	取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））
2	取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））
3	取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）

図 2-1(2) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 位置図（詳細図）

2.2 構造の概要

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備は、鋼板、はり、柱、架構、ベースプレート及びアンカーボルトから構成され、取水槽にアンカーボルトで固定する構造とする。

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造の概要を表 2-1 に示す。

表 2-1(1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造の概要（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ベースプレートを通じて取水槽にアンカーボルトにて固定する。	鋼板、はり、柱、ベースプレート、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 2-1(2) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造の概要（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ベースプレートを通して取水槽にアンカーボルトにて固定する。	鋼板，はり，柱，ベースプレート，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 2-1(3) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造の概要 (区間-2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>はり、柱で補強した鋼板及び架構をベースプレートを通じて取水槽にアンカーボルトにて固定する。</p>	<p>鋼板、はり、柱、架構、ベースプレート、アンカーボルトにより構成する。</p>	<p>平面図</p> <p>断面図 (A-A 断面)</p> <p>断面図 (B-B 断面, 架構非表示)</p>

2.3 評価方針

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の波及的影響評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」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 構造の概要」に示す取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の構造を踏まえ、第3章～第5章の各章の「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」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の波及的影響の評価フローを図2-2に示す。

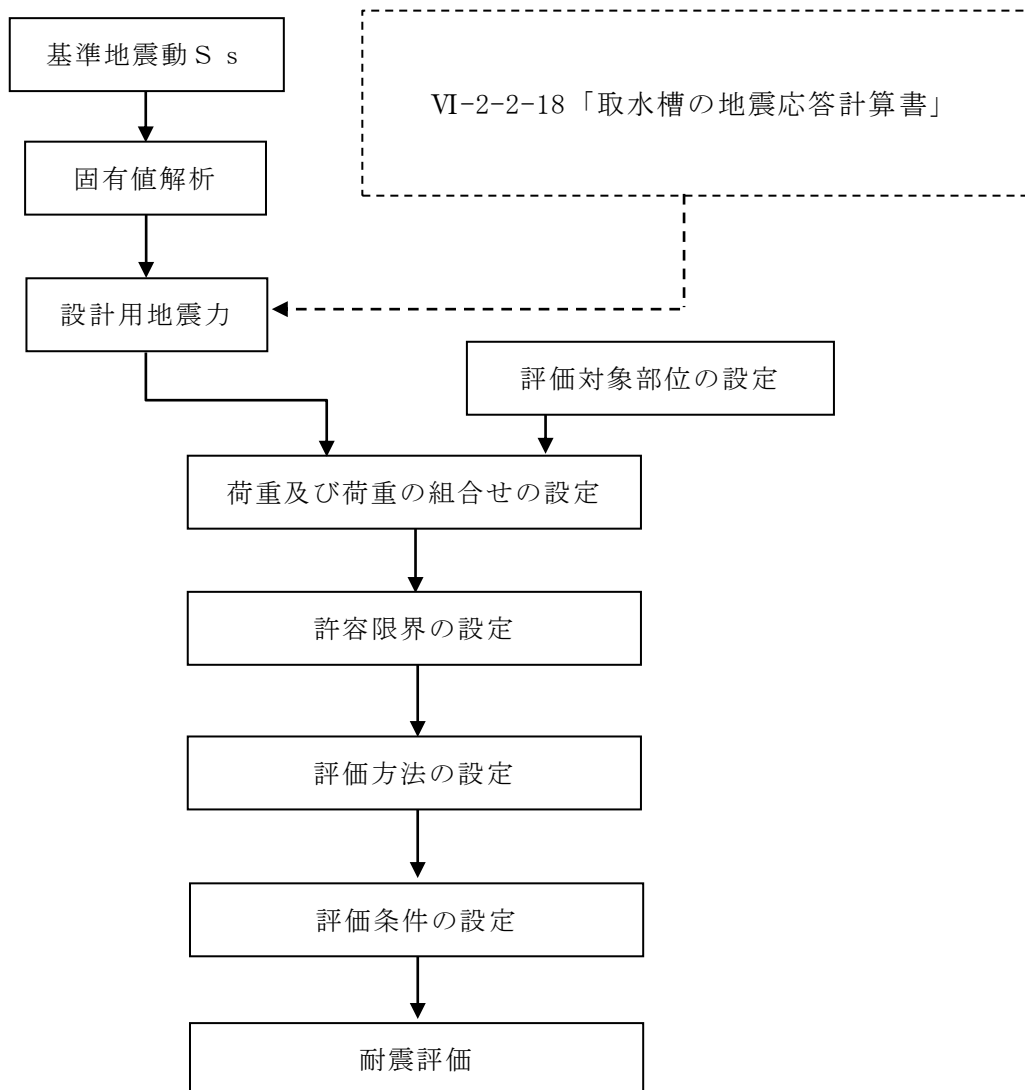


図 2-2 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）（以下「S 規準」という。）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 構造力学公式集（（社）土木学会）（以下「構造力学公式集」という。）

3. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））

3.1 固有振動数及び設計用地震力

3.1.1 固有振動数の算出方法

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））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

当該防護対策設備は，鋼板，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，当該防護対策設備の鋼板を四辺固定の長方形板に，柱を片側固定-片側自由はりに，はりを両端ピン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，柱及びはりの全長とする。図 3-1 に解析モデル図を示す。

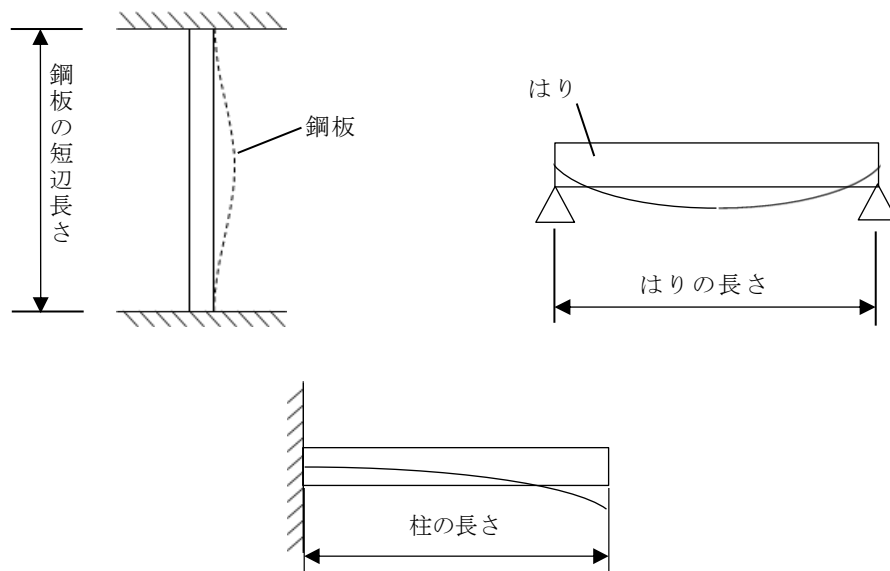


図 3-1 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防護対策設備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	防護対策設備の 1 次固有振動数
λ	—	定数
h	m	モデル化に用いる鋼板の厚さ
a	m	モデル化に用いる鋼板の短辺長さ
E	N/m ²	ヤング率
ν	—	ポアソン比
ρ	kg/m ³	材料の密度
L	mm	モデル化に用いる架構の長さ
I	m 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」に基づき以下の式より算出する。

- a. 四辺固定の長方形板モデル（鋼板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda \pi h}{4a^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

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

- b. 片側固定-片側自由はりモデル（柱をモデル化）

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

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

c. 両端ピンはりモデル（はりをモデル化）

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

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

3.1.2 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(1) 固有周期の計算条件（鋼板）

項目	記号	単位	数値
ヤング率	E	N/m ²	2.05×10 ¹¹
定数	λ	—	2.73
モデル化に用いる鋼板の長さ	a	m	1.5
モデル化に用いる鋼板の厚さ	h	m	0.009
ポアソン比	ν	—	0.3
材料の密度	ρ	kg/m ³	7.85×10 ³

表 3-2(2) 固有周期の計算条件（柱及びはり）

項目	記号	単位	数値	
			柱	はり
モデル化に用いる柱及びはりの長さ	L	m	2.0	1.5
ヤング率	E	N/m ²	2.05×10 ¹¹	2.05×10 ¹¹
定数	λ	—	1.8751	—
断面二次モーメント	I	m ⁴	4,720×10 ⁻⁸	37×10 ⁻⁸
質量分布	m	kg/m	226.38	83.41

3.1.3 固有振動数の算出結果

固有振動数の算出結果を表 3-3 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 3-3 固有振動数

名称	対象部位	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
取水槽海水ポンプエリア 防護対策設備 (区間-1 (東, 西側))	鋼板	26.53	0.038
	柱	28.92	0.035
	はり	21.00	0.048

3.1.4 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護対策設備設置床の最大応答加速度から設計震度を設定する。

当該防護対策設備の設計震度を表 3-4 に示す。

表 3-4 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	海水ポンプエリア	1.8	0.9

3.2 耐震評価方法

当該防護対策設備の原子炉補機海水ポンプ，原子炉補機海水系配管等，取水槽水位計及び除じん系配管（ポンプ入口配管，ポンプ出口～取水槽海水ポンプエリア境界壁）に対する波及的影響の評価はVI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」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 構造の概要」に示す防護対策設備の構造を踏まえ，「3.2.2 評価対象部位」にて設定する評価部位において，「3.1 固有振動数及び設計用地震力」で算定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内に収まることを，「3.2.5 評価方法」に示す方法にて確認する。

3.2.1 記号の説明

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））の評価に用いる記号を表3-5に示す。

表3-5(1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
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	防護対策設備の自重
w	kN/m ²	風圧力
S_{s1}	kN	鋼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
w_{ss1}	kN/m ²	鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重
B_1	m	支柱間隔
H_1	m	鋼板の高さ
σ_{b1}	N/mm ²	鋼板に生じる曲げ応力度
M_{max1}	kN・m	鋼板に生じる最大曲げモーメント
Z_1	mm ³	鋼板の断面係数
$B_{1'}$	m	鋼板の荷重載荷幅
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	鋼板に生じる最大せん断力
h_1	mm	鋼板のせん断負担幅
t_1	mm	鋼板の厚さ
S_{s2}	kN	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

表 3-5(2) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
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_2	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・m	柱の最大曲げモーメント
Z_2	cm 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_{c2}	N/mm ²	柱に生じる圧縮応力度
V_{max2}	kN	柱の最大鉛直荷重
A_2	cm ²	柱の断面積
τ_2	N/mm ²	柱に生じるせん断応力度
S_{max2}	kN	柱に生じる最大せん断力
A_2'	cm ²	柱のせん断断面積
S_{s3}	kN	はり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_{ss3}	kN/m ²	はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重
A	m ²	防護対策設備の面積
σ_{b3}	N/mm ²	はりに生じる曲げ応力度
M_{max3}	kN・m	はりの最大曲げモーメント
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	はりの最大せん断力
h_3	mm	はりのせん断負担幅
t_3	mm	はりの厚さ
σ_{b4}	N/mm ²	ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度
M_{max4}	kN・m	ベースプレート引張側の最大曲げモーメント
Z_4	mm ³	ベースプレートの断面係数
L_4	m	柱とアンカーボルト間の長さ

表 3-5(3) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（東，西側））の耐震評価に用いる記号

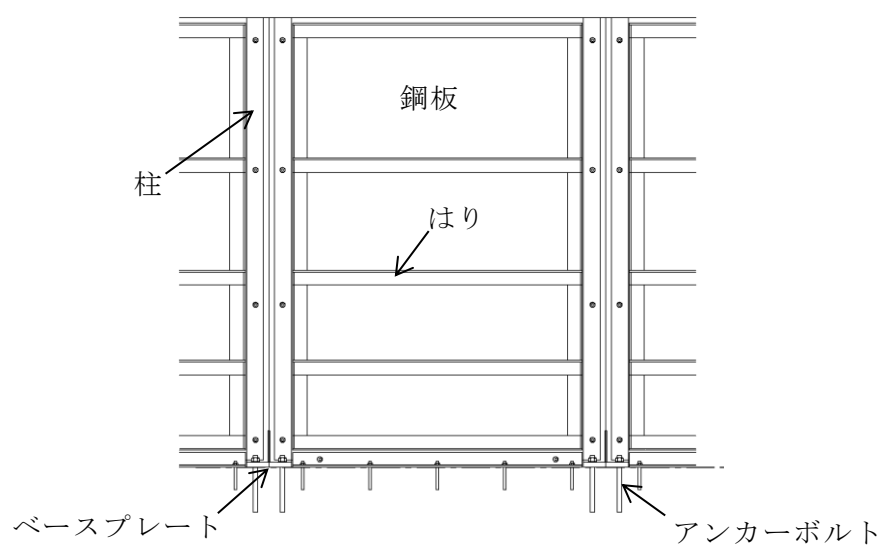
記号	単位	定義
τ_4	N/mm ²	ベースプレート引張側に生じるせん断応力度
S_{max4}	N	ベースプレート引張側の最大せん断力
t_4	mm	ベースプレートの厚さ
B_4	m	部材断面有効幅
$\sigma_{b4'}$	N/mm ²	ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度
$M_{max4'}$	N・mm/mm	ベースプレート押込側の最大曲げモーメント
M_{x4}	—	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数
W_4	N/mm ²	コンクリートの曲げ圧縮応力度
L_{x4}	mm	ベースプレートの版の短辺長
$\tau_{4'}$	N/mm ²	ベースプレート押込側に生じるせん断応力度
$S_{max4'}$	N	ベースプレート押込側の最大せん断力
A_4	mm ²	押込側ベースプレートの断面積
T_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
T_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
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
$\sum n \times x_i^2$	m ²	2 次モーメントの合計値
Q_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力
f_t	N/mm ²	短期許容引張応力度
f_b	N/mm ²	短期許容曲げ応力度
f_c	N/mm ²	短期許容圧縮応力度

3.2.2 評価対象部位

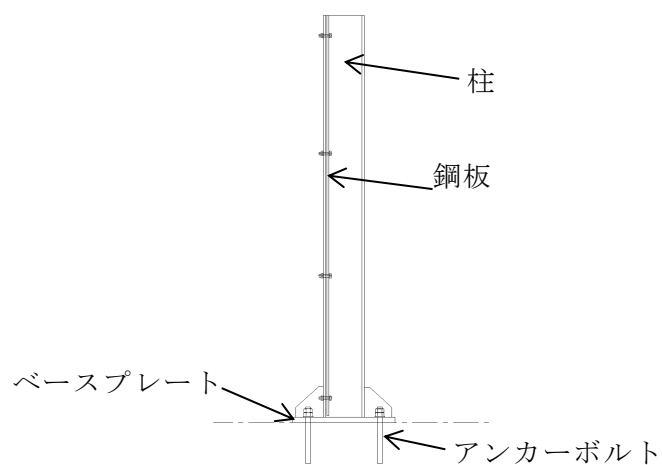
当該防護対策設備の評価対象部位は「2.2 構造の概要」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震動により当該防護対策設備に生じる慣性力及び風荷重は鋼板、はり、柱及びベースプレートに伝わり、ベースプレート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、ベースプレート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。



正面図



断面図

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

当該防護対策設備の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + W + S_s$$

G : 固定荷重 (kN)

W : 風荷重 (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護対策設備の自重を考慮する。自重は「3.2.6 評価条件」に示す。

b. 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当該部分の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 3-6 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 3-6 風圧力

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

c. 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。「3.1.4 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

3.2.4 許容限界

許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」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

当該防護対策設備を構成する鋼板，柱，はり，ベースプレート及びアンカーボルトの使用材料を表3-7に示す。

表3-7 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	
柱	SS400	
はり	SS400	
ベースプレート	SS400	
アンカーボルト	SUS304	

(2) 許容限界

a. 鋼板，柱，はり，ベースプレート

鋼板，柱，はり，ベースプレートの許容応力度は、「S規準」を踏まえて表3-8の値とする。

表3-8 鋼板，柱，はり，ベースプレートの短期許容応力度

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*：座屈による許容値の低減は不要。割増係数は1.5とした。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 3-9 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 3-9 アンカーボルトの基準強度

材質	許容耐力 (kN)	
	引張	せん断
SUS304 	41	34

3.2.5 評価方法

当該防護対策設備を構成する鋼板，柱，はり，ベースプレート及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を単純支持のはりとして次式により算出し，鋼板の短期許容応力度以下であることを確認する。鋼板に作用する荷重の例を図 3-3 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_{s1}

$$S_{s1} = G \cdot k_H$$

S_{s1} : 鋼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 : 防護対策設備の自重 (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面積当たりの水平方向の等分布荷重 w_{ss1}

$$w_{ss1} = S_{s1} / (B_1 \cdot H_1) + w$$

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

S_{s1} : 鋼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_1 : 支柱間隔 (m)

H_1 : 鋼板の高さ (m)

w : 風圧力 (kN/m²)

c. 鋼板に生じる曲げ応力度 σ_{b1}

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

$$M_{\max1} = w_{ss1} \cdot B_{1'} \cdot L_1^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max1}$: 鋼板に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

$B_{1'}$: 鋼板の荷重載荷幅 (m)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

d. 鋼板に生じるせん断応力度 τ_1

$$\tau_1 = (S_{\max1} \cdot 10^3) / (h_1 \cdot t_1)$$

$$S_{\max1} = w_{ss1} \cdot B_{1'} \cdot L_1 / 2$$

τ_1 : 鋼板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max1}$: 鋼板の最大せん断力 (kN)

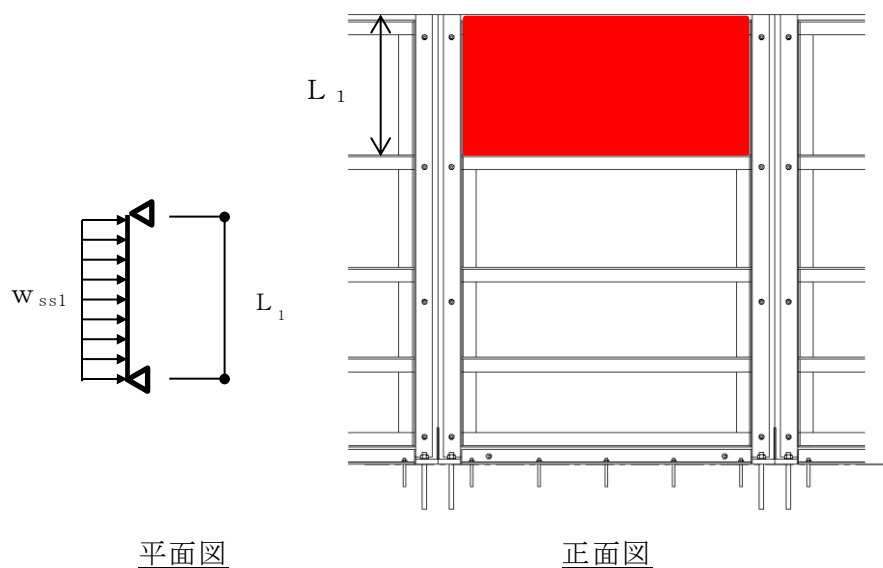
h_1 : 鋼板のせん断負担幅 (mm)

t_1 : 鋼板の厚さ (mm)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

$B_{1'}$: 鋼板の荷重載荷幅 (m)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)



平面図

正面図

図 3-3 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はりとして次式により算出し、柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

柱に作用する荷重の例を図 3-4 に示す。

a. 柱に作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_{s2} = G \cdot k_H$$

$$V_2 = G \cdot k_v$$

S_{s2} : 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 : 防護対策設備の自重 (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当たりの等分布荷重 w_{ss2}

$$w_{ss2} = (S_{s2} + W_2) / L_2$$

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_{s2} : 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_2 : 柱に作用する風荷重 (kN)

L_2 : 柱全長 (m)

c. 柱に作用する水平荷重 W_{ss2}

$$W_{ss2} = S_{s2} + W_2$$

W_{ss2} : 柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

S_{s2} : 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_2 : 柱に作用する風荷重 (kN)

d. 柱に生じる曲げ応力度 σ_{b2}

$$\sigma_{b2} = (M_{\max 2} \cdot 10^6) / (Z_2 \cdot 10^3)$$

$$M_{\max 2} = w_{ss2} \cdot L_2 \cdot L_{22}$$

σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 2}$: 柱の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 柱の断面係数 (cm³)

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_2 : 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. 柱に生じる圧縮応力度 σ_{c2}

$$\sigma_{c2} = (V_{\max 2} \cdot 10^3) / (A_2 \cdot 10^2)$$

$$V_{\max 2} = V_2 + G$$

σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

$V_{\max 2}$: 柱の最大鉛直荷重 (kN)

A_2 : 柱の断面積 (cm²)

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)

G : 防護対策設備の自重 (kN)

f. 柱に生じるせん断応力度 τ_2

$$\tau_2 = (S_{\max 2} \cdot 10^3) / (A_{2'} \cdot 10^2)$$

$$S_{\max 2} = W_{ss2}$$

τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 2}$: 柱に生じる最大せん断力 (kN)

$A_{2'}$: 柱のせん断断面積 (cm²)

W_{ss2} : 柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

柱に生じる曲げ応力度とせん断応力度及び圧縮応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，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)

② 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} \leq f_t$$

- 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)

③ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度（慣性力上向きの場合）

$$\sqrt{(\sigma_{b2} + \sigma_{c2})^2 + 3 \times \tau_2^2} \leq f_t$$

- 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)

④ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度（慣性力が下向きの場合）

$$\sqrt{(\sigma_{b2} - \sigma_c)^2 + 3 \times \tau_2^2} \leq f_t$$

- 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)

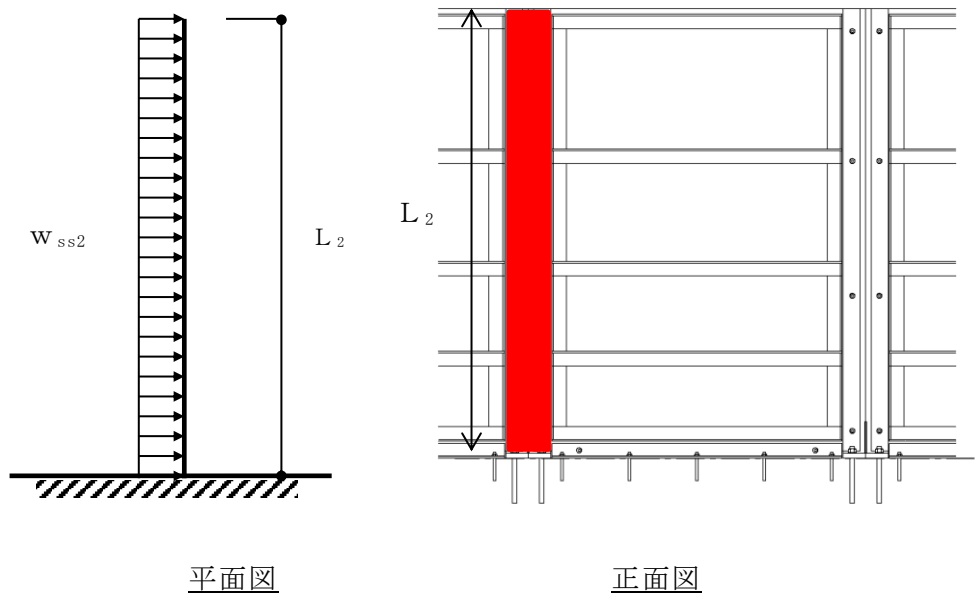


図 3-4 柱に作用する荷重の例

(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し、はりの短期許容応力度以下であることを確認する。はりに作用する荷重の例を図 3-5 に示す。

a. はり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_{s3}

$$S_{s3} = G \cdot k_H$$

S_{s3} : はり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 : 防護対策設備の自重 (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面積当たりの等分布荷重 w_{ss3}

$$w_{ss3} = S_{s3} / A + w$$

w_{ss3} : はりに作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

S_{s3} : はり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)

A : 防護対策設備の面積 (m²)

w : 風圧力 (kN/m²)

c. はりに生じる曲げ応力度 σ_{b3}

$$\sigma_{b3} = (M_{\max3} \cdot 10^6) / Z_3$$

$$M_{\max3} = w_{ss3} \cdot B_3 \cdot L_3^2 / 8$$

σ_{b3} : はりに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max3}$: はりの最大曲げモーメント (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当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 τ_3

$$\tau_3 = (S_{\max3} \cdot 10^3) / (h_3 \cdot t_3)$$

$$S_{\max3} = w_{ss3} \cdot B_3 \cdot L_3 / 2$$

τ_3 : はりに生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max3}$: はりの最大せん断力 (kN)

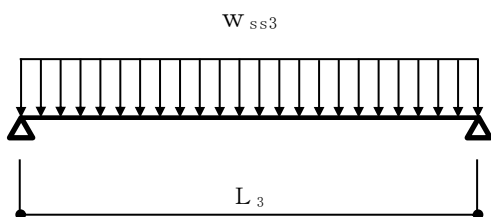
h_3 : はりのせん断負担幅 (mm)

t_3 : はりの厚さ (mm)

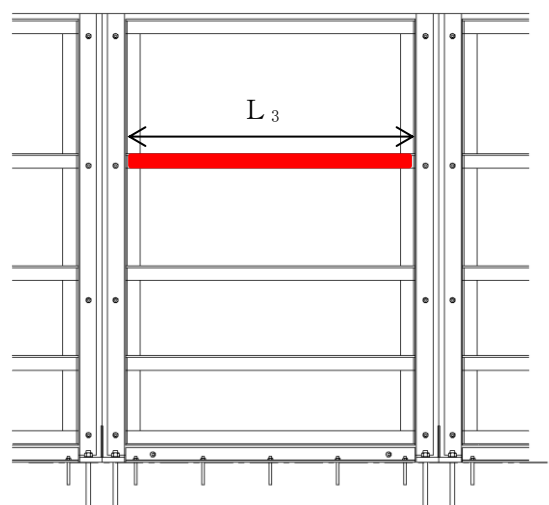
w_{ss3} : はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

B_3 : はりの荷重載荷幅 (m)

L_3 : はりの部材長 (m)



平面図



正面図

図 3-5 はりに作用する荷重の例

(4) ベースプレート

ベースプレートに生じる応力は、ベースプレートを片持ち梁として次式により算出し、ベースプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。ベースプレートに作用する荷重の例を図 3-6 に示す。

a. ベースプレートに生じる曲げ応力度（引張側） σ_{b4}

$$\sigma_{b4} = (M_{\max4} \cdot 10^6) / Z_4$$

$$M_{\max4} = T_5 \cdot L_4$$

σ_{b4} : ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max4}$: ベースプレート引張側の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_4 : ベースプレートの断面係数 (mm³)

T_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

L_4 : 柱とアンカーボルト間の長さ (m)

b. ベースプレートに生じるせん断応力度（引張側） τ_4

$$\tau_4 = S_{\max4} / (t_4 \cdot B_4 \cdot 10^3)$$

$$S_{\max4} = T_5 \cdot 10^3$$

τ_4 : ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max4}$: ベースプレート引張側の最大せん断力 (N)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

B_4 : 部材断面有効幅 (m)

T_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

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

① 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b4}^2 + 3\tau_4^2} \leq f_t$$

σ_{b4} : ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : ベースプレート引張側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)

c. ベースプレートに生じる曲げ応力度（押込側） $\sigma_{b4'}$

$$\sigma_{b4'} = (6 \cdot M_{\max4'}) / t_4^2$$

$$M_{\max4'} = M_{x4} \cdot W_4 \cdot L_{x4}^2$$

$\sigma_{b4'}$: ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max4'}$: ベースプレート押込側の最大曲げモーメント (N・mm/mm)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

M_{x4} : 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

W_4 : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

L_{x4} : ベースプレートの版の短辺長 (mm)

d. ベースプレートに生じるせん断応力度（押込側） $\tau_{4'}$

$$\tau_{4'} = S_{\max4'} / (t_4 \cdot B_4 \cdot 10^3)$$

$$S_{\max4'} = W_4 \cdot A_4$$

$\tau_{4'}$: ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max4'}$: ベースプレート押込側の最大せん断力 (N)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

B_4 : 部材断面有効幅 (m)

W_4 : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

A_4 : 押込側ベースプレートの断面積 (mm²)

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

① 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b4'}^2 + 3\tau_{4'}^2} \leq f_t$$

$\sigma_{b4'}$: ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$\tau_{4'}$: ベースプレート押込側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)

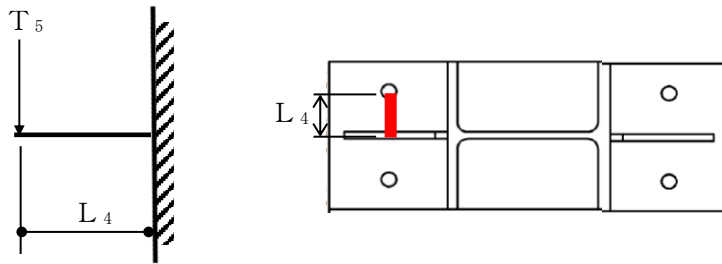


図 3-6 ベースプレートに作用する荷重の例

(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を「各種合成構造設計指針」に基づき算定し，アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 3-7 に示す。

$$(T_5 / T_a)^2 + (Q_5 / Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_5 = V_{\max 2} / N + M_{\max 2} \times x_i / \sum n \times x_i^2$$

$$T_5 / T_a \leq 1.0$$

$V_{\max 2}$: 柱の最大鉛直荷重 (kN)

N : 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 (本)

$M_{\max 2}$: 柱の最大曲げモーメント (kN・m)

x_i : 偏心距離 (m)

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

T_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_5 = S_{\max 2} / N$$

$$Q_5 / Q_a \leq 1.0$$

$S_{\max 2}$: 柱に生じる最大せん断力 (kN)

Q_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

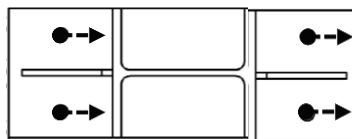


図 3-7 アンカーボルトに生じる荷重の例

3.2.6 評価条件

「3.2.5 評価方法」に用いる入力値を表 3-10 に示す。

表 3-10(1) 耐震評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	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	防護対策設備の自重	4.5
	w	kN/m ²	風圧力	1.71
鋼板	S_{s1}	kN	鋼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	8.1
	w_{ss1}	kN/m ²	鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重	4.41
	B_1	m	支柱間隔	1.5
	H_1	m	鋼板の高さ	2.0
	σ_{b1}	N/mm ²	鋼板に生じる曲げ応力度	14.81
	M_{max1}	kN・m	鋼板に生じる最大曲げモーメント	0.2
	Z_1	mm ³	鋼板の断面係数	1.35×10^4
	$B_{1'}$	m	鋼板の荷重載荷幅	1.0
	L_1	m	鋼板の部材長	0.6
	τ_1	N/mm ²	鋼板に生じるせん断応力度	0.15
	S_{max1}	kN	鋼板に生じる最大せん断力	1.32
	h_1	mm	鋼板のせん断負担幅	1000
	t_1	mm	鋼板の厚さ	9.0
柱	S_{s2}	kN	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	8.1
	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	4.05
	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	6.62
	W_2	kN	柱に作用する風荷重	5.14
	L_2	m	柱全長	2.0
	W_{ss2}	kN	柱に作用する水平方向の荷重	13.24
	σ_{b2}	N/mm ²	柱に生じる曲げ応力度	28.1

表 3-10(2) 耐震評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	数値
柱	$M_{\max 2}$	kN・m	柱の最大曲げモーメント	13.24
	Z_2	cm ³	柱の断面係数	472
	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	1.0
	σ_{c2}	N/mm ²	柱に生じる圧縮応力度	1.4
	$V_{\max 2}$	kN	柱の最大鉛直荷重	8.55
	A_2	cm ²	柱の断面積	63.5
	τ_2	N/mm ²	柱に生じるせん断応力度	9.41
	$S_{\max 2}$	kN	柱に生じる最大せん断力	13.24
	A_2'	cm ²	柱のせん断断面積	14.08
はり	S_{s3}	kN	はり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	8.1
	w_{ss3}	kN/m ²	はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重	4.41
	A	m ²	防護対策設備の面積	3.0
	σ_{b3}	N/mm ²	はりに生じる曲げ応力度	64.07
	$M_{\max 3}$	kN・m	はりの最大曲げモーメント	0.51
	Z_3	mm ³	はりの断面係数	7960
	B_3	m	はりの荷重載荷幅	0.55
	L_3	m	はりの部材長	1.3
	τ_3	N/mm ²	はりに生じるせん断応力度	0.32
	$S_{\max 3}$	kN	はりの最大せん断力	1.58
	h_3	mm	はりのせん断負担幅	550
t_3	mm	はりの厚さ	9	
ベースプレート	σ_{b4}	N/mm ²	ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度	86.76
	$M_{\max 4}$	kN・m	ベースプレート引張側の最大曲げモーメント	1.18
	Z_4	mm ³	ベースプレートの断面係数	1.36×10^4
	L_4	m	柱とアンカーボルト間の長さ	0.056
	τ_4	N/mm ²	ベースプレート引張側に生じるせん断応力度	6.45
	$S_{\max 4}$	N	ベースプレート引張側の最大せん断力	21130
	t_4	mm	ベースプレートの厚さ	25
B_4	m	部材断面有効幅	0.131	

表 3-10(3) 耐震評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	数値
ベースプレート	$\sigma_{b4'}$	N/mm ²	ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度	106.96
	$M_{max4'}$	N・ mm/mm	ベースプレート押込側の最大曲げモーメント	11142
	M_{x4}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.399
	W_4	N/mm ²	コンクリートの曲げ圧縮応力度	3.03
	L_{x4}	mm	ベースプレートの版の短辺長	96
	$\tau_{4'}$	N/mm ²	ベースプレート押込側に生じるせん断応力度	13.32
	$S_{max4'}$	N	ベースプレート押込側の最大せん断力	43632
	A_4	mm ²	押込側ベースプレートの断面積	14400
アンカーボルト	T_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	21.13
	T_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	41
	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
	$\sum n \times x_i^2$	m ²	2 次モーメントの合計値	0.122
	Q_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	3.31
	Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	34

4. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））

4.1 固有振動数及び設計用地震力

4.1.1 固有振動数の算出方法

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））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

当該防護対策設備は，鋼板，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，当該防護対策設備の鋼板を四辺固定の長方形板に，柱を片側固定-片側自由はりに，はりを両端ピン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，柱及びはりの全長とする。図 4-1 に解析モデル図を示す。

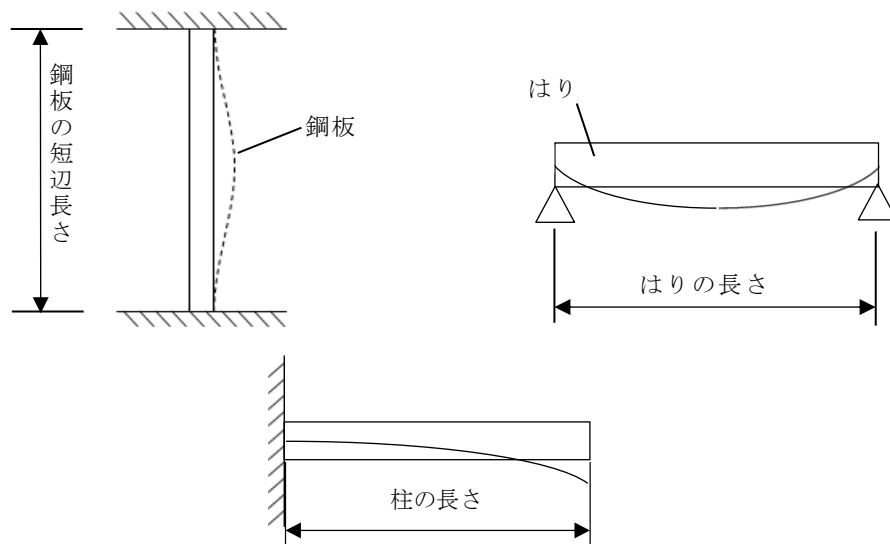


図 4-1 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防護対策設備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	防護対策設備の 1 次固有振動数
λ	—	定数
h	m	モデル化に用いる鋼板の厚さ
a	m	モデル化に用いる鋼板の短辺長さ
E	N/m ²	ヤング率
ν	—	ポアソン比
ρ	kg/m ³	材料の密度
L	m	モデル化に用いる架構の長さ
I	m 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」に基づき以下の式より算出する。

- a. 四辺固定の長方形板モデル（鋼板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda \pi h}{4a^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

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

- b. 片側固定-片側自由はりモデル（柱をモデル化）

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

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

c. 両端ピンはりモデル（はりをモデル化）

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

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

4.1.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2(1) 固有周期の計算条件（鋼板）

項目	記号	単位	数値
ヤング率	E	N/m ²	2.05×10 ¹¹
定数	λ	—	2.73
モデル化に用いる鋼板の長さ	a	m	1.5
モデル化に用いる鋼板の厚さ	h	m	0.009
ポアソン比	ν	—	0.3
材料の密度	ρ	kg/m ³	7.85×10 ³

表 4-2(2) 固有周期の計算条件（柱及びはり）

項目	記号	単位	数値	
			柱	はり
モデル化に用いる柱及びはりの長さ	L	m	2.0	1.5
ヤング率	E	N/m ²	2.05×10 ¹¹	2.05×10 ¹¹
定数	λ	—	1.8751	—
断面二次モーメント	I	m ⁴	4,720×10 ⁻⁸	36.8×10 ⁻⁸
質量分布	m	kg/m	219.75	80.56

4.1.3 固有振動数の算出結果

固有振動数の算出結果を表 4-3 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 4-3 固有振動数

名称	対象部位	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
取水槽海水ポンプエリア 防護対策設備 (区間-1 (南側))	鋼板	26.53	0.038
	柱	29.36	0.035
	はり	21.36	0.047

4.1.4 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護対策設備設置床の最大応答加速度から設計震度を設定する。

当該防護対策設備の設計震度を表 4-4 に示す。

表 4-4 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	海水ポンプエリア	1.8	0.9

4.2 耐震評価方法

当該防護対策設備の原子炉補機海水ポンプ，原子炉補機海水系配管等，取水槽水位計及び除じん系配管（ポンプ入口配管，ポンプ出口～取水槽海水ポンプエリア境界壁）に対する波及的影響の評価はVI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」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 構造の概要」に示す防護対策設備の構造を踏まえ，「4.2.2 評価対象部位」にて設定する評価部位において，「4.1 固有振動数及び設計用地震力」で算定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内に収まることを，「4.2.5 評価方法」に示す方法にて確認する。

4.2.1 記号の説明

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））の評価に用いる記号を表4-5に示す。

表4-5(1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
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	防護対策設備の自重
w	kN/m ²	風圧力
S_{s1}	kN	鋼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
w_{ss1}	kN/m ²	鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重
B_1	m	支柱間隔
H_1	m	鋼板の高さ
σ_{b1}	N/mm ²	鋼板に生じる曲げ応力度
M_{max1}	kN・m	鋼板に生じる最大曲げモーメント
Z_1	mm ³	鋼板の断面係数
$B_{1'}$	m	鋼板の荷重載荷幅
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	鋼板に生じる最大せん断力
h_1	mm	鋼板のせん断負担幅
t_1	mm	鋼板の厚さ
S_{s2}	kN	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

表 4-5(2) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））の
耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
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_2	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・m	柱の最大曲げモーメント
Z_2	cm 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_{c2}	N/mm ²	柱に生じる圧縮応力度
V_{max2}	kN	柱の最大鉛直荷重
A_2	cm ²	柱の断面積
τ_2	N/mm ²	柱に生じるせん断応力度
S_{max2}	kN	柱に生じる最大せん断力
A_2'	cm ²	柱のせん断断面積
S_{s3}	kN	はり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_{ss3}	kN/m ²	はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重
A	m ²	防護対策設備の面積
σ_{b3}	N/mm ²	はりに生じる曲げ応力度
M_{max3}	kN・m	はりの最大曲げモーメント
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	はりの最大せん断力
h_3	mm	はりのせん断負担幅
t_3	mm	はりの厚さ
σ_{b4}	N/mm ²	ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度
M_{max4}	kN・m	ベースプレート引張側の最大曲げモーメント
Z_4	mm ³	ベースプレートの断面係数
L_4	m	柱とアンカーボルト間の長さ

表 4-5(3) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-1（南側））の
耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
τ_4	N/mm ²	ベースプレート引張側に生じるせん断応力度
S_{max4}	N	ベースプレート引張側の最大せん断力
t_4	mm	ベースプレートの厚さ
B_4	m	部材断面有効幅
$\sigma_{b4'}$	N/mm ²	ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度
$M_{max4'}$	N・mm/mm	ベースプレート押込側の最大曲げモーメント
M_{x4}	—	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数
W_4	N/mm ²	コンクリートの曲げ圧縮応力度
L_{x4}	mm	ベースプレートの版の短辺長
$\tau_{4'}$	N/mm ²	ベースプレート押込側に生じるせん断応力度
$S_{max4'}$	N	ベースプレート押込側の最大せん断力
A_4	mm ²	押込側ベースプレートの断面積
T_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
T_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
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
$\sum n \times x_i^2$	m ²	2 次モーメントの合計値
Q_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力
f_t	N/mm ²	短期許容引張応力度
f_b	N/mm ²	短期許容曲げ応力度
f_c	N/mm ²	短期許容圧縮応力度

4.2.2 評価対象部位

当該防護対策設備の評価対象部位は「2.2 構造の概要」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震動により当該防護対策設備に生じる慣性力及び風荷重は鋼板、はり、柱及びベースプレートに伝わり、ベースプレート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、ベースプレート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。

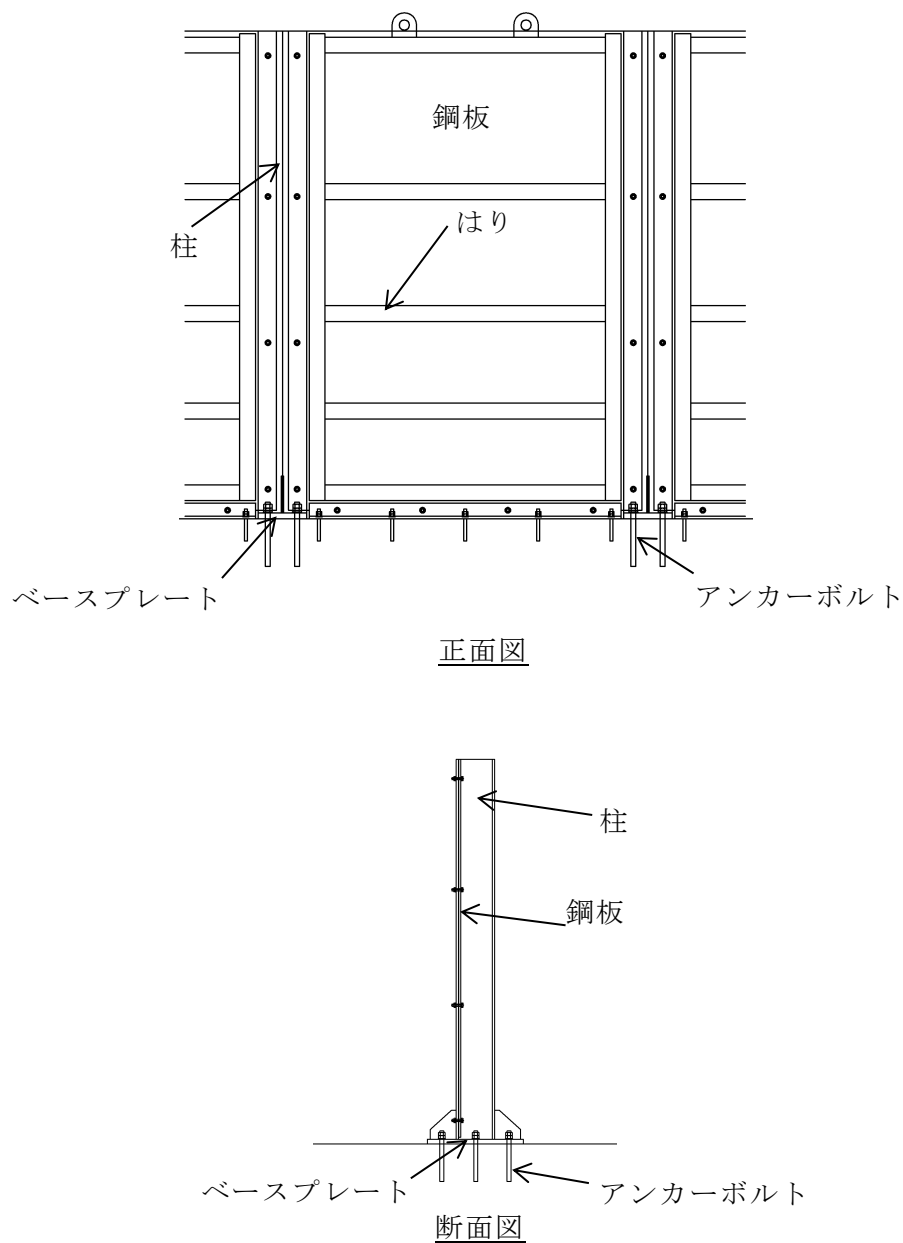


図 4-2 評価対象部位

4.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防護対策設備の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + W + S_s$$

G : 固定荷重 (kN)

W : 風荷重 (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護対策設備の自重を考慮する。自重は「4.2.6 評価条件」に示す。

b. 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当該部分の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 4-6 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 4-6 風圧力

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

c. 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。「4.1.4 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

4.2.4 許容限界

許容限界は，VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」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

当該防護対策設備を構成する鋼板，柱，はり，ベースプレート及びアンカーボルトの使用材料を表4-7に示す。

表4-7 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	
柱	SS400	
はり	SS400	
ベースプレート	SS400	
アンカーボルト	SUS304	

(2) 許容限界

a. 鋼板，柱，はり，ベースプレート

鋼板，柱，はり，ベースプレートの許容応力度は，「S規準」を踏まえて表4-8の値とする。

表4-8 鋼板，柱，はり，ベースプレートの短期許容応力度

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*：座屈による許容値の低減は不要。割増係数は1.5とした。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 4-9 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 4-9 アンカーボルトの基準強度

材質	許容耐力 (kN)	
	引張	せん断
SUS304 	63	8

4.2.5 評価方法

当該防護対策設備を構成する鋼板，柱，はり，ベースプレート及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

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

- a. 鋼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 S_{s1}

$$S_{s1} = G \cdot k_H$$

S_{s1} : 鋼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 : 防護対策設備の自重 (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当たりの水平方向の等分布荷重 w_{ss1}

$$w_{ss1} = S_{s1} / (B_1 \cdot H_1) + w$$

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

S_{s1} : 鋼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_1 : 支柱間隔 (m)

H_1 : 鋼板の高さ (m)

w : 風圧力 (kN/m²)

c. 鋼板に生じる曲げ応力度 σ_{b1}

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

$$M_{\max1} = w_{ss1} \cdot B_{1'} \cdot L_1^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max1}$: 鋼板に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (mm³)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

$B_{1'}$: 鋼板の荷重載荷幅 (m)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

d. 鋼板に生じるせん断応力度 τ_1

$$\tau_1 = (S_{\max1} \cdot 10^3) / (h_1 \cdot t_1)$$

$$S_{\max1} = w_{ss1} \cdot B_{1'} \cdot L_1 / 2$$

τ_1 : 鋼板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max1}$: 鋼板に生じる最大せん断力 (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面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

$B_{1'}$: 鋼板の荷重載荷幅 (m)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

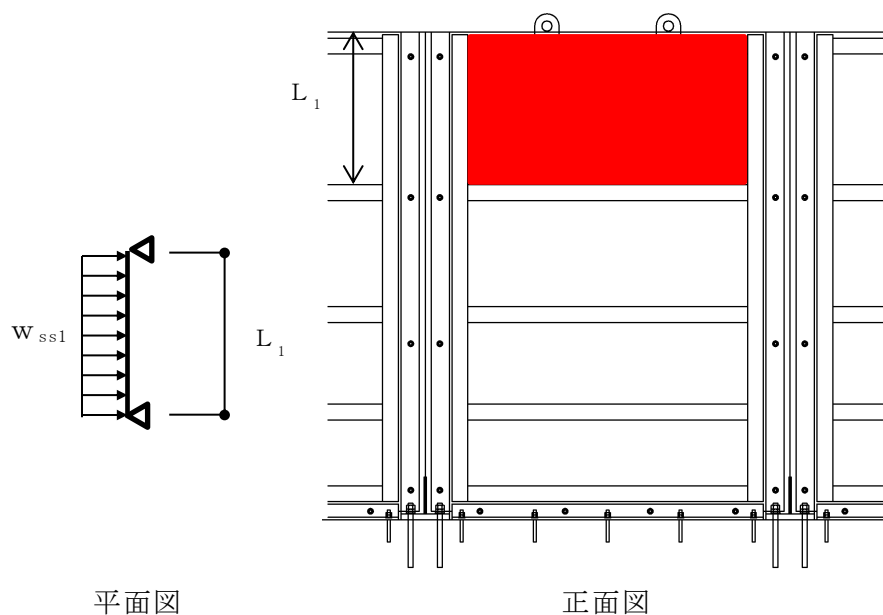


図 4-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 柱

柱に生じる応力は、床面を固定端とする片持ちはりとして次式により算出し、柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

柱に作用する荷重の例を図 4-4 に示す。

a. 柱に作用する基準地震動 S_s による地震荷重

$$S_{s2} = G \cdot k_H$$

$$V_2 = G \cdot k_v$$

S_{s2} : 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 : 防護対策設備の自重 (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当たりの等分布荷重 w_{ss2}

$$w_{ss2} = (S_{s2} + W_2) / L_2$$

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_{s2} : 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_2 : 柱に作用する風荷重 (kN)

L_2 : 柱全長 (m)

c. 柱に作用する水平方向の荷重 W_{ss2}

$$W_{ss2} = S_{s2} + W_2$$

W_{ss2} : 柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

S_{s2} : 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_2 : 柱に作用する風荷重 (kN)

d. 柱に生じる曲げ応力度 σ_{b2}

$$\sigma_{b2} = (M_{\max 2} \cdot 10^6) / (Z_2 \cdot 10^3)$$

$$M_{\max 2} = w_{ss2} \cdot L_2 \cdot L_{22}$$

σ_{b2} : 柱に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 2}$: 柱の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 柱の断面係数 (cm³)

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_2 : 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. 柱に生じる圧縮応力度 σ_{c2}

$$\sigma_{c2} = (V_{\max 2} \cdot 10^3) / (A_2 \cdot 10^2)$$

$$V_{\max 2} = V_2 + G$$

σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

$V_{\max 2}$: 柱の最大鉛直荷重 (kN)

A_2 : 柱の断面積 (cm²)

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)

G : 防護対策設備の自重 (kN)

f. 柱に生じるせん断応力度 τ_2

$$\tau_2 = (S_{\max 2} \cdot 10^3) / (A_2' \cdot 10^2)$$

$$S_{\max 2} = W_{ss2}$$

τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 2}$: 柱に生じる最大せん断力 (kN)

A_2' : 柱のせん断断面積 (cm²)

W_{ss2} : 柱に作用する水平方向の荷重 (kN)

柱に生じる曲げ応力度とせん断応力度及び圧縮応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，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)

② 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} \leq f_t$$

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)

③ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度（慣性力上向きの場合）

$$\sqrt{(\sigma_{b2} + \sigma_{c2})^2 + 3 \times \tau_2^2} \leq f_t$$

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)

④ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度（慣性力が下向きの場合）

$$\sqrt{(\sigma_{b2} - \sigma_c)^2 + 3 \times \tau_2^2} \leq f_t$$

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)

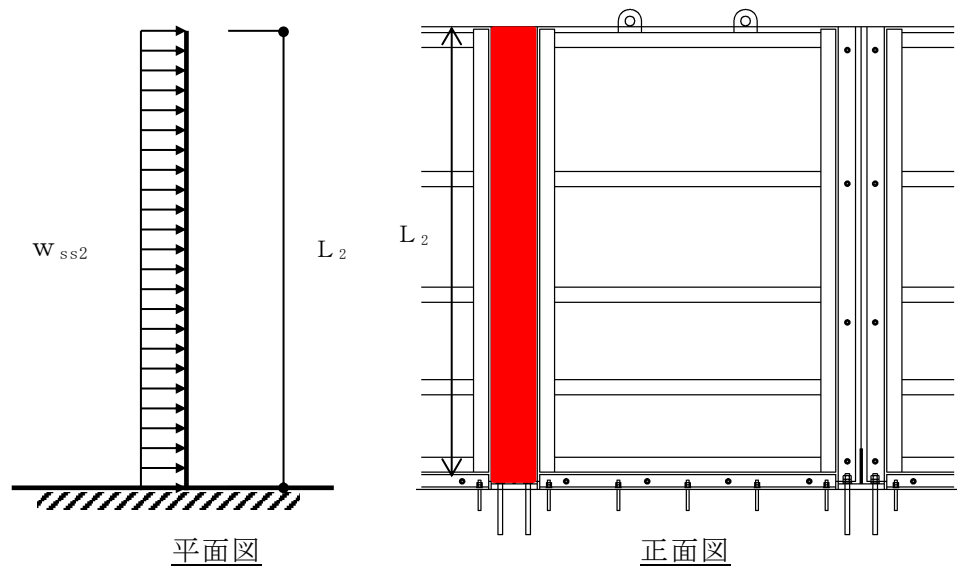


図 4-4 柱に作用する荷重の例

(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し、はりの短期許容応力度以下であることを確認する。はりに作用する荷重の例を図 4-5 に示す。

a. はり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_{s3}

$$S_{s3} = G \cdot k_H$$

S_{s3} : はり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 : 防護対策設備の自重 (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当たりの等分布荷重 w_{ss3}

$$w_{ss3} = S_{s3} / A + w$$

w_{ss3} : はりに作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m^2)

S_{s3} : はり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)

A : 防護対策設備の面積 (m^2)

w : 風圧力 (kN/m^2)

c. はりに生じる曲げ応力度 σ_{b3}

$$\sigma_{b3} = (M_{\max3} \cdot 10^6) / Z_3$$

$$M_{\max3} = w_{ss3} \cdot B_3 \cdot L_3^2 / 8$$

σ_{b3} : はりに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max3}$: はりの最大曲げモーメント (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当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 τ_3

$$\tau_3 = (S_{\max3} \cdot 10^3) / (h_3 \cdot t_3)$$

$$S_{\max3} = w_{ss3} \cdot B_3 \cdot L_3 / 2$$

τ_3 : はりに生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max3}$: はりの最大せん断力 (kN)

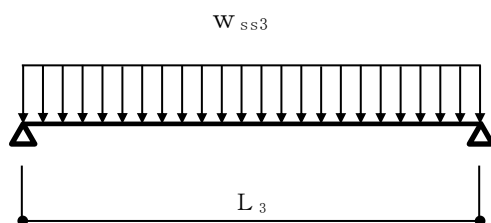
h_3 : はりのせん断負担幅 (mm)

t_3 : はりの厚さ (mm)

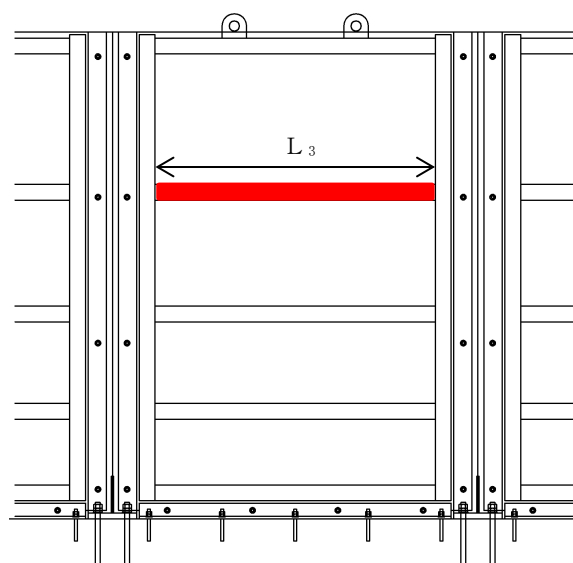
w_{ss3} : はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

B_3 : はりの荷重載荷幅 (m)

L_3 : はりの部材長 (m)



平面図



正面図

図 4-5 はりに作用する荷重の例

(4) ベースプレート

ベースプレートに生じる応力は、ベースプレートを片持ち梁として次式により算出し、ベースプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。ベースプレートに作用する荷重の例を図 4-6 に示す。

a. ベースプレートに生じる曲げ応力度（引張側） σ_{b4}

$$\sigma_{b4} = (M_{\max4} \cdot 10^6) / Z_4$$

$$M_{\max4} = T_5 \cdot L_4$$

σ_{b4} : ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max4}$: ベースプレート引張側の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_4 : ベースプレートの断面係数 (mm³)

T_5 : アンカーボルト 1 本当たりの引張力 (kN)

L_4 : 柱とアンカーボルト間の長さ (m)

b. ベースプレートに生じるせん断応力度（引張側） τ_4

$$\tau_4 = S_{\max4} / (t_4 \cdot B_4 \cdot 10^3)$$

$$S_{\max4} = T_5 \cdot 10^3$$

τ_4 : ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max4}$: ベースプレート引張側の最大せん断力 (N)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

B_4 : 部材断面有効幅 (m)

T_5 : アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力 (kN)

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

① 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b4}^2 + 3\tau_4^2} \leq f_t$$

σ_{b4} : ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : ベースプレート引張側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)

c. ベースプレートに生じる曲げ応力度（押込側） $\sigma_{b4'}$

$$\sigma_{b4'} = (6 \cdot M_{\max4'}) / t_4^2$$

$$M_{\max4'} = M_{x4} \cdot W_4 \cdot L_{x4}^2$$

$\sigma_{b4'}$: ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max4'}$: ベースプレート押込側の最大曲げモーメント (N・mm/mm)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

M_{x4} : 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

W_4 : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

L_{x4} : ベースプレートの版の短辺長 (mm)

d. ベースプレートに生じるせん断応力度（押込側） $\tau_{4'}$

$$\tau_{4'} = S_{\max4'} / (t_4 \cdot B_4 \cdot 10^3)$$

$$S_{\max4'} = W_4 \cdot A_4$$

$\tau_{4'}$: ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max4'}$: ベースプレート押込側の最大せん断力 (N)

t_4 : ベースプレートの厚さ (mm)

B_4 : 部材断面有効幅 (m)

W_4 : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

A_4 : 押込側ベースプレートの断面積 (mm²)

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

① 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b4'}^2 + 3\tau_{4'}^2} \leq f_t$$

$\sigma_{b4'}$: ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$\tau_{4'}$: ベースプレート押込側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)

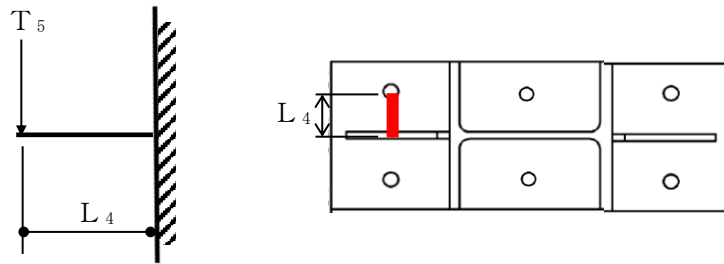


図 4-6 ベースプレートに作用する荷重の例

(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を「各種合成構造設計指針」に基づき算定し，アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図 4-7 に示す。

$$(T_5 / T_a)^2 + (Q_5 / Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_5 = V_{\max 2} / N + M_{\max 2} \times x_i / \sum n \times x_i^2$$

$$T_5 / T_a \leq 1.0$$

$V_{\max 2}$: 柱の最大鉛直荷重 (kN)

N : 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 (本)

$M_{\max 2}$: 柱の最大曲げモーメント (kN・m)

x_i : 偏心距離 (m)

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

T_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_5 = S_{\max 2} / N$$

$$Q_5 / Q_a \leq 1.0$$

$S_{\max 2}$: 柱に生じる最大せん断力 (kN)

Q_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

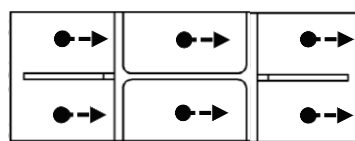


図 4-7 アンカーボルトに生じる荷重の例

4.2.6 評価条件

「4.2.5 評価方法」に用いる入力値を表4-10に示す。

表4-10(1) 耐震評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	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	防護対策設備の自重	4.5
	w	kN/m ²	風圧力	1.71
鋼板	S_{s1}	kN	鋼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	8.1
	w_{ss1}	kN/m ²	鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重	4.41
	B_1	m	支柱間隔	1.5
	H_1	m	鋼板の高さ	2.0
	σ_{b1}	N/mm ²	鋼板に生じる曲げ応力度	14.81
	M_{max1}	kN・m	鋼板に生じる最大曲げモーメント	0.2
	Z_1	mm ³	鋼板の断面係数	1.35×10^4
	$B_{1'}$	m	鋼板の荷重載荷幅	1.0
	L_1	m	鋼板の部材長	0.6
	τ_1	N/mm ²	鋼板に生じるせん断応力度	0.15
	S_{max1}	kN	鋼板に生じる最大せん断力	1.32
	h_1	mm	鋼板のせん断負担幅	1000
t_1	mm	鋼板の厚さ	9.0	
柱	S_{s2}	kN	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	8.1
	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	4.05
	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	6.62
	W_2	kN	柱に作用する風荷重	5.14
	L_2	m	柱全長	2.0
	W_{ss2}	kN	柱に作用する水平方向の荷重	13.24
	σ_{b2}	N/mm ²	柱に生じる曲げ応力度	28.1
	M_{max2}	kN・m	柱の最大曲げモーメント	13.24

表 4-10(2) 耐震評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	数値
柱	Z_2	cm ³	柱の断面係数	472
	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	1.0
	σ_{c2}	N/mm ²	柱に生じる圧縮応力度	1.4
	V_{max2}	kN	柱の最大鉛直荷重	8.55
	A_2	cm ²	柱の断面積	63.5
	τ_2	N/mm ²	柱に生じるせん断応力度	9.41
	S_{max2}	kN	柱に生じる最大せん断力	13.24
	$A_{2'}$	cm ²	柱のせん断断面積	14.08
はり	S_{s3}	kN	はり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	8.1
	w_{ss3}	kN/m ²	はりに作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重	4.41
	A	m ²	防護対策設備の面積	3.0
	σ_{b3}	N/mm ²	はりに生じる曲げ応力度	64.07
	M_{max3}	kN・m	はりの最大曲げモーメント	0.51
	Z_3	mm ³	はりの断面係数	7960
	B_3	m	はりの荷重載荷幅	0.55
	L_3	m	はりの部材長	1.3
	τ_3	N/mm ²	はりに生じるせん断応力度	0.32
	S_{max3}	kN	はりの最大せん断力	1.58
	h_3	mm	はりのせん断負担幅	550
	t_3	mm	はりの厚さ	9
ベースプレート	σ_{b4}	N/mm ²	ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度	85.59
	M_{max4}	kN・m	ベースプレート引張側の最大曲げモーメント	1.01
	Z_4	mm ³	ベースプレートの断面係数	1.18×10^4
	L_4	m	柱とアンカーボルト間の長さ	0.04
	τ_4	N/mm ²	ベースプレート引張側に生じるせん断応力度	10.00
	S_{max4}	N	ベースプレート引張側の最大せん断力	25190
	t_4	mm	ベースプレートの厚さ	28
	B_4	m	部材断面有効幅	0.09
$\sigma_{b4'}$	N/mm ²	ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度	92.68	

表 4-10(3) 耐震評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	数値
ベースプレート	$M_{\max 4'}$	N・ mm/mm	ベースプレート押込側の最大曲げモーメント	12110
	M_{x4}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.300
	W_4	N/mm ²	コンクリートの曲げ圧縮応力度	4.38
	L_{x4}	mm	ベースプレートの版の短辺長	96
	$\tau_{4'}$	N/mm ²	ベースプレート押込側に生じるせん断応力度	16.69
	$S_{\max 4'}$	N	ベースプレート押込側の最大せん断力	42048
	A_4	mm ²	押込側ベースプレートの断面積	9600
アンカーボルト	T_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	25.19
	T_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	63
	N	本	柱に取り付くアンカーボルトの総本数	6
	x_i	m	偏心距離	0.140
	$\Sigma n \times x_i^2$	m ²	2 次モーメントの合計値	0.078
	Q_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	2.21
	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

5. 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）

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

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）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

当該防護対策設備は、鋼板、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、当該防護対策設備の鋼板を四辺固定の長方形板に、柱を片側固定-片側自由はりに、はりを両端ピン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、柱及びはりの全長とする。図 5-1 に解析モデル図を示す。

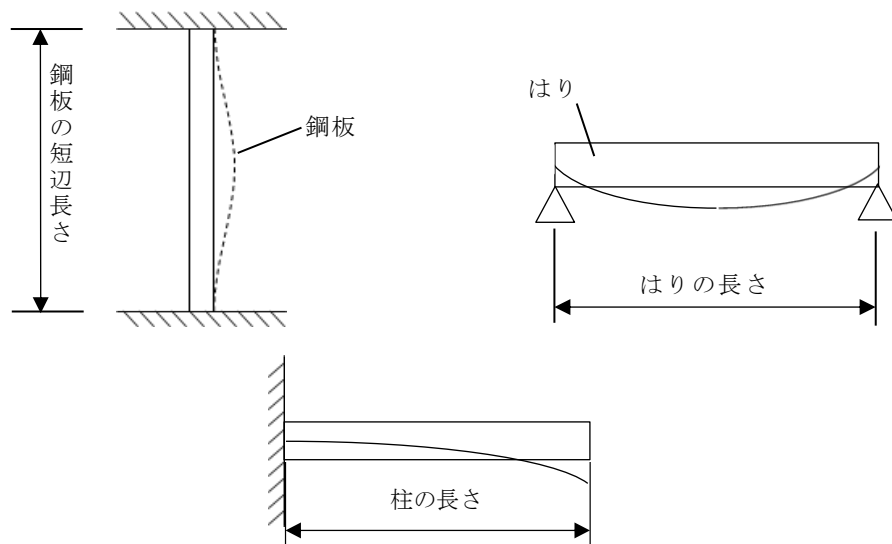


図 5-1 固有値解析モデル

(2) 記号の説明

当該防護対策設備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	防護対策設備の 1 次固有振動数
λ	—	定数
h	m	モデル化に用いる鋼板の厚さ
a	m	モデル化に用いる鋼板の短辺長さ
E	N/m ²	ヤング率
ν	—	ポアソン比
ρ	kg/m ³	材料の密度
L	mm	モデル化に用いる架構の長さ
I	m 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」に基づき以下の式より算出する。

- a. 四辺固定の長方形板モデル（鋼板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda \pi h}{4a^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

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

- b. 片側固定-片側自由はりモデル（柱をモデル化）

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

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

c. 両端ピンはりモデル（はりをモデル化）

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

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

5.1.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 5-2 に示す。

表 5-2(1) 固有周期の計算条件（鋼板）

項目	記号	単位	数値
ヤング率	E	N/m ²	2.05×10 ¹¹
定数	λ	—	2.73
モデル化に用いる鋼板の長さ	a	m	1.14
モデル化に用いる鋼板の厚さ	h	m	0.012
ポアソン比	ν	—	0.3
材料の密度	ρ	kg/m ³	7.85×10 ³

表 5-2(2) 固有周期の計算条件（柱及びはり）

項目	記号	単位	数値	
			柱	はり
モデル化に用いる柱及びはりの長さ	L	m	2.0	0.79
ヤング率	E	N/m ²	2.05×10 ¹¹	2.05×10 ¹¹
定数	λ	—	1.8751	—
断面二次モーメント	I	m ⁴	39,800×10 ⁻⁸	29.4×10 ⁻⁸
質量分布	m	kg/m	915.09	425.43

5.1.3 固有振動数の算出結果

固有振動数の算出結果を表 5-3 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 5-3 固有振動数

扉名称	対象部位	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
取水槽海水ポンプエリア 防護対策設備 (区間-2)	鋼板	61.23	0.017
	柱	41.77	0.024
	はり	29.96	0.034

5.1.4 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護対策設備設置床の最大応答加速度から設計震度を設定する。

当該防護対策設備の設計震度を表 5-4 に示す。

表 5-4 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	海水ポンプエリア	1.8	0.9

5.2 耐震評価方法

当該防護対策設備の原子炉補機海水ポンプ，原子炉補機海水系配管等，取水槽水位計及び除じん系配管（ポンプ入口配管，ポンプ出口～取水槽海水ポンプエリア境界壁）に対する波及的影響の評価はVI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」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 構造の概要」に示す防護対策設備の構造を踏まえ，「5.2.2 評価対象部位」にて設定する評価部位において，「5.1 固有振動数及び設計用地震力」で算定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内に収まることを，「5.2.5 評価方法」に示す方法にて確認する。

5.2.1 記号の説明

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）の評価に用いる記号を表5-5に示す。

表5-5(1) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
G_1	kN/m^2	鋼板の単位面積当りの自重
S_{s1}	kN/m^2	鋼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
w_{ss1}	kN/m^2	鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重
σ_{b1}	N/mm^2	鋼板に生じる曲げ応力度
$M_{\max1}$	$\text{kN} \cdot \text{m}$	鋼板に生じる最大曲げモーメント
Z_1	cm^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	鋼板に生じる最大せん断力
A_1	m^2	鋼板の断面積
σ_{b2}	N/mm^2	柱に生じる最大曲げ応力度
$M_{\max2}$	$\text{kN} \cdot \text{m}$	柱の最大曲げモーメント
Z_2	cm^3	柱の断面係数
σ_{c2}	N/mm^2	柱に生じる圧縮応力度
$V_{\max2}$	kN	柱の最大鉛直荷重
A_2	cm^2	柱の断面積

表 5-5(2) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）の
耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
τ_2	N/mm ²	柱に生じるせん断応力度
S_{max2}	kN	柱に生じる最大せん断力
A_2'	cm ²	柱のせん断断面積
S_{s3}	kN/m	はり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
h_3	m	はりの荷重分担高さ
G_3	kN/m	はりの自重
w_{ss3}	kN/m	はりに作用する単位長さ当りの水平方向の等分布荷重
σ_{b3}	N/mm ²	はりに生じる曲げ応力度
M_{max3}	kN・m	はりの最大曲げモーメント
Z_3	cm ³	はりの断面係数
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	はりの最大せん断力
A_3	cm ²	はりの断面積
S_{s4}	kN	架構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_4	kN	架構の固定荷重
σ_4	N/mm ²	架構に生じる曲げ応力度
M_{max4}	N・m	架構の最大曲げモーメント
Z_4	mm ³	架構の断面係数
L_4	mm	架構の支持スパン
σ_{b5}	N/mm ²	ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度
M_{max5}	kN・m	ベースプレート引張側の最大曲げモーメント
Z_5	mm ³	ベースプレートの断面係数
L_5	m	柱とアンカーボルト間の長さ
τ_5	N/mm ²	ベースプレート引張側に生じるせん断応力度
S_{max5}	N	ベースプレート引張側の最大せん断力
t_5	mm	ベースプレートの厚さ
B_5	m	部材断面有効幅
$\sigma_{b5'}$	N/mm ²	ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度
$M_{max5'}$	N・mm/mm	ベースプレート押込側の最大曲げモーメント
M_{x5}	—	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

表 5-5(3) 取水槽海水ポンプエリア防護対策設備（区間-2）の
耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
W_5	N/mm^2	コンクリートの曲げ圧縮応力度
L_{x5}	mm	ベースプレートの版の短辺長
$\tau_{5'}$	N/mm^2	ベースプレート押込側に生じるせん断応力度
$S_{max5'}$	N/mm	ベースプレート押込側の最大せん断力
$M_{x5'}$	—	等分布荷重によるせん断応力算定用の係数
V_{max6}	kN	柱に発生する最大鉛直荷重
N	本	柱に取り付くアンカーボルトの総本数
M_{max6}	$kN \cdot m$	柱に発生する最大曲げモーメント
L_6	m	アンカーボルト距離
n_6	本	アンカーボルトの本数
T_6	kN	アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力
Q_6	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 1 本当たりの短期許容引張力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力
f_t	N/mm^2	短期許容引張応力度
f_b	N/mm^2	短期許容曲げ応力度
f_c	N/mm^2	短期許容圧縮応力度

5.2.2 評価対象部位

当該防護対策設備の評価対象部位は「2.2 構造の概要」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護対策設備に生じる慣性力及び風荷重は鋼板、柱、はり、架構及びベースプレートに伝わり、ベースプレートを固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、評価対象部位を鋼板、はり、柱、架構、ベースプレート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。

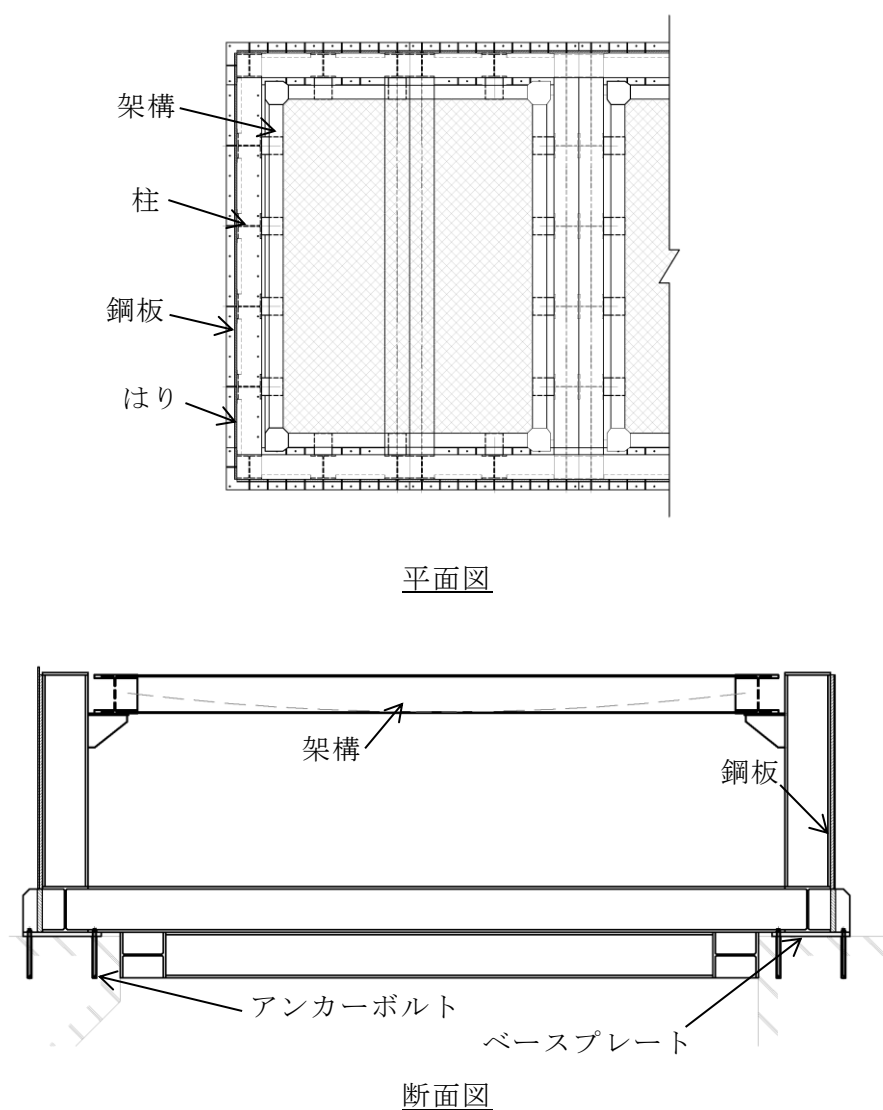


図 5-2 評価対象部位

5.2.3 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

当該防護対策設備の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + W + S_s + F$$

G : 固定荷重 (kN)

W : 風荷重 (kN)

S_s : 地震荷重 (kN)

F : 積雪荷重 (kN)

(取水槽海水ポンプエリア (区間-2) については、柱上部のブラケット部をモデル化し、竜巻防護ネット上の積雪荷重を考慮する。)

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として当該防護対策設備の自重を考慮する。自重は「5.2.6 評価条件」に示す。

b. 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当該部分の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 5-6 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 5-6 風圧力

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

c. 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。「5.1.4 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

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。

d. 積雪荷重 (F)

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って考慮することとし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、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。

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

当該防護対策設備を構成する鋼板，柱，はり，架構，ベースプレート及びアンカーボルトの使用材料を表 5-7 に示す。

表 5-7 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	
柱	SS400	
はり	SS400	
架構	SS400	
ベースプレート	SS400	
アンカーボルト	SD295	

(2) 許容限界

a. 鋼板，柱，はり，架構，ベースプレート

鋼板，柱，はり，架構，ベースプレートの許容応力度は，「S 規準」を踏まえて表 5-8 の値とする。

表 5-8 鋼板，柱，はり，架構，ベースプレーの短期許容応力度

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*：座屈による許容値の低減は不要。割増係数は 1.5 とした。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容荷重は「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえて表 5-9 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 5-9 アンカーボルトの基準強度

材質	許容耐力 (kN)	
	引張	せん断
SD295 	82	29

5.2.5 評価方法

当該防護対策設備を構成する鋼板，はり，柱，架構，ベースプレート及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 鋼板

鋼板に生じる応力は，鋼板を単純支持のはりとして次式により算出し，鋼板の短期許容応力度以下であることを確認する。鋼板に作用する荷重の例を図 5-3 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_{s1}

$$S_{s1} = G_1 \cdot k_H$$

S_{s1} : 鋼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/m²)

G_1 : 鋼板の単位面積当りの自重 (kN/m²)

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面積当たりの水平方向の等分布荷重 w_{ss1}

$$w_{ss1} = S_{s1} + w$$

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

S_{s1} : 鋼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/m²)

w : 風圧力 (kN/m²)

c. 鋼板に生じる曲げ応力度 σ_{b1}

$$\sigma_{b1} = (M_{\max 1} \cdot 10^6) / (Z_1 \cdot 10^3)$$

$$M_{\max 1} = w_{ss1} \cdot L_1^2 / 8$$

σ_{b1} : 鋼板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 1}$: 鋼板に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : 鋼板の断面係数 (cm³)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

d. 鋼板に生じるせん断応力度 τ_1

$$\tau_1 = (S_{\max 1} \cdot 10^3) / (A_1 \cdot 10^6)$$

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

τ_1 : 鋼板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 1}$: 鋼板の最大せん断力 (kN)

A_1 : 鋼板の断面積 (m²)

w_{ss1} : 鋼板に作用する単位面積当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

L_1 : 鋼板の部材長 (m)

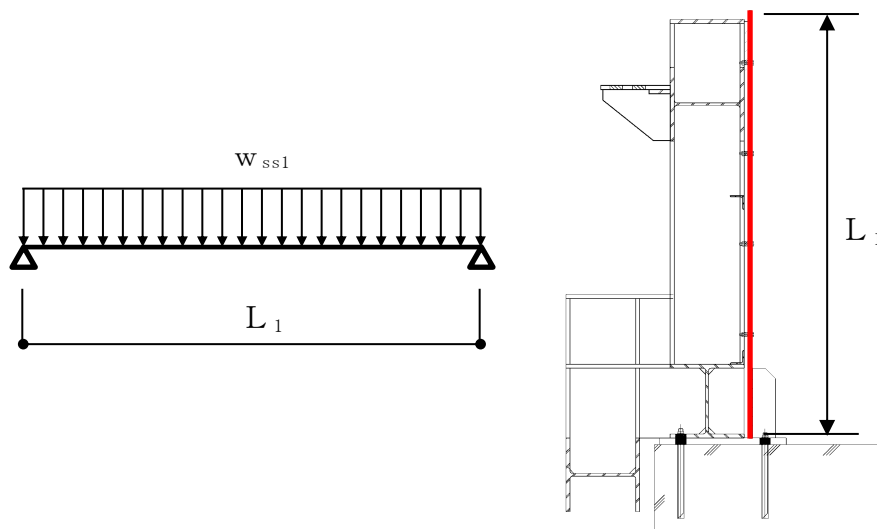


図 5-3 鋼板に作用する荷重の例

(2) 柱

柱に生じる応力は、フレーム解析 (FRAME (面内)) により算出し、柱の短期許容応力度以下であることを確認する。

柱に作用する荷重の例を図 5-4 に示す。

a. 柱に生じる曲げ応力度 σ_{b2}

$$\sigma_{b2} = (M_{\max 2} \cdot 10^6) / (Z_2 \cdot 10^3)$$

σ_{b2} : 柱に生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 2}$: 柱の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : 柱の断面係数 (cm³)

b. 柱に生じる圧縮応力度 σ_{c2}

$$\sigma_{c2} = (V_{\max 2} \cdot 10^3) / (A_2 \cdot 10^2)$$

σ_{c2} : 柱に生じる圧縮応力度 (N/mm²)

$V_{\max 2}$: 柱の最大鉛直荷重 (kN)

A_2 : 柱の断面積 (cm²)

c. 柱に生じるせん断応力度 τ_2

$$\tau_2 = (S_{\max 2} \cdot 10^3) / (A_{2'} \cdot 10^2)$$

τ_2 : 柱に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 2}$: 柱に生じる最大せん断力 (kN)

$A_{2'}$: 柱のせん断断面積 (cm²)

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

① 曲げ応力度と圧縮応力度

$$\sigma_{b2}/fb + \sigma_{c2}/fc \leq 1$$

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)

② 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3\tau_2^2} \leq ft$$

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)

③ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度（慣性力上向きの場合）

$$\sqrt{(\sigma_{b2} + \sigma_{c2})^2 + 3 \times \tau_2^2} \leq f_t$$

- 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)

④ 曲げ応力度，圧縮応力度，せん断応力度（慣性力が下向きの場合）

$$\sqrt{(\sigma_{b2} - \sigma_c)^2 + 3 \times \tau_2^2} \leq f_t$$

- 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)

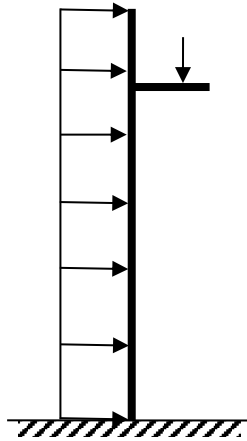


図 5-4 柱に作用する荷重の例

(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し，はりの短期許容応力度以下であることを確認する。はりに作用する荷重の例を図 5-5 に示す。

- a. はり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_{s3}

$$S_{s3} = (G_1 \cdot h_3 + G_3) \cdot k_H$$

S_{s3} : はり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/m)

G_1 : 鋼板の単位面積当りの自重 (kN/m²)

h_3 : はりの荷重分担高さ (m)

G_3 : はりの自重 (kN/m)

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当たりの等分布荷重 w_{ss3}

$$w_{ss3} = S_{s3} + w \cdot h_3$$

w_{ss3} : はりに作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

S_{s3} : はり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/m)

w : 風圧力 (kN/m²)

h_3 : はりの荷重分担高さ (m)

- c. はりに生じる曲げ応力度 σ_{b3}

$$\sigma_{b3} = (M_{\max3} \cdot 10^6) / (Z_3 \cdot 10^3)$$

$$M_{\max3} = w_{ss3} \cdot L_3^2 / 8$$

σ_{b3} : はりに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max3}$: はりの最大曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : はりの断面係数 (cm³)

w_{ss3} : はりに作用する単位長さ当たりの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_3 : はりの部材長 (m)

d. はりに生じるせん断応力度 τ_3

$$\tau_3 = (S_{\max 3} \cdot 10^3) / (A_3 \cdot 10^2)$$

$$S_{\max 3} = w_{ss3} \cdot L_3 / 2$$

τ_3 : はりに生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 3}$: はりの最大せん断力 (kN)

A_3 : はりの断面積 (cm²)

w_{ss3} : はりに作用する単位長さ当りの水平方向の等分布荷重 (kN/m²)

L_3 : はりの部材長 (m)

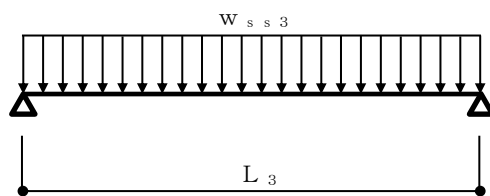


図 5-5 はりに作用する荷重の例

(4) 架構

架構に生じる応力は、架構を単純支持のはりとして次式により算出し、架構の短期許容応力度以下であることを確認する。架構に作用する荷重の例を図 5-6 に示す。

a. 架構に作用する基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 S_{s4}

$$S_{s4} = G_4 \cdot k_H$$

S_{s4} : 架構に作用する基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

G_4 : 架構の固定荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

b. 架構に生じる曲げ応力度 σ_4

$$\sigma_4 = (M_{\max 4} \cdot 10^{-3}) / Z_4$$

$$M_{\max 4} = (S_{s4} \cdot L_4 \cdot 10^{-3}) / 4$$

σ_4 : 架構に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 4}$: 架構の最大曲げモーメント (kN・m)

Z_4 : 架構の断面係数 (mm³)

S_{s4} : 架構に作用する基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

L_4 : 架構の支持スパン (mm)

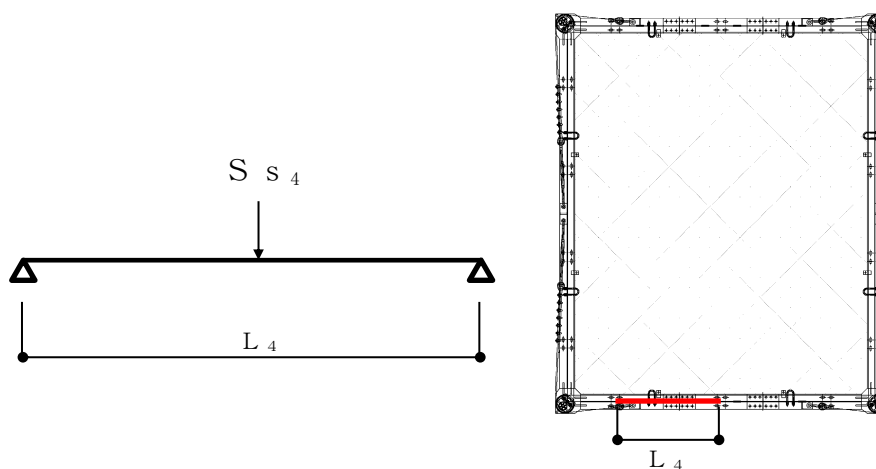


図 5-6 架構に作用する荷重の例

(5) ベースプレート

ベースプレートに生じる応力は、ベースプレートを片持ち梁として次式により算出し、ベースプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。ベースプレートに作用する荷重の例を図 5-7 に示す。

a. ベースプレートに生じる曲げ応力度 (引張側) σ_{b5}

$$\sigma_{b5} = (M_{\max 5} \cdot 10^3) / Z_5$$

$$M_{\max 5} = T_6 \cdot L_5 \cdot 10^3$$

σ_{b5} : ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 5}$: ベースプレート引張側の最大曲げモーメント (N・m)

Z_5 : ベースプレートの断面係数 (mm³)

T_6 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

L_5 : 柱とアンカーボルト間の長さ (m)

b. ベースプレートに生じるせん断応力度（引張側） τ_5

$$\tau_5 = S_{\max 5} / (t_5 \cdot B_5 \cdot 10^3)$$

$$S_{\max 5} = T_6 \cdot 10^3$$

τ_5 : ベースプレート引張側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 5}$: ベースプレート引張側の最大せん断力 (N)

t_5 : ベースプレートの厚さ (mm)

B_5 : 部材断面有効幅 (m)

T_6 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

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

① 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b5}^2 + 3\tau_5^2} \leq f_t$$

σ_{b5} : ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_5 : ベースプレート引張側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)

c. ベースプレートに生じる曲げ応力度（押込側） $\sigma_{b5'}$

$$\sigma_{b5'} = (6 \cdot M_{\max 5'}) / t_5^2$$

$$M_{\max 5'} = M_{x5} \cdot W_5 \cdot L_{x5}^2$$

$\sigma_{b5'}$: ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$M_{\max 5'}$: ベースプレート押込側の最大曲げモーメント (N・mm/mm)

t_5 : ベースプレートの厚さ (mm)

M_{x5} : 等分布荷重による曲げ応力算定用の係数

W_5 : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

L_{x5} : ベースプレートの版の短辺長 (mm)

d. ベースプレートに生じるせん断応力度（押込側） $\tau_{5'}$

$$\tau_{5'} = S_{\max 5'} / t_5$$

$$S_{\max 5'} = M_{x 5'} \cdot W_5 \cdot L_{x 5}$$

$\tau_{5'}$: ベースプレート押込側に生じるせん断応力度 (N/mm²)

$S_{\max 5'}$: ベースプレート押込側の最大せん断力 (N/mm)

t_5 : ベースプレートの厚さ (mm)

$M_{x 5'}$: 等分布荷重によるせん断応力算定用の係数

W_5 : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

$L_{x 5}$: ベースプレートの版の短辺長 (mm)

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

① 曲げ応力度とせん断応力度

$$\sqrt{\sigma_{b5'}^2 + 3\tau_{5'}^2} \leq f_t$$

$\sigma_{b5'}$: ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

$\tau_{5'}$: ベースプレート押込側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)

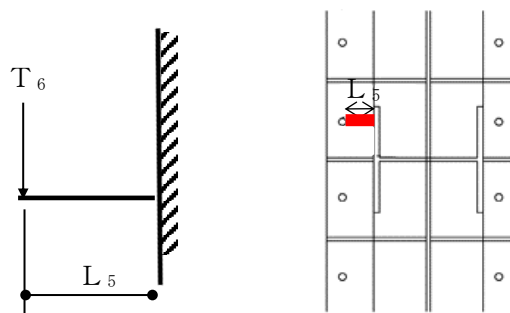


図 5-7 ベースプレートに作用する荷重の例

(6) 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」に基づき算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 5-8 に示す。

$$(T_6 / T_a)^2 + (Q_6 / Q_a)^2 \leq 1$$

$$T_6 = V_{\max 6} / N - M_{\max 6} / (L_6 \cdot n_6)$$

$$T_6 / T_a \leq 1.0$$

$V_{\max 6}$: 柱に発生する最大鉛直荷重 (kN)

N : 柱に取り付くアンカーボルトの総本数 (本)

$M_{\max 6}$: 柱に発生する最大曲げモーメント (kN・m)

L_6 : アンカーボルト距離 (m)

n_6 : アンカーボルトの本数 (本)

T_6 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_6 = S_{\max 2} / N$$

$$Q_6 / Q_a \leq 1.0$$

$S_{\max 2}$: 柱に発生する最大せん断力 (kN)

Q_6 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

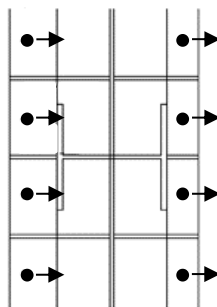


図 5-8 アンカーボルトに生じる荷重の例

5.2.6 評価条件

「5.2.5 評価方法」に用いる入力値を表5-10に示す。

表5-10(1) 耐震評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	数値
共通	k_H	—	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度	1.8
鋼板	G_1	kN/m^2	鋼板の単位面積当りの自重	2.772
	S_{s1}	kN/m^2	鋼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	4.99
	w_{ss1}	kN/m^2	鋼板に作用する単位面積当りの水平方向の等分布荷重	6.7
	σ_{b1}	N/mm^2	鋼板に生じる曲げ応力度	11.4
	M_{max1}	$kN \cdot m$	鋼板に生じる最大曲げモーメント	1.09
	Z_1	cm^3	鋼板の断面係数	96
	L_1	m	鋼板の部材長	1.14
	τ_1	N/mm^2	鋼板に生じるせん断応力度	0.16
	S_{max1}	kN	鋼板に生じる最大せん断力	3.82
	A_1	m^2	鋼板の断面積	0.024
柱	σ_{b2}	N/mm^2	柱に生じる最大曲げ応力度	24.0
	M_{max2}	$kN \cdot m$	柱の最大曲げモーメント	54.71
	Z_2	cm^3	柱の断面係数	2280
	σ_{c2}	N/mm^2	柱に生じる圧縮応力度	2.2
	V_{max2}	kN	柱の最大鉛直荷重	37.77
	A_2	cm^2	柱の断面積	171.9
	τ_2	N/mm^2	柱に生じるせん断応力度	10.52
	S_{max2}	kN	柱に生じる最大せん断力	39.38
$A_{2'}$	cm^2	柱のせん断断面積	37.44	
はり	S_{s3}	kN/m	はり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	2.74
	h_3	m	はりの荷重分担高さ	0.53
	G_3	kN/m	はりの自重	5.80×10^{-2}
	w_{ss3}	kN/m	はりに作用する単位長さ当りの水平方向の等分布荷重	3.65
	σ_{b3}	N/mm^2	はりに生じる曲げ応力度	44.7
	M_{max3}	$kN \cdot m$	はりの最大曲げモーメント	0.28

表 5-10(2) 耐震評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	数値
はり	Z_3	cm^3	はりの断面係数	6.26
	L_3	m	はりの部材長	0.79
	τ_3	N/mm^2	はりに生じるせん断応力度	4.1
	$S_{\max 3}$	kN	はりの最大せん断力	1.44
	A_3	cm^2	はりの断面積	3.54
架構	S_{s4}	kN	架構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	3.76
	G_4	kN	架構の固定荷重	2.089
	σ_4	N/mm^2	架構に生じる曲げ応力度	8.19
	$M_{\max 4}$	$\text{kN} \cdot \text{m}$	架構の最大曲げモーメント	1.31
	Z_4	mm^3	架構の断面係数	1.60×10^5
	L_4	mm	架構の支持スパン	1390
ベースプレート	σ_{b5}	N/mm^2	ベースプレート引張側に生じる曲げ応力度	147.8
	$M_{\max 5}$	$\text{N} \cdot \text{m}$	ベースプレート引張側の最大曲げモーメント	2527
	Z_5	mm^3	ベースプレートの断面係数	17.1×10^3
	L_5	m	柱とアンカーボルト間の長さ	0.05
	τ_5	N/mm^2	ベースプレート引張側に生じるせん断応力度	15.8
	$S_{\max 5}$	N	ベースプレート引張側の最大せん断力	50540
	t_5	mm	ベースプレートの厚さ	32
	B_5	m	部材断面有効幅	0.1
	$\sigma_{b5'}$	N/mm^2	ベースプレート押込側に生じる曲げ応力度	91.5
	$M_{\max 5'}$	$\text{N} \cdot \text{mm}/\text{mm}$	ベースプレート押込側の最大曲げモーメント	15624
	M_{x5}	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数	0.217
	W_5	N/mm^2	コンクリートの曲げ圧縮応力度	3.20
	L_{x5}	mm	ベースプレートの版の短辺長	150
$\tau_{5'}$	N/mm^2	ベースプレート押込側に生じるせん断応力度	10.9	

表 5-10(3) 耐震評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	数値
ベースプレート	$S_{max5'}$	N/mm	ベースプレート押込側の最大せん断力	350
	$M_{x5'}$	—	等分布荷重によるせん断応力算定用の係数	0.73
アンカーボルト	T_6	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	50.54
	T_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力	82
	V_{max6}	kN	柱に発生する最大鉛直荷重	1.98
	N	本	柱に取り付くアンカーボルトの総本数	5
	M_{max6}	kN・m	柱に発生する最大曲げモーメント	50.94
	L_6	m	アンカーボルト距離	0.5
	n_6	本	アンカーボルトの本数	2
	Q_6	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	7.88
	Q_a	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力	29

6. 評価結果

取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の耐震評価結果を表6-1～表6-3に示す。当該防護対策設備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、当該防護対策設備が構造健全性を有することを確認した。

表6-1 耐震計算結果

(取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 (区間-1 (東側), (西側)))

評価部材		発生応力度 又は荷重	許容限界値	発生応力度 / 許容限界値	
鋼板	SS400	曲げ	15 N/mm ²	235 N/mm ²	0.07
		せん断	1 N/mm ²	135 N/mm ²	0.01
柱	SS400	曲げ	29 N/mm ²	235 N/mm ²	0.13
		圧縮	2 N/mm ²	235 N/mm ²	0.01
		せん断	10 N/mm ²	135 N/mm ²	0.08
		組合せ (曲げ+圧縮)	-	-	0.13
		組合せ (曲げ+せん断)	33 N/mm ²	235 N/mm ²	0.15
		組合せ (曲げ+せん断+ 圧縮) (上向き)	34 N/mm ²	235 N/mm ²	0.15
		組合せ (曲げ+せん断+ 圧縮) (下向き)	33 N/mm ²	235 N/mm ²	0.15
はり	SS400	曲げ	65 N/mm ²	235 N/mm ²	0.28
		せん断	1 N/mm ²	135 N/mm ²	0.01
ベースプレート	SS400	曲げ (引張側)	87 N/mm ²	235 N/mm ²	0.38
		せん断 (引張側)	7 N/mm ²	135 N/mm ²	0.06
		組合せ (曲げ+せん断) (引張側)	88 N/mm ²	235 N/mm ²	0.38
		曲げ (押込側)	107 N/mm ²	235 N/mm ²	0.46
		せん断 (押込側)	14 N/mm ²	135 N/mm ²	0.11
		組合せ (曲げ+せん断) (押込側)	110 N/mm ²	235 N/mm ²	0.47
アンカー ボルト	SUS304	せん断	4 kN	34 kN	0.12
		引張	22 kN	41 kN	0.54
		組合せ (せん断+引張)	-	-	0.28

表 6-2 耐震計算結果

(取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 (区間-1 (南側)))

評価部材		発生応力度 又は荷重		許容限界値		発生応力度 / 許容限界値	
鋼板	SS400	曲げ	15	N/mm ²	235	N/mm ²	0.07
		せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
柱	SS400	曲げ	29	N/mm ²	235	N/mm ²	0.13
		圧縮	2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01
		せん断	10	N/mm ²	135	N/mm ²	0.08
		組合せ (曲げ+圧縮)	-	-	-	-	0.13
		組合せ (曲げ+せん断)	33	N/mm ²	235	N/mm ²	0.15
		組合せ (曲げ+せん断+ 圧縮) (上向き)	34	N/mm ²	235	N/mm ²	0.15
		組合せ (曲げ+せん断+ 圧縮) (下向き)	33	N/mm ²	235	N/mm ²	0.15
はり	SS400	曲げ	65	N/mm ²	235	N/mm ²	0.28
		せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
ベースプレート	SS400	曲げ (引張側)	86	N/mm ²	235	N/mm ²	0.37
		せん断 (引張側)	10	N/mm ²	135	N/mm ²	0.08
		組合せ (曲げ+せん断) (引張側)	88	N/mm ²	235	N/mm ²	0.38
		曲げ (押込側)	93	N/mm ²	235	N/mm ²	0.40
		せん断 (押込側)	17	N/mm ²	135	N/mm ²	0.13
		組合せ (曲げ+せん断) (押込側)	98	N/mm ²	235	N/mm ²	0.42
アンカー ボルト	SUS304	せん断	3	kN	8	kN	0.38
		引張	26	kN	63	kN	0.42
		組合せ (せん断+引張)	-	-	-	-	0.24

表 6-3 耐震計算結果

(取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 (区間-2))

評価部材		発生応力度 又は荷重		許容限界値		発生応力度 / 許容限界値	
鋼板	SS400	曲げ	12	N/mm ²	235	N/mm ²	0.06
		せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
柱	SS400	曲げ	24	N/mm ²	235	N/mm ²	0.11
		圧縮	3	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
		せん断	11	N/mm ²	135	N/mm ²	0.09
		組合せ (曲げ+圧縮)	-	-	-	-	0.12
		組合せ (曲げ+せん断)	31	N/mm ²	235	N/mm ²	0.14
		組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) (上向き)	32	N/mm ²	235	N/mm ²	0.14
		組合せ (曲げ+せん断+ 軸力) (下向き)	29	N/mm ²	235	N/mm ²	0.13
はり	SS400	曲げ	45	N/mm ²	235	N/mm ²	0.20
		せん断	5	N/mm ²	135	N/mm ²	0.04
架構	SS400	曲げ	9	N/mm ²	235	N/mm ²	0.04
ベースブ レート	SS400	曲げ (引張側)	148	N/mm ²	235	N/mm ²	0.63
		せん断 (引張側)	16	N/mm ²	135	N/mm ²	0.12
		組合せ (曲げ+せん断) (引張側)	151	N/mm ²	235	N/mm ²	0.65
		曲げ (押込側)	92	N/mm ²	235	N/mm ²	0.40
		せん断 (押込側)	11	N/mm ²	135	N/mm ²	0.09
		組合せ (曲げ+せん断) (押込側)	94	N/mm ²	235	N/mm ²	0.40
アンカー ボルト	SD295	せん断	8	kN	29	kN	0.28
		引張	51	kN	82	kN	0.63
		組合せ (せん断+引張)	-	-	-	-	0.48