

## (2) 鋼管杭

鋼管杭の断面照査は、「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）」及び「道路橋示方書（I 共通編・II 鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」により，曲げ・軸力に対する断面照査（全塑性モーメントに対する評価）及びせん断に対する断面照査（降伏強度に対する評価）を行う。

## a. 曲げ・軸力に対する断面照査（全塑性モーメントに対する評価）

鋼管杭の曲げ・軸力に対する断面照査は，全塑性モーメント  $M_p$  を算定し，鋼管杭に発生する最大曲げモーメントが全塑性モーメント以下となることを確認する。

$$M_p = M_{p0} \cos(\alpha\pi/2)$$

ここで，

$M_p$ ：全塑性モーメント（kN・m）

$M_{p0}$ ：軸力がない場合の全塑性モーメント（kN・m）

$$M_{p0} = Z_p \sigma_y$$

$\alpha$ ：モーメントがない場合の降伏軸力  $N_0$  と作用軸力  $N$  の比

$$\alpha = N/N_0$$

$N_0$ ：モーメントがない場合の降伏軸力（kN）

$$N_0 = \sigma_y A$$

$Z_p$ ：塑性断面係数（m<sup>3</sup>）

$$Z_p = \frac{4}{3} r^3 \{1 - (1 - t/r)^3\}$$

$\sigma_y$ ：鋼管杭の降伏点強度（kN/m<sup>2</sup>）

$N$ ：軸力（kN）

$A$ ：鋼管杭の断面積（m<sup>2</sup>）

$t$ ：鋼管杭の板厚（m）

$r$ ：鋼管杭の半径（m）

## b. せん断に対する断面照査

鋼管杭のせん断に対する断面照査は，鋼管杭のせん断応力度が，降伏強度以下となることを確認する。なお，鋼管杭のせん断応力度は，鋼管杭内部が中詰めコンクリートで充填されているため，鋼管杭の全断面積を有効断面積として算定する。

## (3) 杭頭部

## a. 水平力に対する照査

杭頭部の許容限界は、「杭基礎設計便覧（（社）日本道路協会，2007年）」を参考に，水平力に対する照査を行う。

鋼管杭の水平力に対する照査は，図3-17に示す水平方向の支圧応力度 $\sigma_{ch}$ 及び水平方向の押抜きせん断応力度 $\tau_h$ が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{ch} = H/DL$$

$$\tau_h = H/(h'(2L+D+2h'))$$

ここに，

$\sigma_{ch}$  : 杭頭結合部に発生する水平方向の支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_h$  : 杭頭結合部に発生する水平方向の押抜きせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

H : 杭頭結合部に作用する水平力 (N)

D : 鋼管杭径 (mm)

L : 杭の埋込長 (mm)

h' : 水平方向の押し抜きせん断に抵抗するフーチング有効厚 (mm)

<p>4) フーチングコンクリートの水平支圧応力度の照査</p> <p>a. 方法Aの場合</p> $\sigma_{ch} = \frac{H}{Dl} + \frac{6M}{Dl^2} \leq \sigma_{bc} \dots\dots\dots(\text{III. 6. 5})$ <p>b. 方法Bの場合</p> $\sigma_{ch} = \frac{H}{Dl} \leq \sigma_{bc} \dots\dots\dots(\text{III. 6. 6})$ <p>5) フーチング端部の杭に対する水平方向の押抜きせん断応力度の照査</p> $\tau_h = \frac{H}{h'(2l+D+2h')} \leq \tau_a \dots\dots\dots(\text{III. 6. 7})$
---

図3-17 水平力に対する照査

(「杭基礎設計便覧（（社）日本道路協会，2007年）」より引用に一部加筆)

### 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	PL-9
柱	SS400	H-200×200×8×12
はり	SS400	L-65×65×8
ベースプレート	SS400	PL-28
アンカーボルト	SUS304	M20

#### (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、「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 <sup>2</sup> )			
	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。）に基づき表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 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN)	
	引張	せん断
SUS304 (M20)	41	34

#### 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	PL-9
柱	SS400	H-200×200×8×12
はり	SS400	L-65×65×8
ベースプレート	SS400	PL-28
アンカーボルト	SUS304	M20

##### (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」に基づき表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 <sup>2</sup> )			
	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限界は「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき表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 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN)	
	引張	せん断
SUS304 (M20)	63	8

#### 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	PL-24
柱	SS400	H-350×350×12×19
はり	SS400	L-65×65×6
架構	SS400	H-294×200×8×12
ベースプレート	SS400	PL-32
アンカーボルト	SD295	D25

##### (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」に基づき表5-8の値とする。

表5-8 鋼板，柱，はり，架構，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 <sup>2</sup> )			
	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限界は「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき表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 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN)	
	引張	せん断
SD295 (D25)	67	35



## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

建物開口部竜巻防護対策設備は、原子炉建物及び廃棄物処理建物に設置する。建物開口部竜巻防護対策設備は、竜巻防護ネット対策設備と竜巻防護鋼板対策設備に分類される。本資料では図 2-1 に示す建物開口部竜巻防護対策設備のうち、構造強度評価の評価部位であるフレームとアンカーボルトの検定比が最も大きくなる竜巻防護ネット対策設備(2RB-BOP2, 3)及び竜巻防護鋼板対策設備(2RB-BOP1)を代表として、耐震性について示す。なお、その他の竜巻防護ネット対策設備の評価結果については「【竜巻防護ネット対策設備についての計算結果】1.4.3 代表機器の選定結果及び全機器の評価結果」にて示す。

対象とした設備は原子炉建物及び廃棄物処理建物上部に設置されているため、地震により破損・脱落した場合、原子炉建物及び制御室建物等の上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

建物開口部竜巻防護対策設備の一覧を表 2-1 に、設置位置を図 2-1 に示す。

表 2-1 建物開口部竜巻防護対策設備一覧

据付場所及び 床面高さ (m)	設備 No.	タイプ
原子炉建物 EL 23.8*	2RB-AG1, 3, 4	竜巻防護ネット対策設備 (壁付けタイプ)
原子炉建物 EL 23.8*	2RB-AG2	竜巻防護ネット対策設備 (壁付けタイプ)
原子炉建物 EL 23.8*	2RB-AG5	竜巻防護ネット対策設備 (壁付けタイプ)
原子炉建物 EL 34.8*	2RB-3	竜巻防護ネット対策設備 (壁付けタイプ)
原子炉建物 EL 37.2*	2RB-M4	竜巻防護ネット対策設備 (壁付けタイプ)
原子炉建物 EL 51.7*	2RB-BOP1	竜巻防護鋼板対策設備
原子炉建物 EL 51.7*	2RB-BOP2, 3	竜巻防護ネット対策設備 (張出しタイプ)
廃棄物処理建物 EL 26.7*	2RwB-AG1	竜巻防護ネット対策設備 (壁付けタイプ)

注記\*：基準床レベルを示す。

記号	記号の説明	単位
m	質量分布	kg/m
w	評価用荷重	N/m
n	フレームと壁及び床の取付部 1 箇所当たりのアンカーボルトの本数	—
X, Y, Z	絶対 (節点) 座標軸	—
x, y, z	局所 (要素) 座標軸	—
$Z_y$	フレームの断面係数 (y 軸周り)	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	フレームの断面係数 (z 軸周り)	mm <sup>3</sup>
$\Lambda$	フレームの限界細長比	—
$\lambda$	フレームの有効細長比	—
$\lambda_b$	降伏モーメントに対する曲げ材の基準化細長比	—
$e \lambda_b$	弾性限界細長比	—
$p \lambda_b$	塑性限界細長比	—
$\nu_c$	圧縮座屈に対する安全率	—
$\nu_b$	曲げ座屈に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$N_c$	フレームの軸力 (圧縮)	N
$N_t$	フレームの軸力 (引張)	N
$R_x$	ベースプレート部の荷重 (x 軸方向)	N
$R_y$	ベースプレート部の荷重 (y 軸方向)	N
$R_z$	ベースプレート部の荷重 (z 軸方向)	N
p	アンカーボルト 1 本当たりの引張力	N
$p_a$	アンカーボルト 1 本当たりの許容引張力	N
$p_{a1}$	アンカーボルトの降伏により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張応力	N
$p_{a2}$	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ボルト 1 本当たりの許容引張応力	N
$p_{a3}$	アンカーボルトの付着力により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張応力	N
q	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力	N
$q_a$	アンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力	N
$q_{a1}$	アンカーボルトのせん断強度により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力	N

## 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

### 4.2.1 荷重の組合せ

建物開口部竜巻防護対策設備の荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

名称	荷重の組合せ
建物開口部竜巻防護対策設備	D + S <sub>s</sub> + P <sub>s</sub>

D : 自重

S<sub>s</sub> : 地震荷重

P<sub>s</sub> : 積雪荷重

### 4.2.2 使用材料の許容応力

フレーム及びアンカーボルトの許容応力を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用材料の許容応力\*<sup>1</sup>

(単位 : MPa)

評価部材	材料	材料強度		
		引張	圧縮 曲げ	せん断
フレーム	SN490B (厚さ ≤ 40mm)	325	325* <sup>2</sup>	187
アンカーボルト (頭付き)	アルミキルド鋼	235	235* <sup>2</sup>	135
アンカーボルト (接着系)	SS400	235	235* <sup>2</sup>	135

注記\*1 : 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ( (社) 日本建築学会, 2005 改定) 及び日本産業規格 ( J I S ) による。

\*2 : 上限値であり, 座屈長さ等を勘案して設定する。

## 4.6 応力の計算方法

### 4.6.1 竜巻防護ネット対策設備

#### (1) フレームの応力

フレームの応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 $N_t$ 、 $N_c$ 、せん断力 $Q_y$ 、 $Q_z$ 及び曲げモーメント $M_y$ 、 $M_z$ により各応力を次のように求める。

#### a. 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

#### b. せん断応力

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{s_y}}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{s_z}}$$

#### c. 曲げ応力

$$\sigma_{b_y} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{b_z} = \frac{M_z}{Z_z}$$

#### d. 組合せ応力

##### (a) 圧縮又は引張＋曲げ

$$\max \left( \frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_{b_y} + \sigma_{b_z}}{f_b}, \frac{\sigma_{b_y} + \sigma_{b_z} + \sigma_t}{f_t} \right)$$

##### (b) 圧縮又は引張＋曲げ＋せん断

$$\max \left( \sqrt{(\sigma_c + \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z})^2 + 3\tau_y^2}, \sqrt{(\sigma_c + \sigma_{b_y} + \sigma_{b_z})^2 + 3\tau_z^2} \right)$$

引張軸力の場合は $\sigma_c$ を $\sigma_t$ とする。

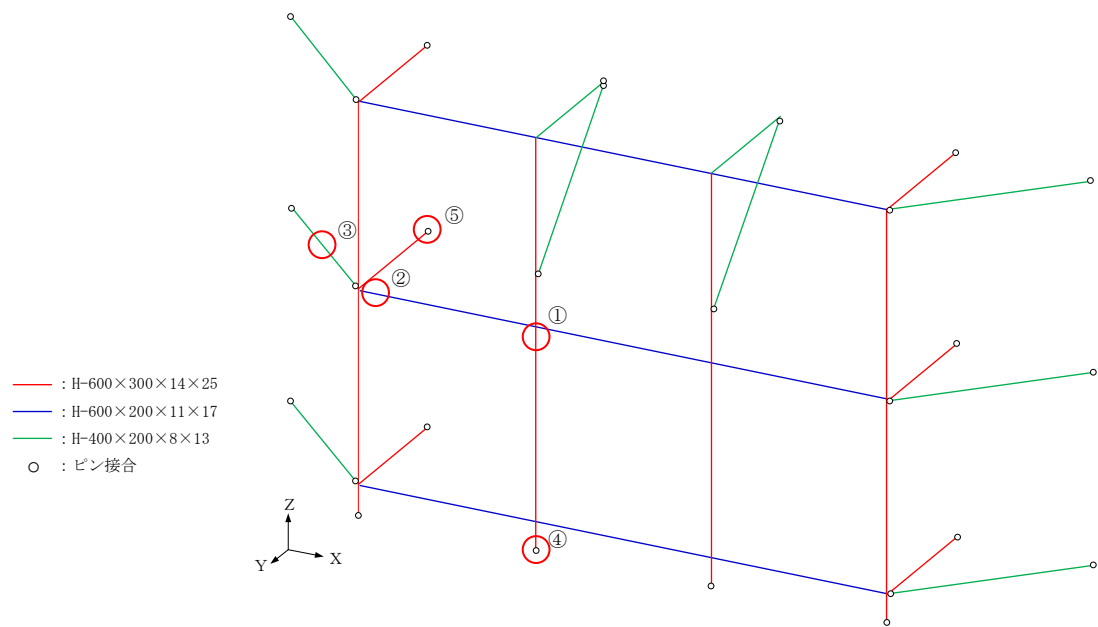
注：添字 $y$ 、 $z$ は要素に与えられた座標軸（ $y$ ：弱軸方向、 $z$ ：強軸方向）

## 1.4.2 応力

項目	部材	部位	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	検定比
フレーム	H-600×300×14×25	①	引張	20	325	0.07
			圧縮	24	273	0.09
			せん断	7	187	0.04
			曲げ	45	325	0.14
			組合せ（圧縮又は引張＋曲げ）	—	—	0.32
			組合せ（圧縮又は引張＋曲げ＋せん断）	—	—	0.29
	H-600×200×11×17	②	引張	26	325	0.08
			圧縮	26	211	0.13
			せん断	14	187	0.08
			曲げ	116	325	0.36
			組合せ（圧縮又は引張＋曲げ）	—	—	0.69
			組合せ（圧縮又は引張＋曲げ＋せん断）	—	—	0.59
	H-400×200×8×13	③	引張	87	325	0.27
			圧縮	87	211	0.42
			せん断	1	187	0.01
			曲げ	53	325	0.17
			組合せ（圧縮又は引張＋曲げ）	—	—	0.63
			組合せ（圧縮又は引張＋曲げ＋せん断）	—	—	0.46

項目	部材	部位	応力	算出応力 (N)	許容応力 (N)	検定比
アンカー ボルト	φ22 (頭付き)	④	引張	$3.488 \times 10^4$	$6.021 \times 10^4$	0.58
			せん断	$7.853 \times 10^3$	$6.252 \times 10^4$	0.13
			組合せ (引張+せん断)	—	—	0.36
	M20 (接着系)	⑤	引張	$3.645 \times 10^4$	$4.110 \times 10^4$	0.89
			せん断	$7.554 \times 10^3$	$4.030 \times 10^4$	0.19
			組合せ (引張+せん断)	—	—	0.83

すべて許容応力以下である。



各部位ごとの最大応力発生部位

## 1.4.3 代表機器の選定結果及び全機器の評価結果

機器名称	据付場所及び 床面高さ (m)	対象	応力	算出応力 (N)	許容応力 (N)	検定比	代表
竜巻防護ネット対策設備 (2RB-AG1, 3, 4)	原子炉建物 EL 23.8*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張+曲げ)	—	—	0.12	
		アンカーボルト	引張	$1.482 \times 10^4$	$3.686 \times 10^4$	0.41	
竜巻防護ネット対策設備 (2RB-AG2)	原子炉建物 EL 23.8*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張+曲げ)	—	—	0.11	
		アンカーボルト	引張	$1.392 \times 10^4$	$3.686 \times 10^4$	0.38	
竜巻防護ネット対策設備 (2RB-AG5)	原子炉建物 EL 23.8*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張+曲げ)	—	—	0.13	
		アンカーボルト	引張	$1.989 \times 10^4$	$3.686 \times 10^4$	0.54	
竜巻防護ネット対策設備 (2RB-3)	原子炉建物 EL 34.8*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張+曲げ)	—	—	0.11	
		アンカーボルト	引張	$1.363 \times 10^4$	$3.686 \times 10^4$	0.37	
竜巻防護ネット対策設備 (2RB-M4)	原子炉建物 EL 37.2*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張+曲げ)	—	—	0.12	
		アンカーボルト	引張	$1.026 \times 10^4$	$3.686 \times 10^4$	0.28	
竜巻防護ネット対策設備 (2RB-BOP2, 3)	原子炉建物 EL 51.7*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張+曲げ)	—	—	0.69	○
		アンカーボルト	引張	$3.645 \times 10^4$	$4.110 \times 10^4$	0.89	○
竜巻防護ネット対策設備 (2RwB-AG1)	廃棄物処理建物 EL 26.7*	フレーム	組合せ (圧縮又は引張+曲げ)	—	—	0.06	
		アンカーボルト	引張	$4.430 \times 10^3$	$3.898 \times 10^4$	0.12	

すべて許容応力以下である。

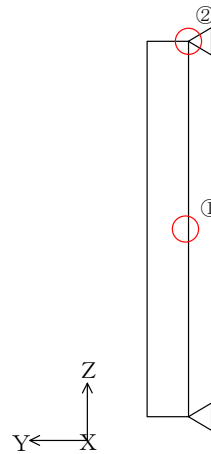
注記\*：基準床レベルを示す。

## 1.4.2 応力

項目	部材	部位	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	検定比
フレーム	H-800×300×14×26	①	せん断	19	187	0.11
			曲げ	60	325	0.19
			組合せ (曲げ+せん断)	—	—	0.32

項目	部材	部位	応力	算出応力 (N)	許容応力 (N)	検定比
アンカー ボルト	M20 (接着系)	②	引張	$2.116 \times 10^4$	$3.488 \times 10^4$	0.61
			せん断	$6.032 \times 10^3$	$4.030 \times 10^4$	0.15
			組合せ (引張+せん断)	—	—	0.40

すべて許容応力以下である。



各部位ごとの最大応力発生部位



### 3.5.4 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，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 3-6 に示す。

表 3-6 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-20
架構	SS400	H-350×350×12×19
ベースプレート	SS400	PL-32
アンカーボルト	SD345	D25

#### (2) 許容限界

##### a. 鋼板，架構及びベースプレート

鋼板，架構及びベースプレートの許容応力度は、「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）」に基づき表 3-7 の値とする。

表 3-7 鋼板，架構及び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 <sup>2</sup> )	
	曲げ*	せん断
SS400	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）」に基づき表3-8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，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 3-8 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN)	
	引張	せん断
SD345 (D25)	94.3	60.7

## 1. 概要

本計算書は、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」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である原子炉建物天井クレーン（Bクラス施設）が基準地震動  $S_s$  による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することで、下部に設置された上位クラス施設である燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

原子炉建物天井クレーンは、原子炉建物原子炉棟4階に設置されている。原子炉建物天井クレーンは、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された燃料プール上に移動可能であることから、地震時に本機器が転倒又は落下した場合は、使用済燃料貯蔵ラック及び燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

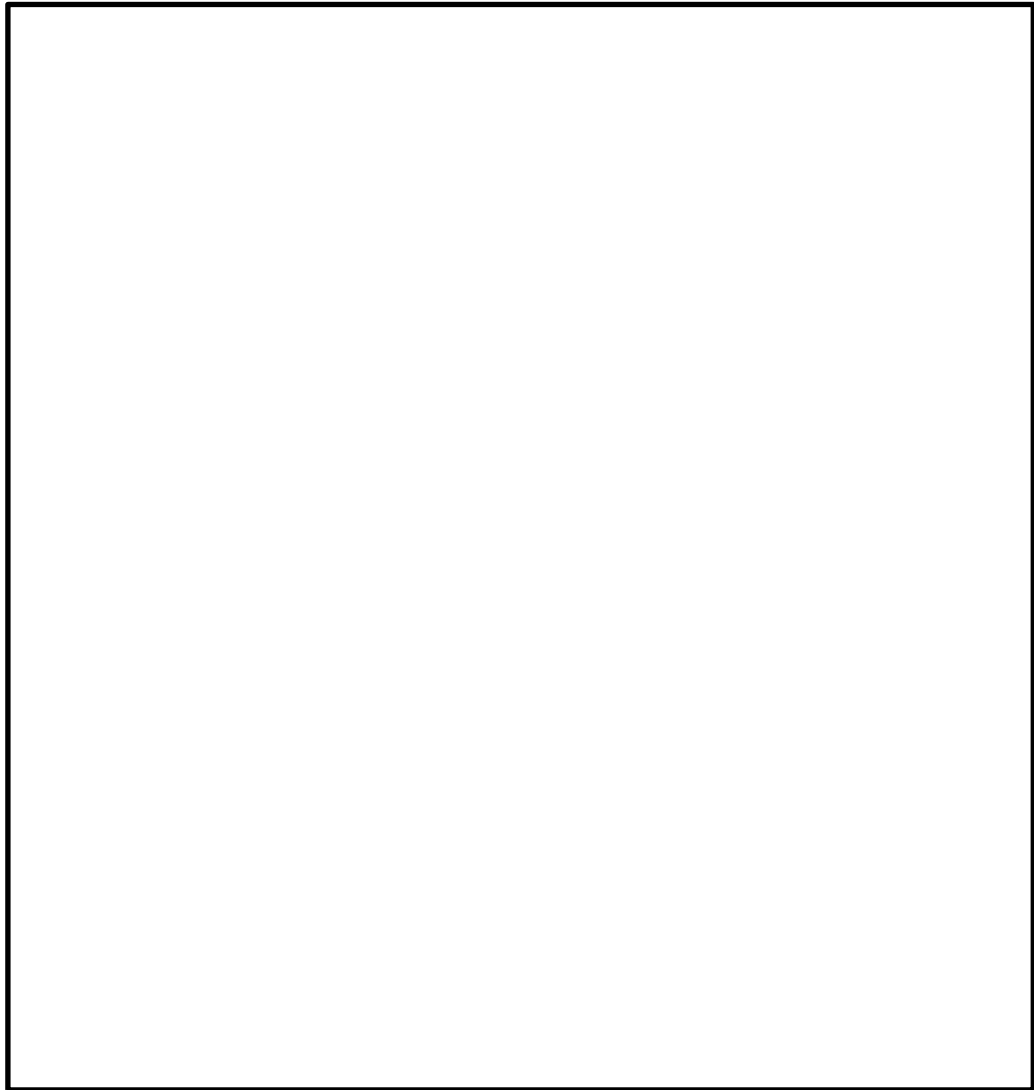


図2-1 原子炉建物天井クレーンの位置関係図

表4-4 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)		
	一次応力		
	引張	せん断	圧縮
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$
VAS (VASとして, IVASの許容限界を用いる。)			

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。

## 1. 概要

本計算書は、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」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である燃料取替機（Bクラス施設）が基準地震動  $S_s$  による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することで、下部に設置された上位クラス施設である燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

燃料取替機は原子炉建物原子炉棟 4 階に設置されている。燃料取替機は、図 2-1 の位置関係図に示すように、燃料交換時において、上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された燃料プール上にて作業を実施することから、地震時に本機器が転倒又は落下した場合は、使用済燃料貯蔵ラック及び燃料プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

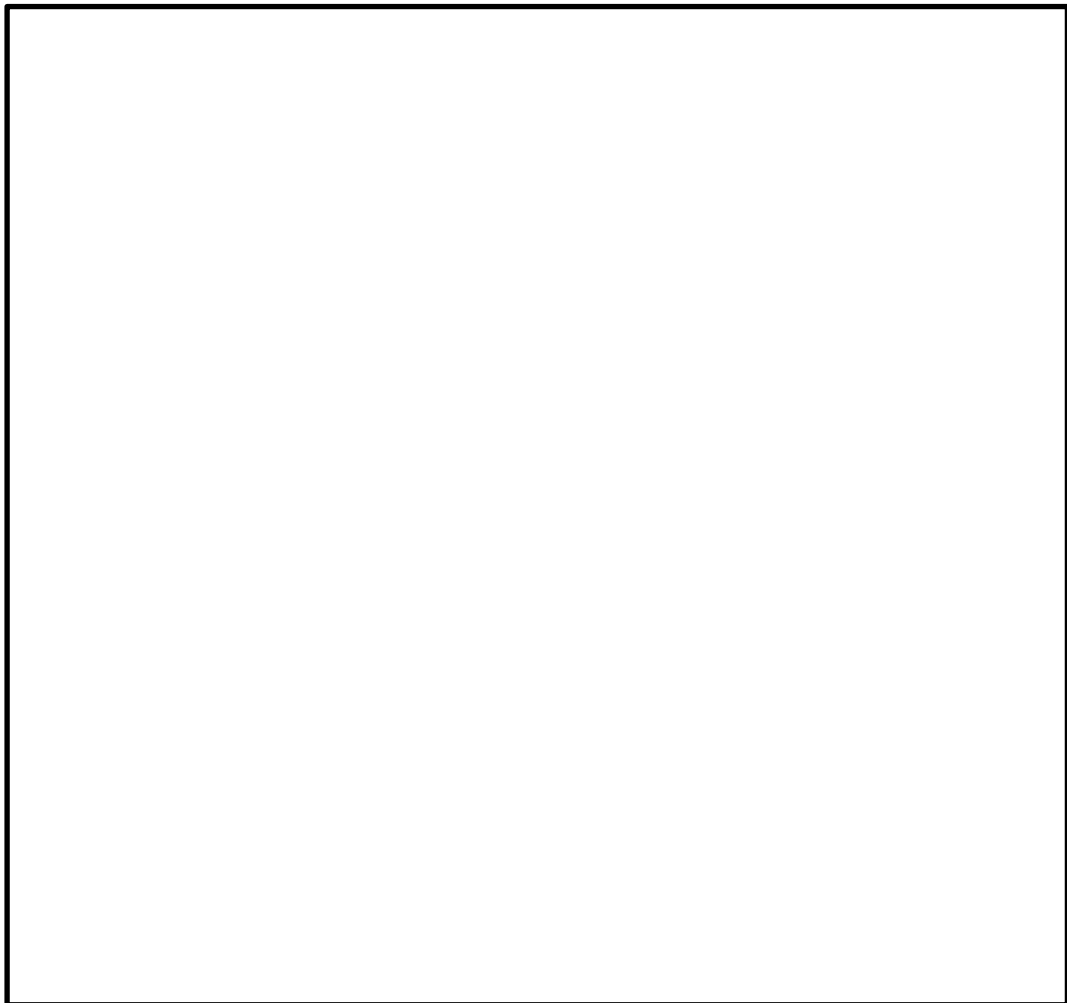


図 2-1 燃料取替機と燃料プール等の位置関係

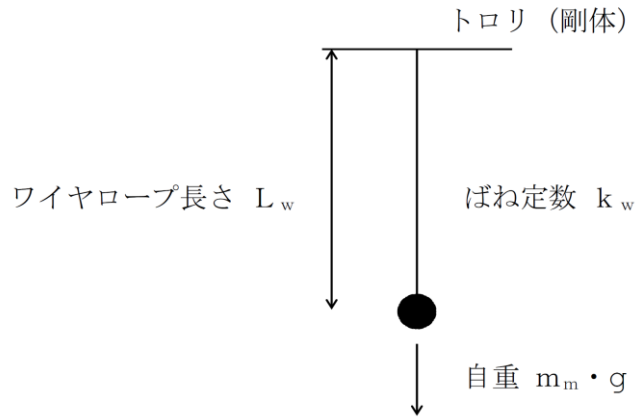
## 2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{1Fi}$	燃料取替機構造物フレームの断面積	$\text{mm}^2$
$A_{1B}$	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{2B}$	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{3B}$	走行レール C 部の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{4B}$	走行レール D 部の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{bB}$	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルト 1 本の断面積	$\text{mm}^2$
$A_w$	ワイヤロープ 1 本の断面積	$\text{mm}^2$
$A_B$	先端金具の断面積	$\text{mm}^2$
$a_{1B}$	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の幅	mm
$a_{2B}$	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の幅	mm
$a_{3B}$	走行レール C 部の厚み	mm
$a_{4B}$	走行レール D 部の厚み	mm
$a_f$	燃料取替機本体に作用する震度	—
$a_w$	吊荷に作用する震度	—
$b_{1B}$	負担力 $F_{HB}$ に対するブリッジ脱線防止ラグの負担長さ	mm
$b_{2B}$	ブリッジ脱線防止ラグの走行レール面接触長さ	mm
$b_{3B}$	負担力 $F_{vb}$ に対する走行レール頭部の負担長さ	mm
$b_{4B}$	負担力 $F_{HB}$ に対する走行レールウェブの負担長さ	mm
$C_{H1}$	水平方向設計震度	—
$C_{H2}$	最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$D$	死荷重	N
$d_{1B}$	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトの呼び径	mm
$E$	燃料取替機構造物フレームの縦弾性係数	MPa
$E_w$	ワイヤロープの縦弾性係数	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
$F_{HBi}$	ブリッジ脱線防止ラグ 1 箇所作用する水平力	N
$F_{HTi}$	トロリ脱線防止ラグ 1 箇所作用する水平力	N
$F_{vBi}$	ブリッジ脱線防止ラグ一組に作用する鉛直力	N
$F_{vTi}$	トロリ脱線防止ラグ一組に作用する鉛直力	N
$F_{vbi}$	ブリッジ脱線防止ラグ 1 個に作用する鉛直力	N
$F_{vti}$	トロリ脱線防止ラグ 1 個に作用する鉛直力	N
$F_{xi}$	燃料取替機構造物フレームに作用する軸力	N
$F_{yi}$	燃料取替機構造物フレームに作用するせん断力 (y 方向)	N
$F_{zi}$	燃料取替機構造物フレームに作用するせん断力 (z 方向)	N

記号	記号の説明	単位
$S_s$	基準地震動 $S_s$ により定まる地震力	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
$T_f$	燃料取替機本体の鉛直方向固有周期	s
$T_w$	ワイヤロープ・吊荷の単振動モデルから計算される吊荷の固有周期	s
$v_1$	吊荷の最大速度	mm/s
$v_2$	燃料取替機の最大速度	mm/s
$Z_{1B}$	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{2B}$	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{3B}$	走行レール C 部の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{4B}$	走行レール D 部の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{pi}$	燃料取替機構造物フレームのねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{yi}$	燃料取替機構造物フレームの y 軸周り断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{zi}$	燃料取替機構造物フレームの z 軸周り断面係数	mm <sup>3</sup>
$\sigma_{1Fi}$	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力	MPa
$\sigma_{1Bi}$	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の曲げ応力	MPa
$\sigma_{2Bi}$	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の曲げ応力	MPa
$\sigma_{3Bi}$	走行レール C 部の曲げ応力	MPa
$\sigma_{4Bi}$	走行レール D 部の曲げ応力	MPa
$\sigma_{c1Fi}$	燃料取替機構造物フレームの組合せ応力	MPa
$\sigma_{c1Bi}$	ブリッジ脱線防止ラグ A 部の組合せ応力	MPa
$\sigma_{c2Bi}$	ブリッジ脱線防止ラグ B 部の組合せ応力	MPa
$\sigma_{c3Bi}$	走行レール C 部の組合せ応力	MPa
$\sigma_{c4Bi}$	走行レール D 部の組合せ応力	MPa
$\sigma_{xi}$	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分 (x 方向)	MPa
$\sigma_{yi}$	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分 (y 方向)	MPa
$\sigma_{zi}$	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分 (z 方向)	MPa
$\sigma_m$	先端金具の引張応力	MPa
$\tau_{1Fi}$	燃料取替機構造物フレームのせん断応力	MPa
$\tau_{1Bi}$	ブリッジ脱線防止ラグ A 部のせん断応力	MPa
$\tau_{2Bi}$	ブリッジ脱線防止ラグ B 部のせん断応力	MPa
$\tau_{3Bi}$	走行レール C 部のせん断応力	MPa
$\tau_{4Bi}$	走行レール D 部のせん断応力	MPa
$\tau_{bBi}$	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトのせん断応力	MPa

(2) 吊荷の固有周期

以下のとおり，トロリを剛体としたときの吊荷の固有周期 $T_w$ を算出する。



$$\text{固有周期: } T_w = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_m}{k_w}}$$

$$\text{ばね定数: } k_w = \frac{A_w \cdot n_w \cdot E_w}{L_w}$$

図 4-12 吊荷の固有周期

(3) 吊荷，燃料取替機 の速度の算出

以下の式に従い，吊荷及び燃料取替機に作用する最大加速度による速度を算出する。

$$v_1 = a_w \cdot g \cdot T_w / (2 \cdot \pi)$$

$$v_2 = a_f \cdot g \cdot T_f / (2 \cdot \pi)$$

- ここで、
- $v_1$  : 吊荷の最大速度
  - $v_2$  : 燃料取替機の最大速度
  - $a_w$  : 吊荷に作用する震度
  - $a_f$  : 燃料取替機本体に作用する震度
  - $g$  : 重力加速度
  - $T_w$  : 吊荷の固有周期
  - $T_f$  : 燃料取替機本体の鉛直方向固有周期



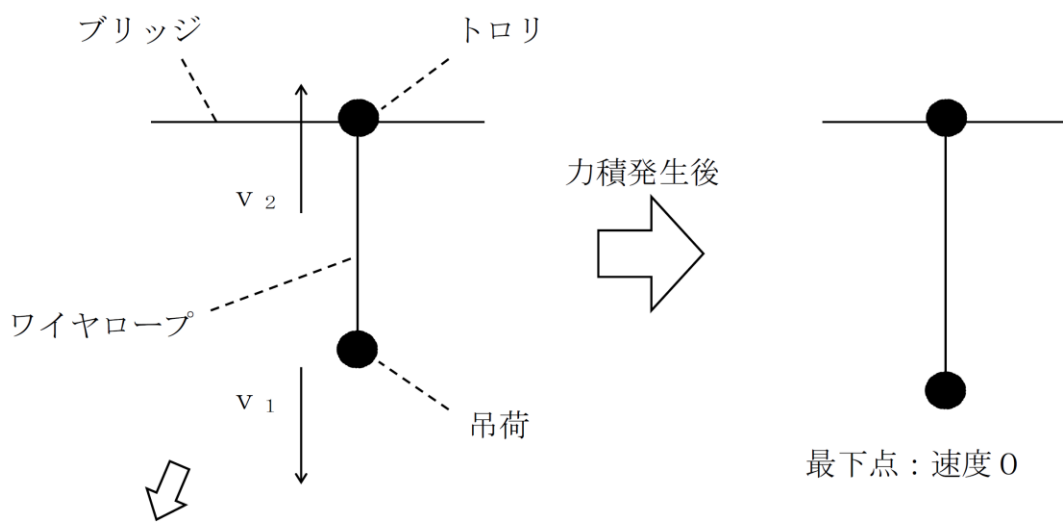
(4) 吊具に作用する衝撃荷重

以下のとおり，ワイヤロープ，先端金具に作用する荷重Fを算出する。

図4-13及び図4-14に示すように，ワイヤロープの下端にある吊荷の運動量の変化は吊荷とトロリの質量や固有値が異なることから $v_1$ と $v_2$ が同値にならないが，保守的にワイヤロープの減衰がなく完全弾性衝突を仮定して反発係数を1とすれば以下となる。

$$\text{(力積)} : \int_0^{\frac{T_w}{4}} F \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T_w}\right) \cdot dt$$

$$\text{(吊荷の運動量の変化)} : m_m \cdot (v_1 + v_2)$$



相対速度 ( $v_1 + v_2$ ) とする。

図4-13 吊荷落下後の速度変化

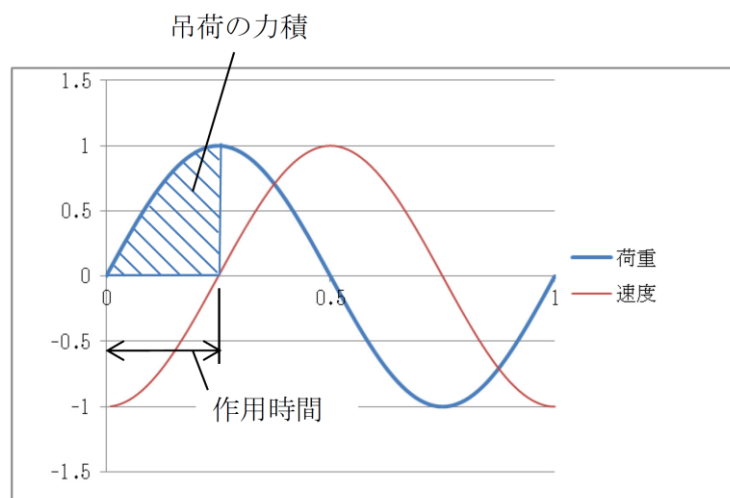


図4-14 吊荷の力積の概念図

S2 補 VI-2-11-2-7-2 R2

$m_m$ (kg)	$T_w$ (s)	$L_w$ (mm)	$A_w$ (mm <sup>2</sup> )	$A_B$ (mm <sup>2</sup> )	$E_w$ (MPa)	$n_w$

$F_w$ (N)	$k_w$ (N/mm)	$v_1$ (mm/s)	$v_2$ (mm/s)
$2.962 \times 10^4$			

#### 4.3 解析モデル及び諸元

着脱装置の解析モデルを図 4-1 に、解析モデル概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【チャンネル着脱装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) ガイドレール及びカートをはり要素でモデル化した 3 次元有限要素法モデルを用いる。
- (2) 拘束条件は、固定ボルト部を完全拘束とする。また、金物については、水平方向及び鉛直軸まわりの回転方向を拘束する。ローラチェーンはループ状になっており、ガイドレールの上及び下部に取り付けられたスプロケットにより回転及び停止する。ローラチェーンの回転によってカートは鉛直方向に昇降し、ローラチェーンの停止によってカートの鉛直方向は固定される。よって、カートのローラチェーン取付け部の鉛直方向を拘束する。
- (3) 結合条件は、カート及びガイドレール間の水平方向及び鉛直軸まわりの回転方向のみを結合する。なお、固定ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 解析コードは「SAP-IV」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。
- (5) 質量には着脱装置自身の質量、燃料の質量及び水の付加質量\*を考慮し、着脱装置自身の質量及び水の付加質量については、フレーム全長に渡って、等分布に与える。燃料（水の付加質量を含む）については、カートの上下位置に集中質量として与える。  
注記\*：付加質量とは、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、機器の形状により定まる仮想質量をいう。

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力の計算方法

#### (1) ガイドレールの応力

ガイドレールに加わる荷重は、図4-1の解析モデルにより解析コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により地震力を算出し、スロッシング荷重と足し合わせて求める。応力は図4-7を用いて計算する。負担力は、並進力 $F_{xG}$ 、 $F_{yG}$ 、 $F_{zG}$ 、モーメント力 $M_{xG}$ 、 $M_{yG}$ 、 $M_{zG}$ とする。

#### a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xG} = \frac{F_{xG}}{A_{1G}}, \quad \sigma_{yG} = \frac{M_{yG}}{Z_{yG}}, \quad \sigma_{zG} = \frac{M_{zG}}{Z_{zG}} \quad \dots \quad (4.6.1.1)$$

$$\tau_{xG} = \frac{M_{xG}}{Z_{pG}}, \quad \tau_{yG} = \frac{F_{yG}}{A_{1G}}, \quad \tau_{zG} = \frac{F_{zG}}{A_{1G}} \quad \dots \quad (4.6.1.2)$$

#### b. 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1G} = |\sigma_{xG}| + |\sigma_{yG}| + |\sigma_{zG}| \quad \dots \quad (4.6.1.3)$$

#### c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1G} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(|\tau_{xG}| + |\tau_{yG}|)^2 + |\tau_{zG}|^2} \\ \sqrt{|\tau_{yG}|^2 + (|\tau_{xG}| + |\tau_{zG}|)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.4)$$

#### d. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1G} = \sqrt{\sigma_{1G}^2 + 3 \cdot \tau_{1G}^2} \quad \dots \quad (4.6.1.5)$$

(2) カートの応力

カートに加わる荷重は、図 4-1 の解析モデルにより解析コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により地震力を算出し、スロッシング荷重と足し合わせて求める。応力は図 4-7 を用いて計算する。負担力は、並進力  $F_{xF}$ ,  $F_{yF}$ ,  $F_{zF}$ , モーメント力  $M_{xF}$ ,  $M_{yF}$ ,  $M_{zF}$  とする。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xF} = \frac{F_{xF}}{A_{1F}}, \quad \sigma_{yF} = \frac{M_{yF}}{Z_{yF}}, \quad \sigma_{zF} = \frac{M_{zF}}{Z_{zF}} \quad \dots \quad (4.6.1.6)$$

$$\tau_{xF} = \frac{M_{xF}}{Z_{pF}}, \quad \tau_{yF} = \frac{F_{yF}}{A_{1F}}, \quad \tau_{zF} = \frac{F_{zF}}{A_{1F}} \quad \dots \quad (4.6.1.7)$$

b. 曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1F} = |\sigma_{xF}| + |\sigma_{yF}| + |\sigma_{zF}| \quad \dots \quad (4.6.1.8)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1F} = \left. \begin{array}{l} \sqrt{(|\tau_{xF}| + |\tau_{yF}|)^2 + |\tau_{zF}|^2} \\ \sqrt{|\tau_{yF}|^2 + (|\tau_{xF}| + |\tau_{zF}|)^2} \end{array} \right\} \text{大きい方} \quad \dots \quad (4.6.1.9)$$

d. 組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1F} = \sqrt{\sigma_{1F}^2 + 3 \cdot \tau_{1F}^2} \quad \dots \quad (4.6.1.10)$$

(3) 固定ボルトの応力

固定ボルトに加わる荷重は、図 4-1 の解析モデルにより解析コード「SAP-IV」を用いて、スペクトルモーダル解析及び静解析により地震力を算出し、スロッシング荷重と足し合わせて求める。応力は図 4-7 を用いて計算する。負担力は、並進力  $F_{xB}$ ,  $F_{yB}$ ,  $F_{zB}$ , モーメント力  $M_{xB}$ ,  $M_{yB}$ ,  $M_{zB}$  とする。

a. 応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_{xB} = \frac{F_{xB}}{A_{1B}}, \quad \sigma_{yB} = \frac{M_{yB}}{Z_{yB}}, \quad \sigma_{zB} = \frac{M_{zB}}{Z_{zB}} \quad \dots \quad (4.6.1.11)$$

$$\tau_{xB} = \frac{M_{xB}}{Z_{pB}}, \quad \tau_{yB} = \frac{F_{yB}}{A_{1B}}, \quad \tau_{zB} = \frac{F_{zB}}{A_{1B}} \quad \dots \quad (4.6.1.12)$$

b. 引張応力

引張応力は次式となる。

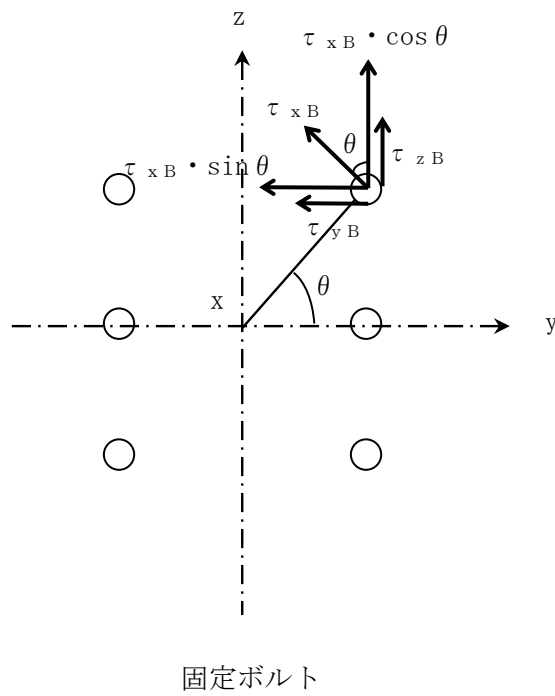
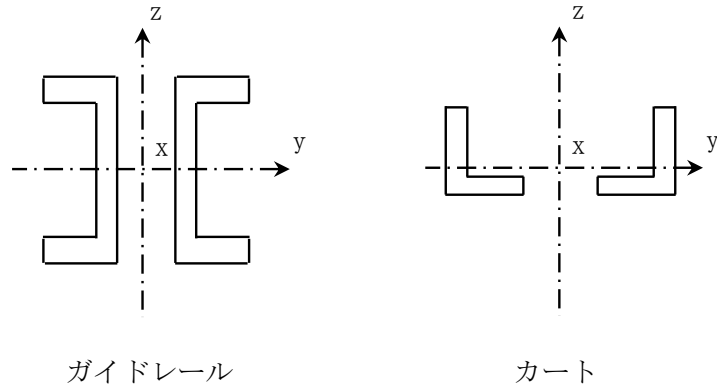
$$\sigma_{1B} = |\sigma_{xB}| + |\sigma_{yB}| + |\sigma_{zB}| \quad \dots \quad (4.6.1.13)$$

c. せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\tau_{1B} = \sqrt{(\tau_{yB} + \tau_{xB} \cdot \sin \theta)^2 + (\tau_{zB} + \tau_{xB} \cdot \cos \theta)^2} \quad \dots \quad (4.6.1.14)$$

ガイドレールの最大応力発生部材を図4-1の①、カートの最大応力発生部位を図4-1の②に示す。



注：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。

図4-7 部材断面

#### 4.6.3 スロッシング荷重（抗力）の計算方法

- (1) スロッシングによる荷重（抗力）の算出については、VI-1-1-9-3「溢水評価条件の設定」に示す基準地震動  $S_s$  ( $S_s - D$ ) による燃料プールの3次元流体速度時刻歴データを用いる。
- (2) 流体速度時刻歴データより水平方向における水深ごとの最大流速を用い、ガイドレール、カート及び燃料に生じる抗力を算出する。
- (3) 抗力の算出には以下の式を用い、抗力係数  $C_d$  は機械工学便覧 日本機械学会編（2007）より 2.0 とする。

$$P_t = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_s \cdot V^2 \cdot 10^{-6} \dots \dots \dots (4.6.3.1)$$



### 3. 評価部位

チャンネル取扱ブームの耐震評価は、「4.1 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を実施する。なお、チャンネル取扱ブームは、主構造を構成し耐震評価上厳しくなるブーム、回転ポスト（上部、下部）、固定ポスト及び基礎ボルトが健全であればチャンネル取扱ブームの構造を維持できるため、これらを評価対象とする。チャンネル取扱ブームの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

チャンネル取扱ブームは A-チャンネル取扱ブーム及び B-チャンネル取扱ブームの 2 基あるが、同構造となるため評価を統一して行う。なお、基礎ボルト配置は相違するため基礎ボルトの評価にあっては評価上厳しい配置となる A-チャンネル取扱ブームを代表して評価する。

## 4. 地震応答解析及び構造強度評価

### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) チャンネル取扱ブームを構成する部材をはり要素にてモデル化した 3 次元有限要素法モデルによるスペクトルモーダル解析を適用する。
- (2) チャンネル取扱ブームの固定ポストは、十分剛な床に基礎ボルトにより固定する。
- (3) チャンネル取扱ブームの質量には、チャンネル取扱ブームの質量のほか、吊荷の質量を考慮する。
- (4) 地震力は、チャンネル取扱ブーム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、S R S S 法を適用する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (6) 評価ケース

表 4-1 に示す評価ケースにて評価を実施する。設計基準対象施設としての条件に対する評価条件では、チャンネル取扱ブームの使用を想定しケース 1, 2 について実施し、計算結果の厳しいケースを記載する。重大事故等対処設備としての条件に対する評価条件では、待機状態を想定しケース 2 について評価する。

表 4-1 評価ケース

評価対象	チャンネル取扱ブーム	
評価ケース	1	2
ブームの向き	東西方向 (プール壁直交)	南北方向 (プール壁平行)
吊荷位置	ブーム先端	
吊荷重	150kg (定格荷重)	0kg (無負荷)

### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

チャンネル取扱ブーム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 4-2 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

### 3. 評価部位

制御棒貯蔵ハンガは、「4.1 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を実施する。なお、ハンガ部及び振れ止め部は互いに独立しており、ハンガ部の固定部である基礎ボルト及び制御棒落下防止治具（制御棒落下防止ポール及びポール支持金具）が健全であれば機器及び制御棒が転倒又は落下することはなく上位クラス施設への波及的影響を抑制できるため、基礎ボルト、制御棒落下防止ポール及びポール支持金具を評価対象とする。ハンガ部の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

### 4. 地震応答解析及び構造強度評価

#### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 制御棒貯蔵ハンガを構成する部材をはり要素にてモデル化した 3 次元有限要素法モデルによるスペクトルモーダル解析 ( ) 及び静解析 ( ) を適用する。
- (2) 制御棒貯蔵ハンガのハンガ部は、原子炉建物の燃料プールの底部 (EL 33.9m) 及び側壁 (EL 38.5m) に基礎ボルトで固定されるものとする。
- (3) 地震応答解析時のハンガ部の質量には、制御棒の質量、制御棒落下防止治具の質量、ハンガ部自身の質量及びハンガ部部材内に含まれる水の質量のほか、制御棒、制御棒落下防止治具及びハンガ部部材の付加質量\*を考慮する。
- (4) 構造強度評価時のハンガ部の質量は、制御棒の質量、制御棒落下防止治具の質量、ハンガ部自身の質量及びハンガ部部材内に含まれる水の質量とする。また、更に精緻に評価するため、排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）の減算を考慮する。  
ただし、制御棒は減算を考慮しないものとする。
- (5) 地震力は、ハンガ部に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、作用する荷重の算出においては S R S S 法で組み合わせるものとする。  
ここで、水平方向地震力は、ハンガ部の長辺方向に作用する場合と短辺方向に作用する場合を考慮する。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

注記\*：付加質量とは、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、機器の形状により定まる仮想質量をいう。

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-6に、振動モード図を図4-2～図4-6に示す。

なお、振動モード図は、1次～3次までと [ ] の卓越モードの次数（12次及び17次）について記載した。 [ ] の固有周期は、0.05秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、 [ ] は34次以降で卓越し、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4-6 固有値解析結果 (1/2)

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
			X方向(NS)	Y方向(EW)	
1次					
2次					
3次					
4次					
5次					
6次					
7次					
8次					
9次					
10次					
11次					
12次					
13次					
14次					
15次					
16次					
17次					
18次					
19次					
20次					
21次					
22次					
23次					
24次					
25次					
26次					

表 4-6 固有値解析結果 (2/2)

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
			X方向(NS)	Y方向(EW)	
27次					
28次					
29次					
30次					
31次					
32次					
33次					
34次					

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。

S2 補 VI-2-11-2-7-5 R2

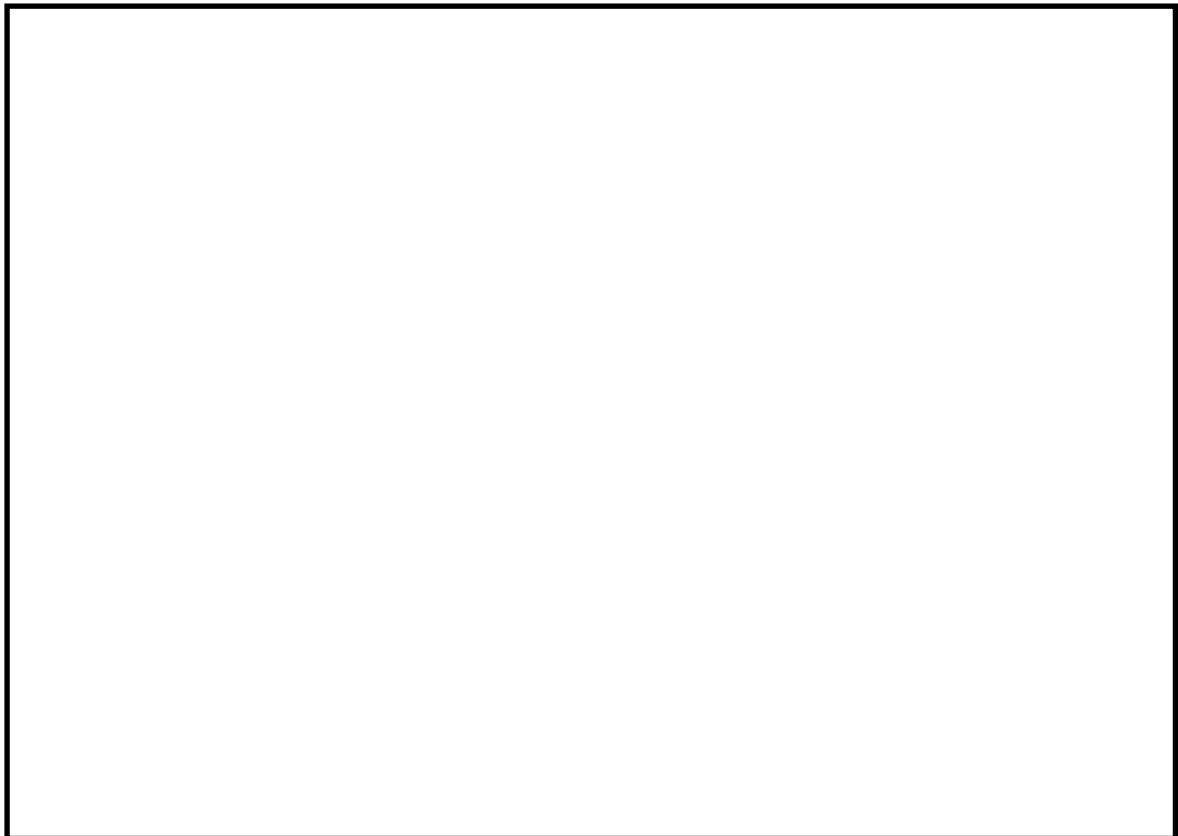


図 4-2 振動モード図 (1次  s)

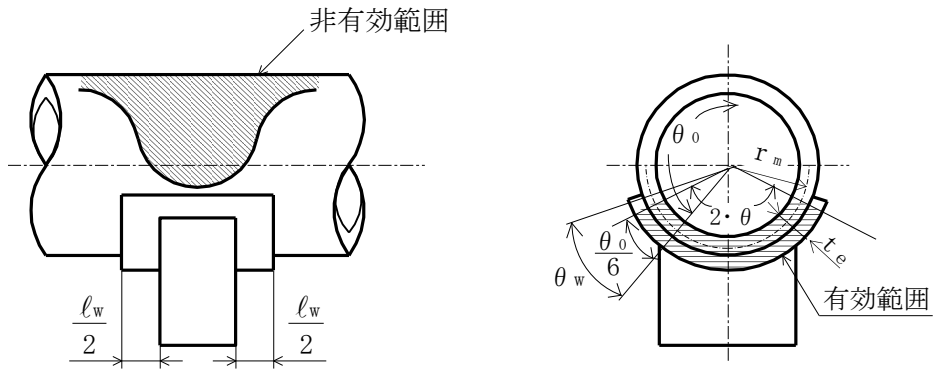


図 4-3 脚付け根部の有効範囲

胴の脚付け根部に取り付く当板の大きさが

$$\text{周方向範囲} \quad \theta_w \geq \frac{\theta_0^{*1}}{6} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.8)$$

$$\text{長手方向範囲} \quad \ell_w \geq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2}\right) \cdot t}^{*2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.9)$$

である場合、脚付け根部における胴の有効板厚  $t_e$  は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。

本計算においては上記の有効範囲を満たすため、有効板厚  $t_e$  は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。

注記\*1：引用文献(1)より引用

\*2：引用文献(3)より引用

- (3) 長手方向地震により生じる長手方向曲げモーメント及び鉛直方向荷重による応力  
 長手方向地震により胴に作用する長手方向曲げモーメント  $M_{11}$  により胴の脚付け根部に生じる応力は次式で求める。なお、 $M_{11}$  は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

$$\sigma_{x21} = \frac{M_{11}}{Z} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.10)$$

また、長手方向地震により胴に作用する鉛直方向荷重  $F_l$  によるせん断応力は次式で求める。 $F_l$  は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

$$\tau_{l1} = \frac{2 \cdot F_l}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.11)$$

- (4) 横方向地震により生じる横方向曲げモーメント及びねじりモーメントによる応力  
 横方向地震により胴に作用する横方向曲げモーメント $M_{12}$ 及びねじりモーメント $M_{13}$ により胴に生じる応力は次式で求める。なお、 $M_{12}$ 及び $M_{13}$ は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

$$\sigma_{x22} = \frac{4 \cdot M_{12}}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.12)$$

$$\tau_{c1} = \frac{2 \cdot M_{13}}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.13)$$

- (5) 運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

胴の脚付け根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。胴の脚付け根部作用する反力 $R_1$ は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いた解析により求める。

胴の脚付け根部に作用する反力は次のように求める。

運転時質量による反力は、

$$P = R_1 \dots\dots\dots (4.6.1.1.14)$$

鉛直方向地震による反力は、

$$P_e = C_v \cdot R_1 \dots\dots\dots (4.6.1.1.15)$$

この反力 $P$ 及び $P_e$ により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、引用文献(2)により次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図4-4に示す。

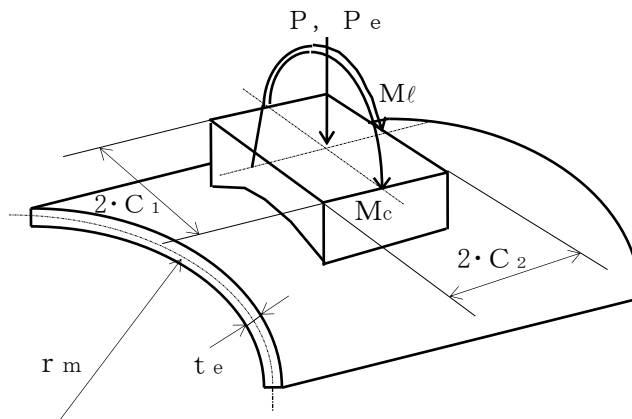


図4-4 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで、

- $p_{a1}$  : ボルトの降伏により決まる許容引張荷重 (N)  
 $p_{a2}$  : コンクリートのコーン状破壊により決まる許容引張荷重 (N)  
 $\alpha_c$  : 施工のばらつきを考慮した低減係数で、 $\alpha_c = 0.75$  とする。

$\phi_1, \phi_2$  : 低減係数であり、以下の表に従う。

	$\phi_1$	$\phi_2$
短期荷重用	1.0	2/3

- $s\sigma_{pa}$  : ボルトの引張強度で、 $s\sigma_{pa} = s\sigma_y$  とする。(MPa)  
 $s\sigma_y$  : ボルトの降伏点強度であり、 $s\sigma_y = S_y$  とする。(MPa)  
 $sca$  : ボルト各部の最小断面積 ( $\text{mm}^2$ ) 又はこれに接合される鋼材の断面積で危険断面における値  
 $c\sigma_t$  : コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度で  
 $c\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c}$  とする。(MPa)  
 $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (MPa)  
 $A_c$  : コーン状破壊面の有効水平投影面積で、  
 $A_c = \pi \cdot l_{ce} (l_{ce} + D)$  とする。(mm<sup>2</sup>)  
 $D$  : ボルト本体の直径 (mm)  
 $l$  : ボルトの埋込み深さで、母材表面から拡張面先端までの距離 (mm)  
 $l_{ce}$  : 強度算定用埋込み深さで  $l_{ce} = \begin{cases} l, & l < 4D \\ 4D, & l \geq 4D \end{cases}$  (mm)

(2) せん断力を受ける場合

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

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot \alpha_c \cdot c\sigma_{qa} \cdot sca$$

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

ここで、

- $q_{a1}$  : ボルトのせん断強度により決まる許容せん断荷重 (N)  
 $q_{a2}$  : コンクリートの支圧強度により決まる許容せん断荷重 (N)  
 $q_{a3}$  : コンクリートのコーン状破壊により決まる許容せん断

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は下式 (4.4.1.1) で求める。

$$T_H = \frac{1}{\left( \frac{1.875^2}{2\pi L} \cdot \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \right)} \dots\dots\dots (4.4.1.1)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は下式 (4.4.1.2) で求める。

$$T_V = \frac{1}{\left( \frac{\pi/2}{2\pi L} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \right)} \dots\dots\dots (4.4.1.2)$$

4.4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【防煙垂れ壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.4.3 固有周期の計算結果

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 固有周期 (単位：s)

防煙垂れ壁	水平	
	鉛直	



### 3. 評価部位

高光度航空障害灯管制器の耐震評価は、「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基礎ボルトについて実施する。

高光度航空障害灯管制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。

### 4. 固有周期

#### 4.1 基本方針

高光度航空障害灯管制器の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

#### 4.2 固有周期の確認方法

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、固有周期を確認する。高光度航空障害灯管制器の外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

#### 4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。試験の結果、水平方向の固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向の固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平		
鉛直		

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	6
2.5 記号の説明	7
2.6 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	13
4. 地震応答解析及び構造強度評価	13
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	13
4.1.1 取水槽ガントリクレーンの構造概要	13
4.1.2 単軸粘性ダンパの構造概要	14
4.1.3 評価ケース	15
4.1.4 地震力	15
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	16
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
4.2.2 許容応力	17
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件	17
4.3 解析モデル及び諸元	22
4.4 固有周期	27
4.5 設計用地震力	31
4.6 計算方法	34
4.6.1 クレーン本体ガーダ及び脚部の応力の計算方法	34
4.6.2 転倒防止装置の応力の計算方法	41
4.6.3 走行車輪の応力の計算方法	42
4.6.4 走行レールの応力の計算方法	43
4.6.5 トロリストッパの応力の計算方法	46
4.6.6 トロリの浮上り量の計算方法	46
4.6.7 吊具の荷重計算方法	46
4.6.8 単軸粘性ダンパ及びブレースの評価方法	47
4.7 計算条件	47

記号	記号の説明	単位
$M_{Yli}^{*1}$	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのY軸回りの曲げモーメント	N・mm
$m_G$	クレーン本体質量（脚部を含む）	kg
$m_t$	トロリ質量	kg
$m_m$	主巻吊荷質量（フックを含む）	kg
$\Sigma m$	クレーン総質量（ $m_G + m_t$ ）	kg
$P_w$	吊具荷重（ワイヤロープ及びフック）	N
$Q_{Hg}$	クレーン本体ガーダの水平せん断力	N
$Q_{Vg}$	クレーン本体ガーダの鉛直せん断力	N
$Q_{Xli}^{*1}$	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのX方向せん断力	N
$Q_{Yli}^{*1}$	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのY方向せん断力	N
$R$	走行車輪フランジの半径	mm
$S_u$	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°Cにおける値	MPa
$t_1$	転倒防止装置の板厚	mm
$t_2$	走行車輪フランジの厚さ	mm
$t_3$	走行レールウェブの厚さ	mm
$t_4$	走行レール頭部の厚さ	mm
$t_5$	トロリストoppa鉛直材の板厚	mm
$t_6$	トロリストoppa水平材の板厚	mm
$Z_a$	転倒防止装置の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_b$	走行車輪フランジの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_c$	走行レールウェブの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_d$	走行レール頭部の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{pg}$	クレーン本体ガーダのねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{pli}^{*1}$	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{Xg}$	クレーン本体ガーダのX軸回りの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{Xli}^{*1}$	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのX軸回りの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{Yg}$	クレーン本体ガーダのY軸回りの断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{Yli}^{*1}$	脚部，脚下部継ぎ，ガーダ継ぎのY軸回りの断面係数	mm <sup>3</sup>
$\mu$	最大静止摩擦係数	—
$\nu$	ポアソン比	—
$\nu'$	設計・建設規格 SSB-3121.1(3)a. により規定される値	—
$\lambda$	有効細長比	—
$\Lambda$	限界細長比	—

### 3. 評価部位

取水槽ガントリクレーンの耐震評価は、「4.1 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、クレーン及び吊荷の落下により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、クレーン本体ガーダ、脚部、ガーダ継ぎ、脚下部継ぎ、転倒防止装置、走行車輪、走行レール、トロリストoppa、吊具（ワイヤロープ及びフック）、単軸粘性ダンパ（クレビスを含む）及びブレースについて実施する。取水槽ガントリクレーンの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

## 4. 地震応答解析及び構造強度評価

### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

#### 4.1.1 取水槽ガントリクレーンの構造概要

取水槽ガントリクレーンは、脚、クレーン本体ガーダ、トロリ、ホイスト、単軸粘性ダンパなどの構造体で構成されている。

脚はクレーン本体ガーダを支持し、下部には走行車輪が設置されている。クレーン本体ガーダは脚の上部にあり、その上面にトロリが移動するための横行レールが設置されており、下部にはホイストレールが設置されている。ガーダ継ぎは走行方向にクレーン本体ガーダと接続されている。脚下部継ぎは走行車輪間に走行方向に設置されている。原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンス時には、トロリに設置された巻上げ装置（主巻）、又はホイストを使用して、ワイヤロープ及びフックを介し、吊荷の吊上げ、吊下げ、移動等の作業を実施する。

取水槽ガントリクレーンは大型の構造物であり、制震装置の設置による地震荷重の低減が耐震性向上に有効である。取水槽ガントリクレーンの応答は、走行レールの直交方向に脚が変形する振動モードが支配的であり、クレーン本体ガーダと脚の間にブレースを介して単軸粘性ダンパを制震装置として設置する。

単軸粘性ダンパはシリンダ、ピストン、ロッド及び粘性体で構成されている。

単軸粘性ダンパとクレーン本体ガーダの接続、ブレースと脚の接続部にはクレビスと呼ぶ回転部を設けている。このクレビスは単軸粘性ダンパの伸縮方向と直交する一方方向にはピンを軸として自由に回転可能となっている。また、ピンの軸受部は球面軸受となっており、単軸粘性ダンパに伸縮方向以外の荷重が加わらない構造としている。クレビス部詳細を図 4-1 に示す。

取水槽ガントリクレーンは、取水槽海水ポンプエリアの北側と取水槽循環水ポンプエリアの南側に敷設された走行レール上を脚下部にある走行装置及び車輪によって東西方向に移動する。トロリは、クレーン本体ガーダ上面の横行レール上を横行装置及び横行車輪によって南北方向に移動する。ホイストは、クレーン本体ガーダ下に設置されたホイストレールに沿って、南北方向に移動する。また、取水槽ガントリクレーンの地震による転倒を防止するため、本体下部に転倒防止

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 クレーン本体ガーダ及び脚部の応力の計算方法

#### (1) 設計荷重

クレーン各部に加わる荷重を図 4-2 の解析モデルを用いて、非線形時刻歴解析により求める。表 4-10 に解析モデルの概要を示す。クレーン本体ガーダの断面図を図 4-9 に、脚部、脚下部継ぎ、ガーダ継ぎの断面図を図 4-10 に示す。また、転倒防止装置の概要図を図 4-11 に、走行車輪の概要図を図 4-12 に、走行レールの概要図を図 4-13 及び図 4-14 に、トロリストッパの概要図を図 4-15 に示す。

また、本評価の時刻歴解析には、4.5 項に示す時刻歴解析の保守性を考慮する。

表 4-10 解析モデルの概要

解析モデル		
構造物	クレーン本体ガーダ	
	トロリ	
	脚	
	ガーダ継ぎ	
	脚下部継ぎ	
	吊具	吊荷
ワイヤロープ		
車輪部	ガーダ車輪	
	トロリ車輪	
	ホイスト車輪	
解析モデル図		図 4-2

#### (2) クレーン本体ガーダの応力

クレーン本体ガーダにおける最大発生応力を図 4-9 に示す断面で計算する。

##### (a) 曲げ応力

クレーン本体ガーダの鉛直曲げモーメントによるクレーン本体ガーダの曲げ応力： $\sigma_{vg}$

$$\sigma_{vg} = \frac{M_{vg}}{Z_{Xg}} \dots \dots \dots (4.6.1.1)$$

クレーン本体ガーダの水平曲げモーメントによるクレーン本体ガーダの曲

## 4.6.4 走行レールの応力の計算方法

## (1) 走行レールの応力（走行車輪との取合箇所）

走行レール（走行車輪との取合箇所）の評価を図4-13を用いて計算する。

走行車輪に作用する鉛直力（下向き） $F_{cV}$ は図4-13のハッチング部に示すように走行レールに分散する。

走行車輪に作用する水平力 $F_{cH}$ は図4-13のハッチング部に示すように走行レールに分散する。

走行レール頭部への水平力における荷重伝達幅： $b_{2H}$

$$b_{2H} = b_{1H} + 2 \cdot \ell_6 \quad \dots \dots \dots (4.6.4.1)$$

走行レールウェブへの水平力における荷重伝達幅： $b_{3H}$

$$b_{3H} = b_{2H} + 2 \cdot \ell_7 \quad \dots \dots \dots (4.6.4.2)$$

走行レールウェブへの鉛直力（下向き）における荷重伝達幅： $b_{2V}$

$$b_{2V} = b_{1V} + 2 \cdot (\ell_7 + \ell_8) \quad \dots \dots \dots (4.6.4.3)$$

水平力に対する走行レールウェブの断面積： $A_3$

$$A_3 = t_3 \cdot b_{3H} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.4)$$

鉛直力に対する走行レールウェブの断面積： $A_4$

$$A_4 = t_3 \cdot b_{2V} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.5)$$

走行レールウェブのせん断応力： $\tau_c$

$$\tau_c = \frac{F_{cH}}{A_3} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.6)$$

走行レールウェブの断面係数： $Z_c$

$$Z_c = \frac{1}{6} \cdot t_3^2 \cdot b_{3H} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.7)$$

走行レールウェブの垂直応力： $\sigma_{bc}$

$$\sigma_{bc} = \frac{F_{cH} \cdot \ell_7}{Z_c} + \frac{F_{cV}}{A_4} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.8)$$

走行レールウェブの組合せ応力： $\sigma_c$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{bc}^2 + 3\tau_c^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.9)$$

(2) 走行レールの応力（転倒防止装置との取合箇所）

走行レール（転倒防止装置との取合箇所）の評価を図 4-14 を用いて計算する。

転倒防止装置に作用する鉛直力（上向き） $F_a$ は図 4-14 のハッチング部に示すように走行レールに分散する。

走行レール頭部への鉛直力（上向き）における荷重伝達幅： $b_{4v}$

$$b_{4v} = b_{3v} + 2 \cdot (\ell_9 + \ell_{10}) \quad \dots \dots \dots (4.6.4.10)$$

鉛直力（上向き）に対する走行レール頭部の断面積： $A_5$

$$A_5 = t_4 \cdot b_{4v} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.11)$$

走行レール頭部のせん断応力： $\tau_d$

$$\tau_d = \frac{F_a}{A_5} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.12)$$

鉛直力（上向き）に対する走行レール頭部の断面係数： $Z_d$

$$Z_d = \frac{1}{6} \cdot t_4^2 \cdot b_{4v} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.13)$$

走行レール頭部の曲げ応力： $\sigma_{bd}$

$$\sigma_{bd} = \frac{F_a \cdot \ell_9}{Z_d} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.14)$$

走行レール頭部の組合せ応力： $\sigma_d$

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_{bd}^2 + 3\tau_d^2} \quad \dots \dots \dots (4.6.4.15)$$

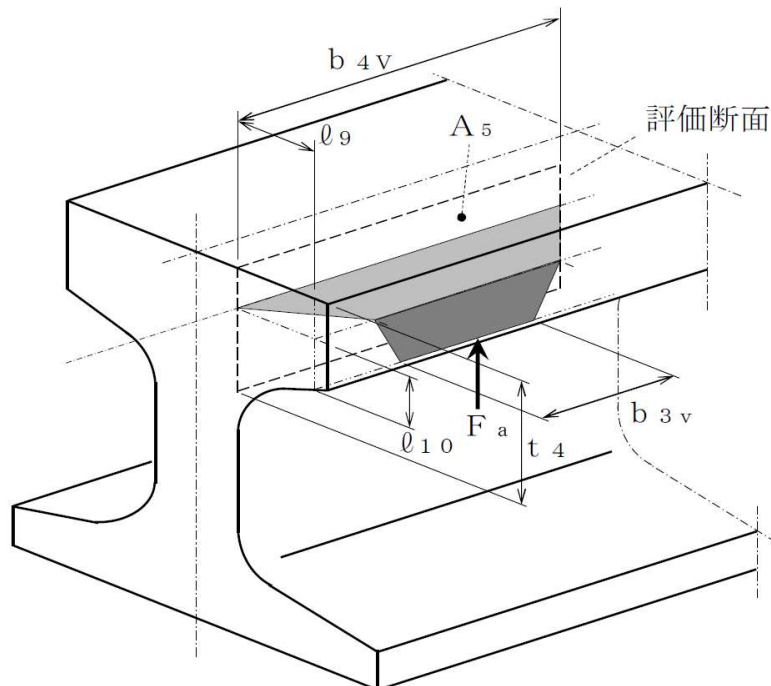


図 4-14 走行レール（転倒防止装置との取合箇所）の概要図

ただし,

$$\lambda = \frac{\ell_{k1i}}{i_{1i}} \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (4.8.1.2)$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \dots\dots\dots (4.8.1.3)$$

曲げ応力と軸力が同時に作用する部材は次式を満足しなければならない。

a. 圧縮力と曲げモーメントを同時に受ける部材

$$\frac{\sigma_{c1i}}{f_{cm}} + \frac{\sigma_{b1i}}{f_{bm}} \leq 1 \dots\dots\dots (4.8.1.4)$$

b. 引張力と曲げモーメントを同時に受ける部材

$$\frac{\sigma_{t1i} + \sigma_{b1i}}{f_{tm}} \leq 1 \dots\dots\dots (4.8.1.5)$$

#### 4.8.2 転倒防止装置の評価

4.6.2 項で求めた転倒防止装置の組合せ応力が下記の許容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
許容組合せ応力	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$



## 1.4 評価結果

### 1.4.1 クレーン本体に生じる応力

部位	材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	SS400	せん断 (MPa)	$\tau_g = 26$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{bg} = 128$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (曲げ+せん断) (MPa)	$\sigma_g = 134$	280
脚	SS400	圧縮 (MPa)	$\sigma_{c11} = 36$	$f_{cm} = 279$
		引張 (MPa)	$\sigma_{t11} = 5$	$f_{tm} = 280$
		せん断 (MPa)	$\tau_{11} = 77$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{b11} = 194$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (圧縮+曲げ) (-)	0.798	1.0
		組合せ (曲げ+せん断) (MPa)	$\sigma_{11} = 228$	280
脚下部継ぎ	SS400	圧縮 (MPa)	$\sigma_{c12} = 23$	$f_{cm} = 263$
		引張 (MPa)	$\sigma_{t12} = 14$	$f_{tm} = 280$
		せん断 (MPa)	$\tau_{12} = 57$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{b12} = 224$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (圧縮+曲げ) (-)	0.835	1.0
		組合せ (曲げ+せん断) (MPa)	$\sigma_{12} = 244$	280
ガーダ継ぎ	SS400	圧縮 (MPa)	$\sigma_{c13} = 5$	$f_{cm} = 275$
		引張 (MPa)	$\sigma_{t13} = 5$	$f_{tm} = 280$
		せん断 (MPa)	$\tau_{13} = 97$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{b13} = 99$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (引張+曲げ) (-)	0.363	1.0
		組合せ (曲げ+せん断) (MPa)	$\sigma_{13} = 176$	280

全て許容応力以下である。

### 1.4.2 転倒防止装置に生じる応力

(単位: MPa)

部材	評価部位	荷重	応力	算出応力	許容応力
転倒防止装置 アーム	爪部	鉛直浮上り荷重	組合せ応力 (曲げ+せん断)	$\sigma_a = 201$	357

全て許容応力以下である。

## 1.4.3 走行車輪に生じる応力

部位	材料	応力	算出応力	許容応力
走行車輪	SSW-Q1	せん断 (MPa)	$\tau_b = 60$	$f_{sm} = 311$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{bb} = 325$	$f_{bm} = 539$
		組合せ (曲げ+せん断) (MPa)	$\sigma_b = 341$	539

全て許容応力以下である。

## 1.4.4 走行レールに生じる応力

部位	材料	応力	算出応力	許容応力
走行レール (走行車輪側)	レール鋼	せん断 (MPa)	$\tau_c = 28$	$f_{sm} = 315$
		垂直 (MPa)	$\sigma_{bc} = 460$	$f_{bm} = 546$
		組合せ (垂直+せん断) (MPa)	$\sigma_c = 463$	546
走行レール (転倒防止 装置側)	レール鋼	せん断 (MPa)	$\tau_d = 18$	$f_{sm} = 315$
		垂直 (MPa)	$\sigma_{bd} = 35$	$f_{bm} = 546$
		組合せ (曲げ+せん断) (MPa)	$\sigma_d = 47$	546

全て許容応力以下である。

## 1.4.5 トロリストッパに生じる応力 (単位: MPa)

部材	圧縮	許容応力
トロリストッパ	4	$f_{cm} = 280$

全て許容応力以下である。

## 1.4.6 トロリの浮上り量 (単位: mm)

部材	浮上り量	許容浮上り量
トロリ	9.0	$H_t = 150$

全て許容浮上り量以下である。

## 1.4.7 吊具荷重 (単位: N)

部材		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具 (主巻)	ワイヤロープ	IWRC 6×Fi (29)	吊荷荷重	$P_w = 1.276 \times 10^6$	$f_{w1} = 4.078 \times 10^6$
	フック	S35C			$f_{h1} = 4.980 \times 10^6$
吊具 (ホイスト)	ワイヤロープ	4×F (40)	吊荷荷重	$P_w = 4.934 \times 10^5$	$f_{w2} = 1.479 \times 10^6$
	フック	SCM435			$f_{h2} = 2.060 \times 10^6$

全て許容荷重以下である。

1.4.8 単軸粘性ダンパ及びブレース

評価部材	評価項目	算出値	許容限界
単軸粘性ダンパ	荷重 (N)	$2.572 \times 10^5$	$3.0 \times 10^5$
単軸粘性ダンパ	変位 (mm)	44	100
ブレース	圧縮応力 (MPa)	16	78
クレビス	せん断応力 (MPa)	91	375
クレビス	曲げ応力 (MPa)	261	651
クレビス	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)	305	651
クレビス	回転角度 (°)	0.8	3

全て許容限界以下である。

## 2.4 評価結果

### 2.4.1 クレーン本体に生じる応力

部位	材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体 ガーダ	SS400	せん断 (MPa)	$\tau_g = 26$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{bg} = 128$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (曲げ+せん断) (MPa)	$\sigma_g = 134$	280
脚	SS400	圧縮 (MPa)	$\sigma_{c11} = 36$	$f_{cm} = 279$
		引張 (MPa)	$\sigma_{t11} = 5$	$f_{tm} = 280$
		せん断 (MPa)	$\tau_{11} = 77$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{b11} = 194$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (圧縮+曲げ) (-)	0.798	1.0
		組合せ (曲げ+せん断) (MPa)	$\sigma_{11} = 228$	280
脚下部継ぎ	SS400	圧縮 (MPa)	$\sigma_{c12} = 23$	$f_{cm} = 263$
		引張 (MPa)	$\sigma_{t12} = 14$	$f_{tm} = 280$
		せん断 (MPa)	$\tau_{12} = 57$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{b12} = 224$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (圧縮+曲げ) (-)	0.835	1.0
		組合せ (曲げ+せん断) (MPa)	$\sigma_{12} = 244$	280
ガーダ継ぎ	SS400	圧縮 (MPa)	$\sigma_{c13} = 5$	$f_{cm} = 275$
		引張 (MPa)	$\sigma_{t13} = 5$	$f_{tm} = 280$
		せん断 (MPa)	$\tau_{13} = 97$	$f_{sm} = 161$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{b13} = 99$	$f_{bm} = 280$
		組合せ (引張+曲げ) (-)	0.363	1.0
		組合せ (曲げ+せん断) (MPa)	$\sigma_{13} = 176$	280

全て許容応力以下である。

### 2.4.2 転倒防止装置に生じる応力

(単位: MPa)

部材	評価部位	荷重	応力	算出応力	許容応力
転倒防止装置 アーム	爪部	鉛直浮上り荷重	組合せ応力 (曲げ+せん断)	$\sigma_a = 201$	357

全て許容応力以下である。

### 2.4.3 走行車輪に生じる応力

部位	材料	応力	算出応力	許容応力
走行車輪	SSW-Q1	せん断 (MPa)	$\tau_b = 60$	$f_{sm} = 311$
		曲げ (MPa)	$\sigma_{bb} = 325$	$f_{bm} = 539$
		組合せ (曲げ+せん断) (MPa)	$\sigma_b = 341$	539

全て許容応力以下である。

### 2.4.4 走行レールに生じる応力

部位	材料	応力	算出応力	許容応力
走行レール (走行車輪側)	レール鋼	せん断 (MPa)	$\tau_c = 28$	$f_{sm} = 315$
		垂直 (MPa)	$\sigma_{bc} = 460$	$f_{bm} = 546$
		組合せ (垂直+せん断) (MPa)	$\sigma_c = 463$	546
走行レール (転倒防止 装置側)	レール鋼	せん断 (MPa)	$\tau_d = 18$	$f_{sm} = 315$
		垂直 (MPa)	$\sigma_{bd} = 35$	$f_{bm} = 546$
		組合せ (曲げ+せん断) (MPa)	$\sigma_d = 47$	546

全て許容応力以下である。

### 2.4.5 トロリストoppaに生じる応力 (単位: MPa)

部材	圧縮	許容応力
トロリストoppa	4	$f_{cm} = 280$

全て許容応力以下である。

### 2.4.6 トロリの浮上り量 (単位: mm)

部材	浮上り量	許容浮上り量
トロリ	9.0	$H_t = 150$

全て許容浮上り量以下である。

### 2.4.7 吊具荷重 (単位: N)

部材		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具 (主巻)	ワイヤロープ	IWRC 6×Fi (29)	吊荷荷重	$P_w = 1.276 \times 10^6$	$f_{w1} = 4.078 \times 10^6$
	フック	S35C			$f_{h1} = 4.980 \times 10^6$
吊具 (ホイスト)	ワイヤロープ	4×F (40)	吊荷荷重	$P_w = 4.934 \times 10^5$	$f_{w2} = 1.479 \times 10^6$
	フック	SCM435			$f_{h2} = 2.060 \times 10^6$

全て許容荷重以下である。

2.4.8 単軸粘性ダンパ及びブレース

評価部材	評価項目	算出値	許容限界
単軸粘性ダンパ	荷重 (N)	$2.572 \times 10^5$	$3.0 \times 10^5$
単軸粘性ダンパ	変位 (mm)	44	100
ブレース	圧縮応力 (MPa)	16	78
クレビス	せん断応力 (MPa)	91	375
クレビス	曲げ応力 (MPa)	261	651
クレビス	組合せ応力 (曲げ+せん断) (MPa)	305	651
クレビス	回転角度 (°)	0.8	3

全て許容限界以下である。

4.6.1.2 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引張力  $F_{Bx}$ 、せん断力  $F_{By}$ 、 $F_{Bz}$  から手計算により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）の基礎ボルト部の概要を図4-6に示す。

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張応力は、引張力  $F_{Bx}$  を考え、これを図4-6に示す評価対象ボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

$$F_B = \frac{|F_{Bx}|}{n_1} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

b. 引張応力

$$A_B = \frac{\pi}{4} \times d_o^2 \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

$$\sigma_{tB} = \frac{F_B}{A_B} \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

(2) せん断応力

a. せん断力

$$Q_B = \frac{\sqrt{F_{By}^2 + F_{Bz}^2}}{n_2} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

b. せん断応力

$$\tau_B = \frac{Q_B}{A_B} \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

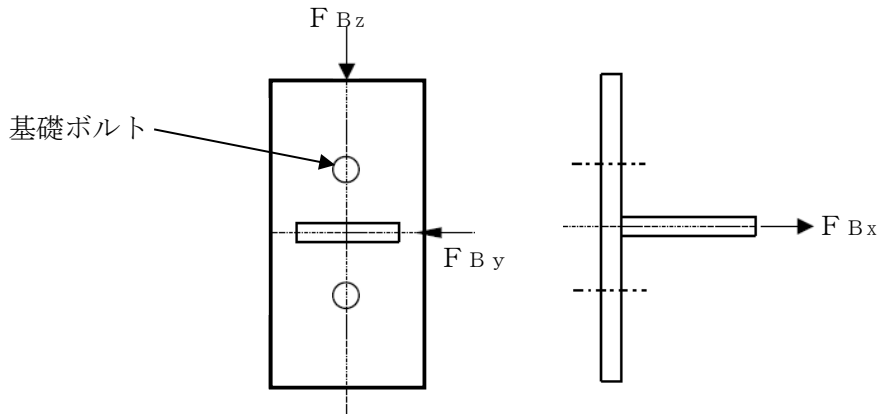


図4-6 基礎ボルト部の概要

1.3 計算数値

1.3.1 フレーム部材の荷重

(単位：N)

機器名称	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>
	基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>
耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）			

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。

(単位：N)

機器名称	F <sub>A</sub>	F <sub>S</sub>
	基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>
耐火障壁（中央制御室送風機）		

1.3.2 フレーム部材のモーメント

(単位：N・mm)

機器名称	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
	基準地震動 S <sub>s</sub>	基準地震動 S <sub>s</sub>
耐火障壁（格納容器ガスサンプ リング装置冷却器）		

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。

(単位：N・mm)

機器名称	M
	基準地震動 S <sub>s</sub>
耐火障壁（中央制御室送風機）	



5.1.2	復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（杵材，ブレース材，ガセットプレート，ベースプレート及びリブプレート）の健全性に対する許容限界	61
5.1.3	復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（アンカーボルト）の健全性に対する許容限界	64
5.1.4	基礎地盤の健全性に対する許容限界	65
6.	耐震評価結果	66

## 3.5.1 主桁、受桁、水平材、斜材及び支持杭に対する許容限界

## (1) 曲げ軸力に対する許容限界

## a. 主桁

主桁の曲げ軸力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」を参考に設定する。

主桁の曲げ軸力に対する許容限界を表3-6に示す。

表3-6 評価対象部位（主桁）の曲げ軸力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
短期許容曲げ圧縮応力度	276
短期許容曲げ引張応力度	315

## b. 受桁、水平材、斜材及び支持杭

受桁、水平材、斜材及び支持杭の曲げ軸力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成24年3月）」を参考に，以下の式にて算出する。

## (a) 軸方向力が引張の場合

$$\begin{aligned} \sigma_t + \sigma_{bty} + \sigma_{btz} &\leq \sigma_{ta} \\ -\frac{\sigma_t}{\sigma_{ta}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy}} + \frac{\sigma_{bcz}}{\sigma_{bao}} &\leq 1 \\ -\sigma_t + \sigma_{bcy} + \sigma_{bcz} &\leq \sigma_{cal} \end{aligned}$$

## (b) 軸方向力が圧縮の場合

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_c}{\sigma_{caz}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy}\alpha_y} + \frac{\sigma_{bcz}}{\sigma_{bao}\alpha_z} &\leq 1 \\ \sigma_c + \frac{\sigma_{bcy}}{\alpha_y} + \frac{\sigma_{bcz}}{\alpha_z} &\leq \sigma_{cal} \end{aligned}$$

(2) せん断力に対する許容限界

a. 主桁

主桁のせん断力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」を参考に設定する。

主桁のせん断力に対する許容限界を表3-7に示す。

表3-7 評価対象部位（主桁）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
短期許容せん断応力度	180

b. 受桁，水平材，斜材及び支持杭

受桁，水平材，斜材及び支持杭のせん断力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」を参考に設定する。

受桁，水平材，斜材及び支持杭のせん断力に対する許容限界を表3-8に示す。

表3-8 評価対象部位（受桁，水平材，斜材及び支持杭）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
短期許容せん断応力度	120

### 3.5.2 支承部に対する許容限界

#### (1) 曲げ軸力に対する許容限界

##### a. 沓座

沓座の曲げ軸力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」を参考に設定する。

沓座の曲げ軸力に対する許容限界を表3-9に示す。

表3-9 評価対象部位（沓座）の曲げ軸力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
短期許容曲げ応力度	255

#### (2) せん断力に対する許容限界

##### a. 沓座

沓座のせん断力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」を参考に設定する。

沓座のせん断力に対する許容限界を表3-10に示す。

表3-10 評価対象部位（沓座）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
短期許容せん断応力度	150

##### b. ソールプレート

ソールプレートのせん断力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」を参考に設定する。

ソールプレートのせん断力に対する許容限界を表3-11に示す。

表3-11 評価対象部位（ソールプレート）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
短期許容せん断応力度	120

### 3.5.3 固定ボルトに対する許容限界

#### (1) せん断力に対する許容限界

固定ボルトのせん断力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」を参考に設定する。

固定ボルトのせん断力に対する許容限界を表3-12に示す。

表3-12 評価対象部位（固定ボルト）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
短期許容せん断応力度 (普通ボルト (4.8))	135
短期許容せん断応力度 (高力ボルト (10T))	285

#### (2) 引張力に対する許容限界

固定ボルトの引張力に対する許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」を参考に設定する。

固定ボルトの引張力に対する許容限界を表3-13に示す。

表3-13 評価対象部位（固定ボルト）の引張力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (kN)
短期許容引張力	277

### 3.5.4 溶接部に対する許容限界

溶接部は、すみ肉溶接のため、溶接部に発生する応力はすべてせん断応力とみなす。また、現地溶接による仮設構造物であるため、「道路土工 仮設構造物指針（（社）日本道路協会，平成 11 年 3 月）」を参考に、許容応力度を母材の 80% とする。

溶接部のせん断力に対する許容限界を表 3-14 に示す。

表 3-14 評価対象部位（溶接部）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
短期許容せん断応力度	96

### 3.5.5 橋台（東側）に対する許容限界

橋台（東側）の許容限界については、「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき、表 3-15 のとおり設定する。短期許容せん断力は、表 3-15 に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定する。

$$V_a = V_c + V_s$$

ここで、

$V_a$  : 短期許容せん断力

$V_c$  : コンクリートが分担するせん断力

$V_s$  : せん断補強鉄筋が分担するせん断力

$$V_c = \frac{1}{2} \tau_{a1} \cdot b_w \cdot z$$

ここで、

$\tau_{a1}$  : コンクリートの短期許容せん断応力度

$b_w$  : 部材の有効幅

$d$  : 部材の有効高さ

$z$  : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で  $d/1.15$  とする。

ただし、せん断補強筋を有さない場合は、 $V_c = \tau_{a1} \cdot b_w \cdot z$

$$V_s = \{A_w \sigma'_{sa} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} z$$

ここで、

$A_w$  : 区間  $s$  におけるせん断補強筋の総断面積

$\sigma'_{sa}$  : 鉄筋の短期許容引張応力度

$\alpha$  : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度

$s$  : せん断補強鉄筋の配置間隔

ただし、せん断補強筋を有さない場合は、 $V_s=0$

表 3-15 橋台（東側）に対する許容限界

評価項目		許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
コンクリート $f'_{ck}=24$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	13.5
	短期許容せん断応力度 $\tau_{al}$	0.675
鉄筋 SD345	短期許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	294

### 3.5.6 置換コンクリート（西側）に対する許容限界

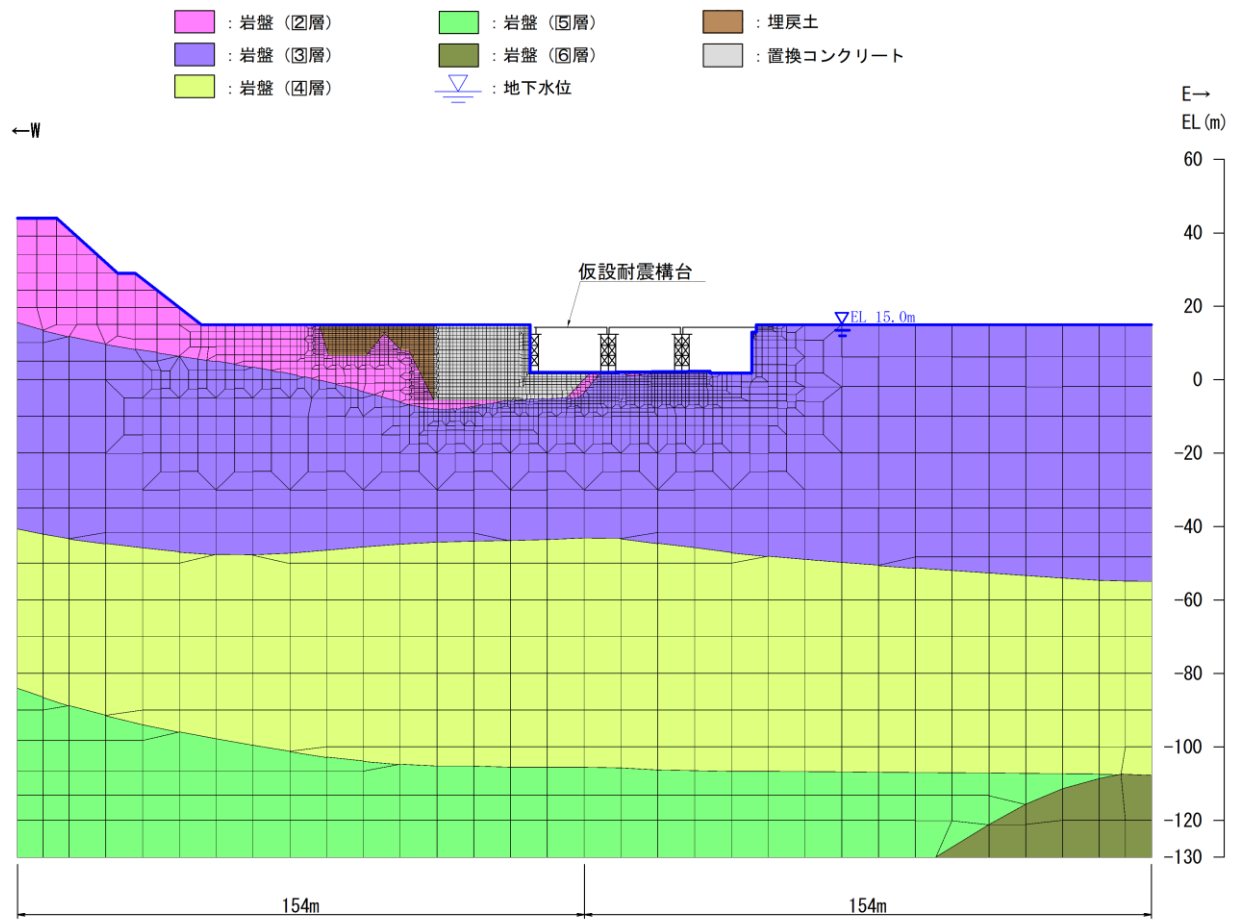
置換コンクリート（西側）の許容限界については、「コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編]」（（社）土木学会，2013年制定）」及び「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年制定）」により，表 3-16 のとおり設定する。

表 3-16 置換コンクリート（西側）に対する許容限界

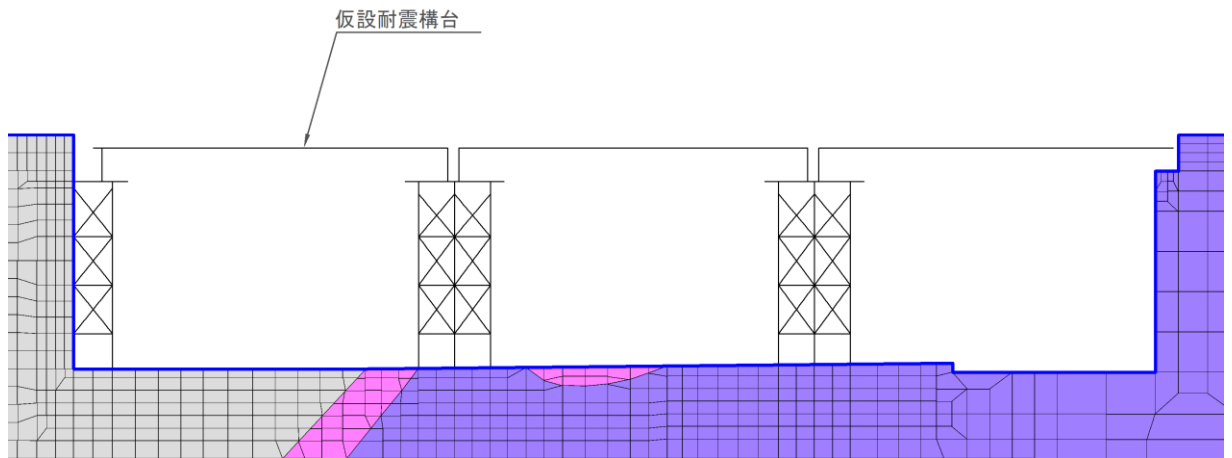
評価項目		許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
置換コンクリート $f'_{ck}=18$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断強度* <sup>1</sup>	3.6
	引張強度* <sup>2</sup>	1.57

注記\*1：コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編]（（社）土木学会，2013年制定）

\*2：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）



(全体図)



(拡大図)

図 3-17 (2) 仮設耐震構台の地震応答解析モデル (B-B断面 (東西方向))



(4) 溶接部に対する評価方法

溶接部に対する評価においては、2次元FEM解析から溶接位置の最大断面力を抽出し、溶接部のせん断力照査を行う。照査については、「道路橋示方書（I 共通編・II 鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会、平成14年3月）」を参考に以下の式にて算出するせん断応力が、「3.5.4 溶接部に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

a. せん断力が作用する場合

$$\tau = \frac{P}{\sum al}$$

$\tau$  : 溶接部に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : 継手に作用するせん断力 (N)

$a$  : 溶接の有効厚 (mm)

$l$  : 溶接の有効長 (mm)

b. 曲げ軸力が作用する場合

$$\tau = \frac{M}{I} \cdot y$$

$\tau$  : 溶接部に生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 継手に作用する曲げモーメント (N・mm)

$I$  : のど厚を接合面に展開した断面のその中立軸のまわりの断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)

$y$  : 展開図形の中立軸から応力度を算出する位置までの距離 (mm)

c. せん断力と曲げ軸力の合成力が作用する場合

$$\left(\frac{\tau_b}{\tau_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_s}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.0$$

$\tau_b$  : 軸方向若しくは曲げモーメントによるせん断応力度又は両者の和 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_a$  : 許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_s$  : せん断力によるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

### 3.5.3 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する許容限界

グラウンドアンカの許容アンカー力は、「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（（社）地盤工学会，2012年）」により，テンドンの許容引張力，テンドンの許容拘束力，アンカーの許容引抜き力のうち，最も小さい値を設定する。

表 3-10 許容アンカー力及び設計アンカー力の設定(単位奥行あたり)

	2 段目	3 段目
テンドンの許容引張力 (kN)	396.5	158.6
テンドンの許容拘束力 (kN)	433.9	108.8
アンカーの許容引抜き力 (kN)	612.6	282.7
許容アンカー力 (kN)	396.5	108.8
設計アンカー力 (kN)	150.0	30.0

## (4) 直接基礎

直接基礎については、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の平面図及び断面図を図3-3-57及び図3-3-58に示す。

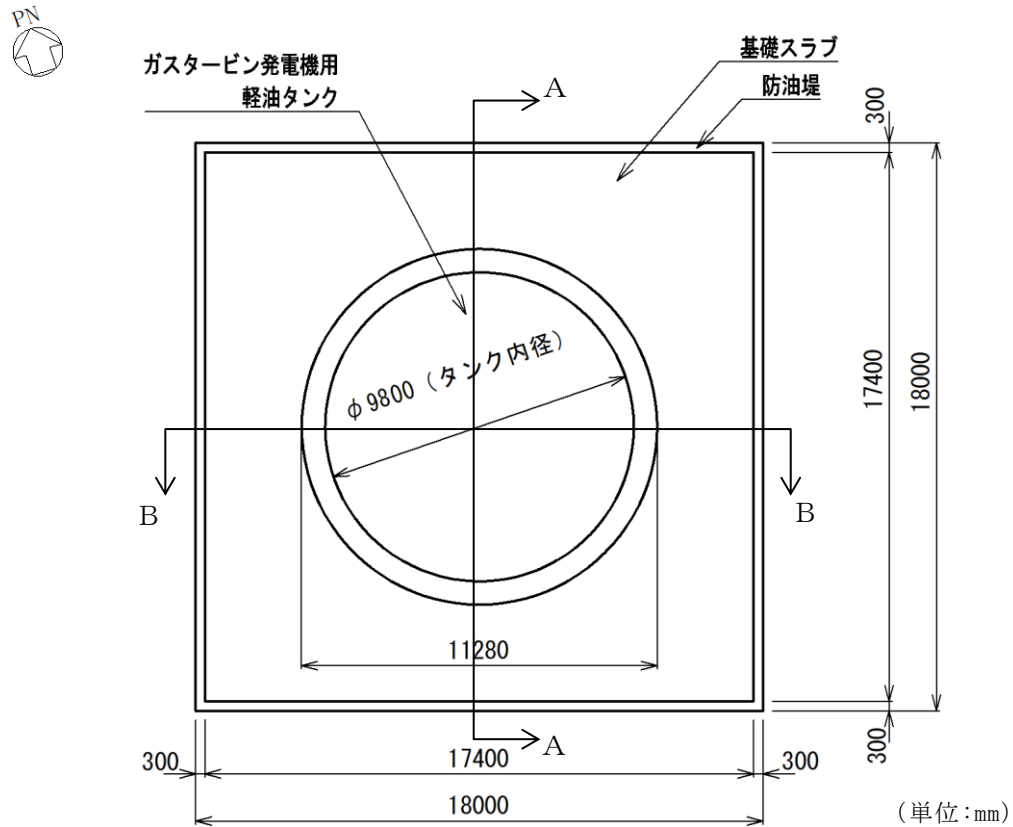


図3-3-57 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図

### 3.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

#### (1) 箱型構造物

##### a. 評価方法

箱型構造物のうち、本書においては、矩形の構造物のうち構造が単純で水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が明確なB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽、第1ベントフィルタ格納槽、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽及び緊急時対策所用燃料地下タンクの評価結果を示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、箱型構造物の弱軸方向断面及び強軸方向断面におけるそれぞれの2次元地震応答解析にて、互いに干渉し合う断面力や応力を選定し、弱軸方向加振における部材照査において、強軸方向加振の影響を考慮し評価する。

強軸方向加振については、箱型構造物の隔壁・側壁が、強軸方向加振にて耐震壁としての役割を担うことから、当該構造部材を耐震壁と見なし、「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)」(以下「RC規準」という。)に基づき耐震評価を実施する。

RC規準では、耐震壁に生じるせん断力(面内せん断)に対して、コンクリートのみで負担できるせん断耐力と、鉄筋のみで負担できるせん断耐力のいずれか大きい方を鉄筋コンクリートのせん断耐力として設定する。したがって、壁部材に生じるせん断力がコンクリートのみで負担できるせん断力以下であれば、鉄筋によるせん断負担はなく鉄筋には応力が発生しないものとして取り扱う。

一方、強軸方向加振にて生じるせん断力を、箱型構造物の隔壁・側壁のコンクリートのみで負担できず、鉄筋に負担させる場合、図3-3-65に示すとおり、強軸方向加振にて発生する側壁・隔壁の主筋の発生応力が、弱軸方向における構造部材の照査に影響を及ぼす可能性がある。

したがって、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、強軸方向加振にて発生する応力を、弱軸方向における構造部材の照査に付加することで、その影響の有無を検討する。

弱軸方向及び強軸方向の地震応答解析では、保守的に両方とも基準地震動 $S_s$ を用いる。

図3-3-66に水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価フローを示す。

b. 評価条件

箱型構造物の評価条件については、各構造物それぞれに対応する地震応答計算書に記載の解析手法，解析モデル，解析ケース及び地震動とする。

c. 許容限界

許容限界は，RC規準に基づき，コンクリートの短期許容せん断応力度  $f_s$  とする。

表 3-3-5 に各構造物におけるコンクリートの短期許容せん断応力度を示す。

表 3-3-5 コンクリートの短期許容せん断応力度

対象構造物	設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 せん断応力度 $f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	備考
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	24.0	1.11	( $F_c/30$ かつ $0.5 + F_c/100$ 以下) の 1.5 倍
第1ベントフィルタ格納槽			
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽			
緊急時対策所用燃料地下タンク			

## 1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第11条、第52条及びそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」にて適合することを要求している「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」に適合する設計とするため、VI-1-1-8「発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」（以下「VI-1-1-8」という。）に示す火災感知設備及び消火設備が、火災防護上重要な機器等の耐震クラス及び重大事故等対処施設の区分に応じた地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。

火災防護設備の計算結果は、VI-2-別添 1-2-1「火災感知器の耐震性についての計算書」、VI-2-別添 1-2-2「火災受信機盤の耐震性についての計算書」、VI-2-別添 1-3-1「ボンベラックの耐震性についての計算書」、VI-2-別添 1-3-2「選択弁の耐震性についての計算書」、VI-2-別添 1-3-3「制御盤の耐震性についての計算書」及びVI-2-別添 1-3-4「管の耐震性についての計算書(消火設備)」に示すとともに、動的地震力の水平2方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果をVI-2-別添 1-4「火災防護設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価」に示す。

#### 4. 固有周期

火災感知設備及び消火設備の固有周期は、理論式、振動試験（正弦波掃引試験）、3次元FEMモデルによる解析により求める。

#### 5. 構造強度評価

##### 5.1 構造強度評価方法

###### 5.1.1 火災感知器

- (1) 火災感知器及び支持架台又は固定金具の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は火災感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。
- (3) 火災感知器は、取付ボルトにて固定金具又は支持架台に取付けられている。固定金具又は支持架台は、基礎ボルトにて建物躯体部に固定されているため、固定金具又は支持架台と建物躯体部との固定部を固定端とする。
- (4) 天井取付型の火災感知器の転倒方向は、図 5-1 及び図 5-2 における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を記載する。
- (5) 壁掛型の火災感知器の転倒方向は、図 5-3～図 5-5 における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を記載する。
- (6) 火災感知器及び固定金具又は支持架台の重心位置については、転倒方向を考慮して、実機での重心位置又は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。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

###### 5.1.2 火災受信機盤

火災受信機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。

###### 5.1.3 ボンベラック

- (1) ボンベラックについては、3次元FEMモデルによる地震応答解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。
- (2) ガスボンベは、ボンベラックに固定され、ボンベラックは、基礎ボルトにより建物躯体である壁若しくは床に固定される。
- (3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果、1次固有振動数が20Hz以上の場合は剛構造として最大応答加速度の1.2倍の加速度による静的解析を行い、20Hz未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

###### 5.1.4 選択弁

- (1) 選択弁ラックについては、3次元FEMモデルによる地震応答解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)	
水平方向	0.039
鉛直方向	0.050 以下

1.4.2 構造強度評価結果

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ポンベラック (680 2列5本用)	ポンベラック 部材	SS400	組合せ応力	$\sigma_f = 123$	$f_{t_m} = 279$
	基礎ボルト	SS400	引張応力	$\sigma_{t_b} = 40$	$f_{t_s} = 168^*$
			せん断応力	$\tau_b = 14$	$f_{s_b} = 128$

(単位：MPa)

注記\*： $f_{t_s} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t_o} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{t_o}]$ より算出  
発生応力はすべて許容応力以下である。

1.4.3 動的機能維持評価結果

機器名称	据付場所及び 床面高さ (m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用加速度*2	機能確認済加速度	機能維持評価用加速度*2	機能確認済加速度
容器弁 (全域ガス消火設備用)	ガスタービン発電機建物 EL 47.5 (EL 54.5*1)	2.15	5.0	1.02	3.0

(単位：×9.8 m/s<sup>2</sup>)

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）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. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）」第12条及び第54条並びに「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、VI-1-1-9「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうちVI-1-1-9-3「溢水評価条件の設定」にて耐震性を有することから溢水源として設定しないとしたB、Cクラス機器（以下「B、Cクラス機器」という。）及びCクラス機器で工事計画の基本設計方針に示す浸水防護施設の主要設備リストに記載のない浸水防護施設（以下「溢水防護に係る施設」という。）が、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。B、Cクラス機器及び溢水防護に係る施設への基準地震動 $S_s$ による地震力に対する耐震性の要求は、技術基準規則の第5条及び50条の対象ではない。

B、Cクラス機器の具体的な計算の方法及び結果はVI-2-別添 2-2「溢水源としないB、Cクラス機器の耐震性についての計算書」に、溢水防護に係る施設のうち大型タンク遮断弁、燃料プール冷却系弁、循環水ポンプ出口弁、復水器水室出入口弁、被水防護カバー及び通水扉の具体的な計算の方法及び結果はVI-2-別添 2-5「大型タンク遮断弁の耐震性についての計算書」、VI-2-別添 2-4「燃料プール冷却系弁の耐震性についての計算書」、VI-2-別添 2-6「循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書」、VI-2-別添 2-7「被水防護カバーの耐震性についての計算書」及びVI-2-別添 2-3「通水扉の耐震性についての計算書」に示すとともに、動的地震力の水平2方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果はVI-2-別添 2-8「溢水防護に係る施設の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

また、基準地震動 $S_s$ による地震力に対し、止水性の維持を期待する床ドレン逆止弁及び貫通部止水処置の耐震性については、評価対象が同一であるVI-2-10-2-10「床ドレン逆止弁の耐震性についての計算書」及びVI-2-10-2-15「貫通部止水処置の耐震性についての計算書」に示す。

循環水系隔離システム等の漏えい検知器及び制御盤の耐震性については、タービン補機海水系隔離システムと同一のものを使用するため、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」に示す。

なお、主要設備リストに記載する浸水防護施設となる水密扉、堰、防水板及び防水壁の基本方針書をVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示し、その耐震性についての計算書をVI-2-10-2-9「水密扉の耐震性についての計算書」、VI-2-10-2-13「堰の耐震性についての計算書」、VI-2-10-2-14「防水板の耐震性についての計算書」及びVI-2-10-2-8「防水壁の耐震性についての計算書」に示す。

## 2. 耐震評価の基本方針

耐震評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す基準地震動 $S_s$ による地震力と組み合わせるべき他の荷重による組合せ荷重による応力又は荷重（以下「応力等」という。）が、「3.2 許容限界」で示す許容限界内にあること

リートタンク設計施工指針・解説（（社）日本水道協会，1998年）」により，Housner式を用いることとする。

なお，頂版に対しては，地震時のスロッシングによる動水圧は考慮しない。

ロ．荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.1-6 に示す。

表 3.1-6(1) 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S <sub>s</sub> )	G + P + P <sub>k</sub> + S <sub>s</sub> + P <sub>S</sub> + S <sub>K</sub> + G <sub>A</sub>

G：固定荷重

P：積載荷重（積雪荷重 P<sub>s</sub> を含む）

P<sub>k</sub>：風荷重

S<sub>s</sub>：地震荷重（基準地震動 S<sub>s</sub>）

P<sub>S</sub>：プレストレス力

S<sub>K</sub>：せん断キー荷重

G<sub>A</sub>：グラウンドアンカ力

表 3.1-6(2) 荷重の組合せ（解析ケース一覧）

地震荷重の組合せ*	解析ケース番号
H+1.0, H+0.4, V+0.4	①-1
H+1.0, H+0.4, V-0.4	①-2
H+0.4, H+0.4, V+1.0	①-3
H+0.4, H+0.4, V-1.0	①-4

注記\*：Hは水平地震動による荷重，Vは鉛直地震動による荷重を示す。

鉛直方向の符号は，+が上向きの荷重，-が下向きの荷重を示す。

ロ. 基礎地盤の健全性に対する許容限界

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 3.1-8 に示す。

表 3.1-8 非常用ろ過水タンクの許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度	C <sub>L</sub> 級岩盤	3.9

ハ. グラウンドアンカに対する許容限界

グラウンドアンカに対する許容限界は、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（(社)地盤工学会、2012年）」及び「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）」により、許容アンカー力と許容支圧応力度を設定する。

許容アンカー力は、以下の3項目について検討を行い、最も小さい値を採用する。

- 1) テンドンの許容引張力 (1684kN)
- 2) テンドンの許容拘束力 (2089kN)
- 3) アンカーの許容引抜き力 (1590kN)

グラウンドアンカに対する許容限界を表 3.1-9 に示す。

表 3.1-9 グラウンドアンカに対する許容限界

評価項目	許容限界
グラウンドアンカ	許容アンカー力: 1590 kN 許容支圧応力度: 22.5 N/mm <sup>2</sup>

## (3) 許容限界

## a. 輪谷貯水槽（西側）の健全性に対する許容限界

## (a) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

輪谷貯水槽（西側）の曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち構造物全体としての安定性確保の評価としては、「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）」に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）を許容限界とする。また、溢水影響評価の観点から、頂版及び地上の側壁部については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す貯水機能を有することの確認として、「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、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみについて、部材降伏に相当する限界ひずみ（コンクリート：2000 $\mu$ ，主鉄筋：1725 $\mu$ ）を許容限界とした確認を併せて実施する。

## (b) せん断破壊に対する許容限界

輪谷貯水槽（西側）のせん断破壊に対する許容限界は、「コンクリート標準示方書[設計編]（（社）土木学会，2007年制定）」を参考に、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

## b. 基礎地盤の健全性に対する許容限界

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、基礎地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3.2-5に示す。

表 3.2-5 輪谷貯水槽（西側）の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度	埋戻土	1.2

## (3) 許容限界

## a. 輪谷貯水槽（東側）の健全性に対する許容限界

## (a) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

輪谷貯水槽（東側）の曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち構造物全体としての安定性確保の評価としては、「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）」に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%）を許容限界とする。また、溢水影響評価の観点から、地上の側壁部については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す貯水機能を有することの確認として、「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、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみについて、部材降伏に相当する限界ひずみ（コンクリート：2000 $\mu$ ，主鉄筋：1175 $\mu$ ）を許容限界とした確認を併せて実施する。

## (b) せん断破壊に対する許容限界

輪谷貯水槽（東側）のせん断破壊に対する許容限界は、「コンクリート標準示方書[設計編]（（社）土木学会，2007年制定）」を参考に、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

## b. 基礎地盤の健全性に対する許容限界

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、基礎地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 3.3-5 に示す。

表 3.3-5 輪谷貯水槽（東側）の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度	埋戻土	1.2

#### 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。

##### 4.3.1 使用材料

通水扉を構成する丁番及びラッチボルトの使用材料を表 4-3 に示す。

表 4-3 使用材料

部位		材質	仕様
丁番	丁番軸部	SUS304	φ 12
	丁番羽根	SUS304	T=4
	丁番取付ねじ	SUSXM7	M5
ラッチボルト		SUS304	16×22
丁番（小扉）	丁番芯棒	SUS304	φ 6
	丁番羽根	SUS304	T=2
	丁番取付ねじ	SUSXM7	M4

##### 4.3.2 許容限界

丁番及びラッチボルトを構成する部材の許容限界は、「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」に基づき設定する。各部材の許容限界を表 4-4 に示す。

表 4-4 丁番及びラッチボルトの許容限界

材質	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )		
	曲げ	引張	せん断
SUS304	205	205	118
SUSXM7	175	175	101

注：許容応力度を決定する場合の基準値Fは日本産業規格（J I S）に基づく。

## 2.3 評価結果

### 2.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

溢水防護に係る施設及びB、Cクラス機器の評価対象設備を表2-1に示す。VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価設備（部位）の抽出方法を踏まえ、評価対象設備の各評価部位及び応力分類に対し構造上の特徴から、水平2方向の地震力による影響を以下の項目により検討し影響の可能性のある設備を抽出した。

#### (1) 水平2方向の地震力が重複する観点

評価対象設備は、水平1方向の地震力に加えて、更に水平直交方向に地震力が重複した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものとして抽出した。抽出結果を表2-2に示す。なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる設備を分類しているが、水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の設備については、個別に検討を行うこととする。

#### (2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性がある設備を抽出する。抽出結果を表2-2に示す。

#### (3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)及び(2)において影響の可能性のある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の計算による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。抽出結果を表2-2に示す。

### 2.3.2 建物・建築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果

建物・建築物及び屋外重要土木構造物の検討において、溢水防護に係る施設及びB、Cクラス機器への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

### 2.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表2-2にて抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を、VI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の方法にて算出した。

b. 評価条件

箱型構造物である輪谷貯水槽（西側）の評価条件については、本構造物に対応する地震応答計算書に記載の解析手法、解析モデル、解析ケース及び地震動とする。

c. 許容限界

許容限界は、RC規準に基づき、コンクリートの短期許容せん断応力度  $f_s$  とする。

表 3-4 に輪谷貯水槽（西側）におけるコンクリートの短期許容せん断応力度を示す。

表 3-4 コンクリートの短期許容せん断応力度

対象構造物	設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 せん断応力度 $f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	備考
輪谷貯水槽（西側）	24.0	1.11	( $F_c/30$ かつ $0.5 + F_c/100$ 以下) の 1.5 倍



#### 4.3 荷重及び荷重の組合せ

車両型設備の構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、別添 3-1 の「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定した荷重及び荷重の組合せを用いる。

車両型設備の構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ

設備名称	評価部位	荷重の組合せ
車両型設備	取付ボルト	D + S <sub>s</sub>

#### 4.4 許容限界

車両型設備の直接支持構造物及び間接支持構造物の許容限界は、「4.2 評価部位」にて設定した評価部位の破断延性限界を考慮し、別添 3-1 の「3.2 許容限界」で設定した許容限界に従い、許容応力状態 IV<sub>A</sub>S の許容応力とする。

評価部位の許容限界を表 4-3 に示す。

表 4-3 取付ボルトの許容限界

評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup>	
			一次応力	
			引張 <sup>*3</sup>	せん断 <sup>*3</sup>
取付ボルト	D + S <sub>s</sub>	IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_{t*}$	$1.5 \cdot f_{s*}$

注記\*1:  $f_{t*}$ ,  $f_{s*}$ は、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中  $S_y$ を  $1.2 \cdot S_y$ と読み替えて算出した値（設計・建設規格 SSB-3133）。ただし、 $S_y$ 及び  $0.7 \cdot S_u$ のいずれか小さい方の値とする。

\*2: J E A G 4 6 0 1・補-1984 の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

\*3: ボルトにせん断力が作用する場合、組合せ評価を実施する。その際の許容引張応力  $f_{ts}$ は、設計・建設規格 SSB-3133 に基づき、  
 $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ とする。ここで、 $f_{to}$ は  $1.5 \cdot f_{t*}$ とする。

なお、 $f_{ts}$ は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をいい、 $f_{to}$ は引張力のみを受けるボルトの許容引張応力をいう。

また、機器固縛金具部の最小断面積  $A_s$  より、引張応力  $\sigma_{bt}$  及びせん断応力  $\tau_{bt}$  は、下式により計算する。

引張応力

$$\sigma_{bt} = \frac{T_s}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_{bt} = \frac{T_s}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

(2) 緊急時対策所空気浄化送風機

計算モデルを図5-2に示す。地震及び風荷重  $W_w$  を受けた際に生じる機器の転倒モーメントによって生じる張力  $T_{s1}$  及び  $T_{s2}$  は水平2方向を考慮し、下式により計算する。なお、水平2方向の震度を考慮するため、水平方向設計震度を  $\sqrt{2}$  倍する。

$$T_{s1} = \frac{m \cdot (\sqrt{2} \cdot g \cdot C_{H+a_p}) \cdot H + W_w \cdot H - m \cdot L_1 \cdot (g \cdot (1 - C_V) - a_p)}{z_H \cdot (h \cdot \cos \theta + L_2 \cdot \sin \theta)} \dots\dots (5.4.1.1.7)$$

$$T_{s2} = \frac{m \cdot (\sqrt{2} \cdot g \cdot C_{H+a_p}) \cdot H + W_w \cdot H - m \cdot L_3 \cdot (g \cdot (1 - C_V) - a_p)}{z_H \cdot (h \cdot \cos \theta + L_4 \cdot \sin \theta)} \dots\dots (5.4.1.1.8)$$

評価には  $T_{s1}$  と  $T_{s2}$  を比較し数値が大きいものを  $T_s$  として使用する。

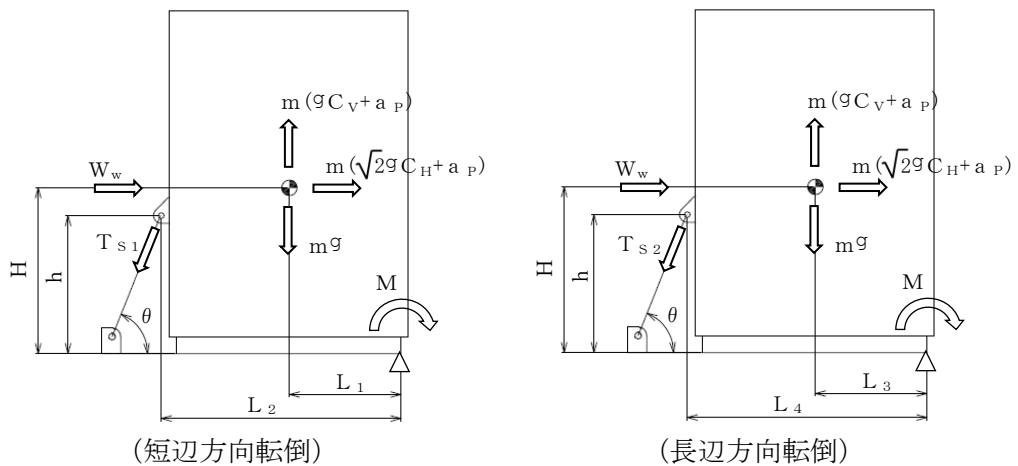


図 5-2 計算モデル（緊急時対策所空気浄化送風機の機器固縛金具）

機器固縛金具のボルト部に対する引張応力  $\sigma_b$  は、下式により計算する。

$$\sigma_b = \frac{T_s}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

表 3-3 ボルトの許容限界

評価対象部位	荷重の組合せ	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
基礎ボルト	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
取付ボルト	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 3-4 管の許容限界

評価対象部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界			
			一次一般 膜応力	一次応力 (曲げ応力 を含む)	一次+二次 応力	一次+二次 +ピーク応力
管	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS	$0.6 \cdot S_u$	$0.9 \cdot S_u$	S <sub>s</sub> 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。	

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 PPB-3536 (1), (2), (4) 及び(5) (ただし、 $S_m$ 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 3-5 溶接部の許容限界

評価対象部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界* (溶接部)
			一次応力
			せん断
溶接部	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS	$1.5 \cdot f_s^*$

注記\*：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。

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 解析方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 解析方法	8
3.1 評価対象断面	8
3.2 解析方法	11
3.2.1 構造部材	11
3.2.2 地盤	12
3.2.3 減衰定数	13
3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定	14
3.3 荷重及び荷重の組合せ	16
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	16
3.3.2 荷重	16
3.3.3 荷重の組合せ	17
3.4 入力地震動	18
3.5 解析モデル及び諸元	32
3.5.1 解析モデル	32
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	35
3.5.3 地盤の物性値	35
3.5.4 地下水位	36
4. 解析結果	37
4.1 A－A断面（東西方向）の解析結果	37
4.2 B－B断面（南北方向）の解析結果	74

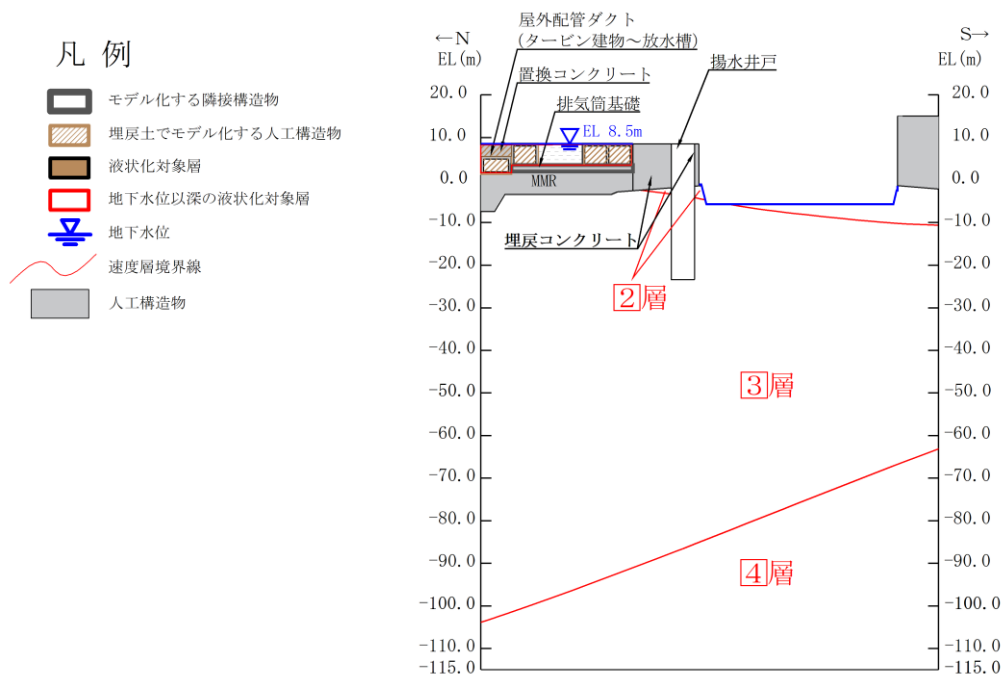


図 3-3 評価対象断面図 (B-B 断面 (南北方向))

### 3.2.3 減衰定数

減衰定数は、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。

固有値解析結果に基づき設定した  $\alpha$  ,  $\beta$  を表 3-2 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

$\alpha$  ,  $\beta$  : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数  $\alpha$  ,  $\beta$  の設定結果

評価対象断面	$\alpha$	$\beta$
A-A 断面 (東西断面)	$6.875 \times 10^{-1}$	$1.249 \times 10^{-3}$
B-B 断面 (南北断面)	$8.728 \times 10^{-1}$	$3.594 \times 10^{-4}$

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

(1) 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、基準地震動  $S_s$  全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し、基本ケース（ケース①）を実施する。基本ケースにおいて、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が0.5を超える照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、表3-1に示す解析ケース（ケース②及び③）を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合には、照査値が最も厳しくなる地震動を用いて、解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表3-3に示す。

表 3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本 ケース	地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ )を考慮し た解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ )を考慮し た解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 $\sigma$	平均値-1 $\sigma$
地震動 (位相)	S <sub>s</sub> -D	++*	○	基準地震動 $S_s$ (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全12波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が0.5を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合には、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。	
		-+*	○		
		+ -*	○		
		--*	○		
	S <sub>s</sub> -F1	++*	○		
	S <sub>s</sub> -F2	++*	○		
	S <sub>s</sub> -N1	++*	○		
		-+*	○		
	S <sub>s</sub> -N2 (NS)	++*	○		
		-+*	○		
S <sub>s</sub> -N2 (EW)	++*	○			
	-+*	○			

注記\* : 地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

### 3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S <sub>s</sub> )	G + P + S <sub>s</sub>

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S<sub>s</sub> : 地震荷重 (基準地震動 S<sub>s</sub>)



### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-6 に、材料の物性値を表 3-7 に示す。

表 3-6 構造物の使用材料

材料		仕様
構造物	コンクリート	設計基準強度 36.0N/mm <sup>2</sup>
	鉄筋	SD345, SD490
埋戻コンクリート		設計基準強度 18.0N/mm <sup>2</sup>
MMR		設計基準強度 15.6N/mm <sup>2</sup>
		設計基準強度 23.5N/mm <sup>2</sup>

表 3-7 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比
構造物	2.98×10 <sup>4</sup>	24.0* <sup>1</sup>	0.2
埋戻コンクリート (18.0N/mm <sup>2</sup> )	2.20×10 <sup>4</sup>	22.6* <sup>2</sup>	
MMR (15.6N/mm <sup>2</sup> )	2.08×10 <sup>4</sup>		
MMR (23.5N/mm <sup>2</sup> )	2.48×10 <sup>4</sup>		

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。

### 3.5.3 地盤の物性値

地盤については、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。

#### 3.5.4 地下水位

設計地下水位は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定する。設計地下水位の一覧を表 3-8 に示す。

表 3-8 設計地下水位の一覧

施設名称	解析断面	設計地下水位 (EL m)
揚水井戸	A-A断面 (東西方向)	8.5
	B-B断面 (南北方向)	8.5

【地下水位低下設備水位計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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	
地下水位低下設備 水位計 (LX282-101A)	C	地下水位低下設備 揚水井戸 EL -21.7*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C <sub>H</sub> =2.60*2	C <sub>V</sub> =1.51*2	40

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<sub>s</sub>）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部 材	m (kg)	h (mm)	t (mm)	d (mm)	l <sub>a</sub> (mm)	l <sub>1</sub> (mm)	l <sub>2</sub> (mm)	l <sub>3</sub> (mm)	n (-)	n <sub>fH</sub> (-)	n <sub>fV</sub> (-)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部 材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向		ME (N・mm)
					弾性設計用 地震動 S <sub>d</sub> 又 は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
基礎ボルト	205	520	—	205	—	前後方向	—

E (MPa)	G (MPa)	I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (mm <sup>4</sup> )	A <sub>S</sub> (mm <sup>2</sup> )
1.937×10 <sup>5</sup>	7.449×10 <sup>4</sup>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

### 2.3.2 鉛直断面に対する耐震評価

#### (1) 鉛直断面の曲げ軸力に対する評価

揚水井戸は直交する2断面（東西方向，南北方向）を解析断面として選定し，2次元地震応答解析を実施し部材の設計を行う。揚水井戸の鉛直鉄筋は2次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生断面力（曲げ軸力）を用いて2次元静的フレーム解析を実施し，照査を行う。その際，水平2方向及び鉛直方向地震力に対して円筒状立抗の場合は，地震動の加振方向に対して抵抗する部位が明確でない。そこで，円筒状立抗の曲げ軸力が時刻歴最大となる時刻の曲げモーメントが直交する方向にも同時に作用するものと仮定（曲げモーメントを $\sqrt{2}$ 倍）して，構造部材の曲げ軸力による発生応力が許容限界以下であることを確認する。2次元静的フレーム解析には解析コード「TDA P III」を使用する。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。

線形はり要素の鉛直断面設計概念図を図2-8に示す。

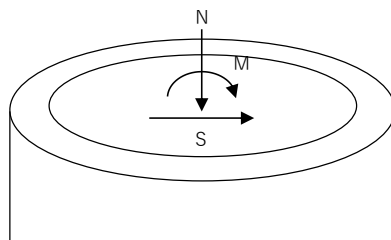


図2-8 線形はり要素の鉛直断面設計概念図

#### (2) 鉛直断面のせん断力に対する評価

2次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生せん断力（ $S$ ）に対しコンクリートの有効断面積（ $A_w$ ）で抵抗するものとし，せん断力度  $\tau = S / A_w$  が「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。）に基づく許容せん断応力度  $\tau_{al}$  を超える場合はせん断補強筋が必要となる。

本評価においては，2次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生せん断力を用いて2次元静的フレーム解析を実施し，照査を行い，構造部材の発生せん断力が鉄筋コンクリートとしての許容限界である短期許容せん断力  $V_a$  以下であることを確認する。

表 4-6(2) 水平断面の鉄筋の曲げ軸力に対する評価結果 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	評価 位置	決定ケース		断面形状			鉄筋仕様 (引張鉄筋)	発生断面力		発生 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
			荷重 方法	常時 土水圧	部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
①	Ss- N2_NS (++)	上部	片押し	最小	1000	1000	800	D29@200	29	-1	12.7	294	0.05
③	Ss-D (-+)	中部	両押し	最小	1000	1000	800	D35@200	670	598	137.5	294	0.47
③	Ss-D (-+)	下部	両押し	最小	1000	1000	800	D38@200	279	697	16.9	294	0.06

表 4-7(1) 水平断面の鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	評価 位置	決定ケース		断面形状			鉄筋仕様 (せん断補強筋*)	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V <sub>a</sub> (kN/m)	照査値 V/V <sub>a</sub>
			荷重 方法	常時 土水圧	部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)				
③	Ss-D (+-)	上部	片押し	最小	1000	1000	800	D22@236@400	565	1116	0.51
③	Ss-D (+-)	中部	両押し	最小	1000	1000	800	D22@236@400	515	1116	0.47
①	Ss-N1 (++)	下部	片押し	最小	1000	1000	800	D25@236@400	463	1375	0.34

注記\* : せん断補強筋は、円状に配置する内側の主鉄筋と外側の主鉄筋を繋ぐように配置した鉄筋

表 4-7(2) 水平断面の鉄筋コンクリートのせん断力に対する評価結果 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	評価 位置	決定ケース		断面形状			鉄筋仕様 (せん断補強筋*)	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V <sub>a</sub> (kN/m)	照査値 V/V <sub>a</sub>
			荷重 方法	常時 土水圧	部材幅 b (mm)	部材高 h (mm)	有効高 d (mm)				
①	Ss-D (++)	上部	片押し	最小	1000	1000	800	D22@236@400	53	1116	0.05
③	Ss-D (-+)	中部	両押し	最小	1000	1000	800	D22@236@400	633	1116	0.57
③	Ss-D (-+)	下部	片押し	最小	1000	1000	800	D25@236@400	288	1375	0.21

注記\* : せん断補強筋は、円状に配置する内側の主鉄筋と外側の主鉄筋を繋ぐように配置した鉄筋

## 2.2 構造概要

敷地側集水桝は、屋外排水路の集水桝であり、内空 1.0m×2.4m、壁厚 0.8m、高さ約 6m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、マンメイドロック（以下「MMR」という。）及び改良地盤により、周囲を埋め戻し、MMRを介して岩盤に支持されている。また頂部には、屋外排水路（側溝部）が損傷し、地表面に地下水が溢れ出た場合でも、確実に集水することができるよう、グレーチングを設置する。なお、本集水桝の開口部周辺には、「コンクリート標準示方書[設計編]（（社）土木学会，2012年制定）」により、開口により配置できなくなった鉄筋について、必要な鉄筋間隔を確保した上で、鉛直断面及び水平断面において所要鉄筋量を満足するように、開口部の周辺に配置する。

敷地側集水桝の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 に、概略配筋図を図 2-4 に、支持構造を図 2-5 に示す。

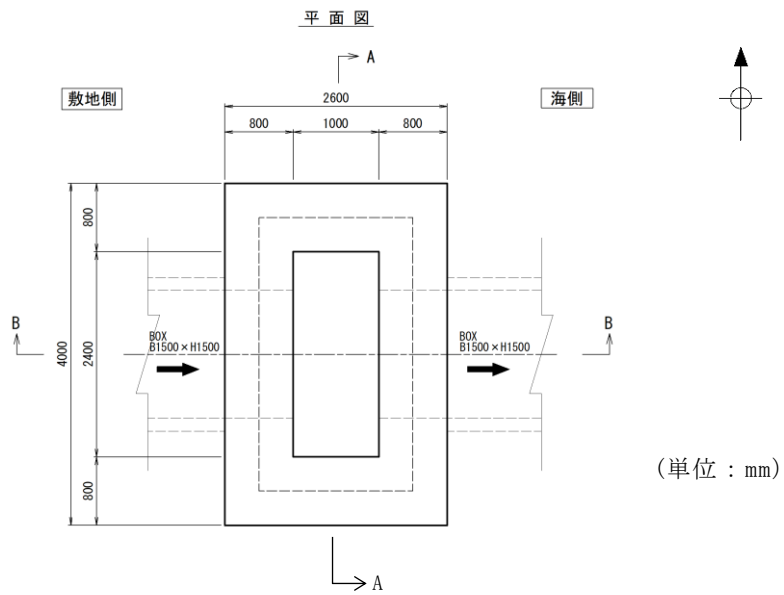


図 2-2 敷地側集水桝の概略平面図

### 2.3 評価方針

敷地側集水桝の耐震評価は、基準地震動  $S_s$ （6波）による1次元地震応答解析により算定した設計用地震力に対して排水断面を確保することを確認するため、曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査を実施する。また、基礎地盤の支持性能評価を実施する。

基準地震動  $S_s$  を対象とした地震応答解析により敷地側集水桝位置での変位及び加速度を抽出する。また、フレーム解析に用いる地盤ばね設定のため地盤の剛性を設定する。

次に、側壁については、「水道施設設計指針（（社）日本水道協会，2012年）」及び「水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会，2009年）」（以下「水道施設耐震工法指針」という。）により、敷地側集水桝の鉛直断面及び水平断面を対象に線形はり要素でモデル化し、応答変位法によるフレーム解析を実施する。常時及び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。底版については、四辺固定版モデルとして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、最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。

敷地側集水桝の耐震評価フローを図 2-6 に示す。

#### 4. 評価方法

##### 4.1 敷地側集水桝（側壁）

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。フレーム解析は、鉛直断面及び水平断面に分けて実施する。水平断面位置は、「水道施設耐震工法指針」に基づき、常時の土圧作用が最大となる集水桝最下部を照査断面位置とする。

鉛直断面のフレーム解析に用いる地盤ばねは、「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）」に基づき地盤反力係数を設定する。水平断面のフレーム解析において、地盤ばねは設定せず、「水道施設耐震工法指針」に基づく支持条件とする。

モデルに作用させる荷重のうち、地震時土圧については、応答変位法により算出する。鉛直断面のフレーム解析に使用した地盤ばね定数を表4-1に、鉛直断面及び水平断面の断面諸元を表4-2に示す。また、鉛直断面のフレーム解析モデル及び支持条件を図4-1に、水平断面のフレーム解析モデル及び支持条件を図4-2に示す。

解析には解析コード「FREMING」及び「EMRGINING」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。



## 1. 概要

本資料は、漂流防止装置が「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）」第6条及び第51条並びに「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する解釈」に適合する設計とするため、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」のうちVI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」にて設定している漂流防止装置が基準地震動 $S_s$ による地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算の方針について説明するものである。

なお、漂流防止装置は、技術基準規則の第5条及び第50条の対象ではないが、地震後の繰返しの来襲を想定した津波に対し、燃料輸送船及びLLW輸送船を係留できることが要求され、地震後もその機能を保持するため、漂流防止装置が基準地震動 $S_s$ による地震力に対して耐震性を有することを確認する。

漂流防止装置の耐震計算結果は、VI-2-別添 6-2「漂流防止装置の耐震性についての計算書」に示すとともに、動的地震力の水平2方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果はVI-2-別添 6-3「漂流防止装置の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価」に示す。

#### 4.1.1 入力地震動

漂流防止装置の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  をもとに、対象構造物の地盤条件を適切に評価したうえで、必要に応じて 2 次元有限要素法又は一次元波動論により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した地震動を設定する。

#### 4.1.2 解析方法及び解析モデル

漂流防止装置の解析方法については、構造物と地盤の相互作用を考慮できる連成系の地震応答解析手法とし、地盤及び構造物の地震時における非線形挙動の有無や程度に応じて、線形、等価線形、非線形解析のいずれかにて行う。

評価手法は、「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) 」に基づき実施することを基本とする。

### 4.2 耐震評価

漂流防止装置は、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重の組合せに対して、「4.1 地震応答解析」で示した地震応答解析により変形量等を算出し、「3.2 許容限界」にて設定している許容限界以下であることを確認する。

#### 4.2.1 耐震評価方法

漂流防止装置（係船柱）及び漂流防止装置基礎（荷揚護岸，多重鋼管杭）の耐震評価方法について示す。

##### (1) 漂流防止装置（係船柱）

漂流防止装置（係船柱）については、「港湾技研資料 No.102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）」により評価を行う。

評価については、漂流防止装置基礎（荷揚護岸，多重鋼管杭）の地震応答解析より漂流防止装置（係船柱）設置位置の加速度に基づき、設計用地震力を設定し、構造強度評価を行う。

##### (2) 漂流防止装置基礎（荷揚護岸）

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）については、地震応答解析により、変形性評価として、残留変形量に対して評価を行う。

##### (3) 漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）については、地震応答解析により、変形性評価として、構造強度評価を行う。

#### 4.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮

漂流防止装置に関する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の評価方針及び評価方法に基づき行う。

### 3.3 許容限界

漂流防止装置（係船柱）の許容限界は、「3.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、VI-2-別添 6-1「漂流防止装置の耐震計算の方針」にて設定している許容限界に基づき設定する。

#### 3.3.1 使用材料

漂流防止措置（係船柱）を構成する各部材の使用材料を表 3-2 に示す。

表 3-2 使用材料

材料	諸元
係船柱	SC450, $\phi$ 350
アンカーボルト	SS400, M56 $\times$ 1150
アンカー板	SS400, 225 $\times$ t45
コンクリート	設計基準強度 24N/mm <sup>2</sup>

#### 3.3.2 許容限界

許容限界は、VI-2-別添 6-1「漂流防止装置の耐震計算の方針」に基づき設定する。

##### (1) 係船柱

係船柱の許容限界は、「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）」及び「J I S G 5 1 0 1 炭素鋼鋳鋼品」に基づき表 3-3 のとおり設定する。

表 3-3 係船柱の許容限界

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断
SC450	205	—

## (2) コンクリート（係船柱底板）の支圧応力度

コンクリート（係船柱底板）に生じる支圧応力度は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）」を参考に，コンクリートの偏心荷重を心外に受ける円形梁として次式により算出し，コンクリートの許容限界以下であることを確認する。

コンクリート（係船柱底板）のモデル図を図 3-5 に示す。

$$\sigma_{c1} = P_v \cdot (R_1 - y) / (n \cdot G_s - G_c)$$

ここで，

$\sigma_{c1}$  : コンクリート（係船柱底板）の支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の鉛直成分 (N)

$R_1$  : 中心軸から係船柱底板端までの距離 (mm)

$y$  : 中心軸と中立軸の距離 (mm)

$n$  : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

$G_s$  : アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm<sup>3</sup>)

$G_c$  : コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm<sup>3</sup>)

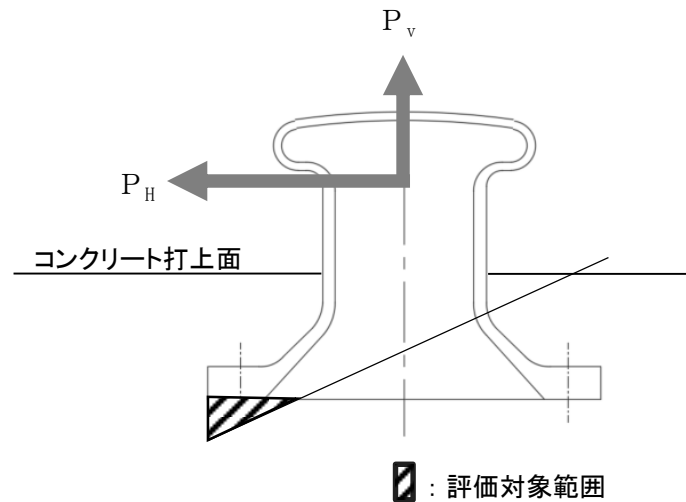


図 3-5 コンクリート（係船柱底板）のモデル図

### 3.5.2 アンカーボルト

#### (1) アンカーボルトの引張応力度

アンカーボルトに生じる引張応力度は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）」を参考に，コンクリートの偏心荷重を心外に受ける円形梁として次式により算出し，アンカーボルトの許容限界以下であることを確認する。

アンカーボルトのモデル図を図 3-7 に示す。

$$\sigma_{s2} = P_v \cdot (R_1' + y) / (G_s - G_c / n)$$

ここで，

$\sigma_{s2}$  : アンカーボルトに生じる引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の鉛直成分 (N)

$R_1'$  : 中心軸からアンカーボルト位置までの距離 (mm)

$y$  : 中心軸と中立軸の距離 (mm)

$G_s$  : アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm<sup>3</sup>)

$G_c$  : コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm<sup>3</sup>)

$n$  : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

#### (2) アンカーボルトのせん断応力度

アンカーボルトに生じるせん断応力度は，次式より算出し，アンカーボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\tau_s = (P_H / N) / (\pi / 4 \cdot \phi_b^2)$$

ここで，

$\tau_s$  : アンカーボルトに生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_H$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の水平成分 (N)

$N$  : アンカーボルトの本数 (本)

$\phi_b$  : アンカーボルトの谷径 (mm)

### 3.5.3 アンカー板

#### (1) アンカー板の曲げ応力度

アンカー板に生じる曲げ応力度は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）」及び「機械工学便覧 改訂第6版（（社）日本機械学会編，1977年）」を参考に，アンカー板に等分布荷重が作用するとして次式により算出し，アンカー板の許容限界以下であることを確認する。

アンカー板のモデル図を図3-8に示す。

$$p = P_v / \{ \pi / 4 \cdot (4 \cdot \phi_a)^2 - (\pi / 4 \times \phi_a^2) \}$$

$$\sigma_{s t} = \beta \cdot p \cdot (a / 2)^2 / t^2$$

ここで，

$p$  : 等分布荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の鉛直成分 (N)

$\phi_a$  : アンカーボルトの呼び径 (mm)

$\sigma_{s t}$  : アンカー板に生じる曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\beta$  : 最大応力係数 (=  $b / a$ )

$b$  : ナット二面幅 (mm)

$a$  : アンカー板幅 (mm)

$t$  : アンカー板厚 (mm)

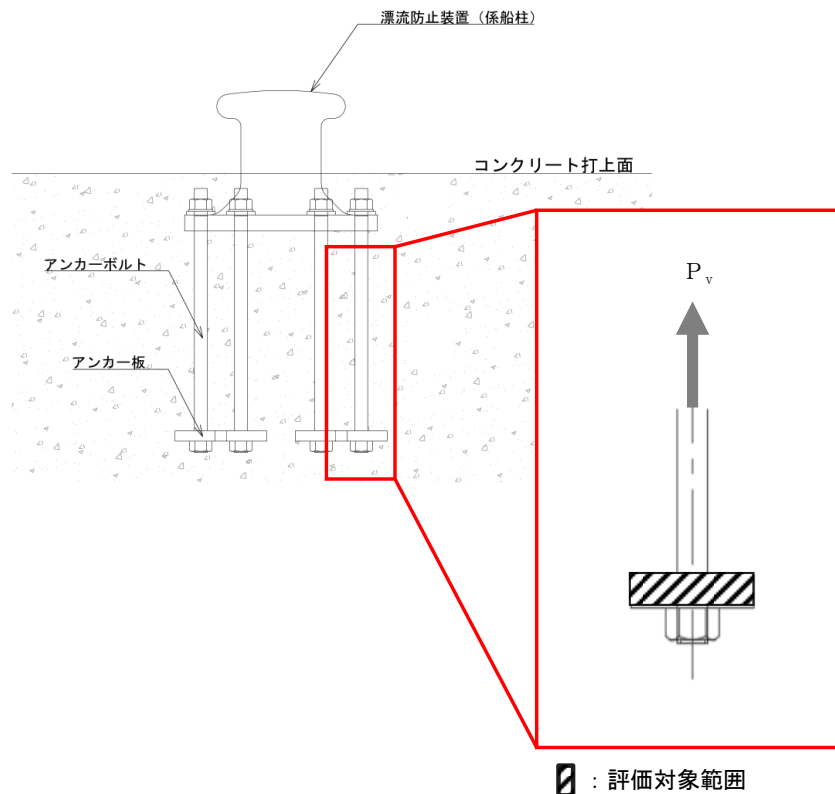


図3-8 アンカー板のモデル図

## (2) コンクリート（アンカー板上面）の支圧応力度

コンクリート（アンカー板上面）に生じる支圧応力度は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）」を参考に次式により算出し，コンクリートの許容限界以下であることを確認する。

コンクリート（アンカー板上面）のモデル図を図 3-9 に示す。

$$\sigma_c = P_v / \{ (\pi / 4) \cdot a^2 \}$$

ここで，

$\sigma_c$  : コンクリート（アンカー板上面）の支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 基準地震動  $S_s$  による慣性力の鉛直成分 (N)

$a$  : アンカー板幅 (mm)

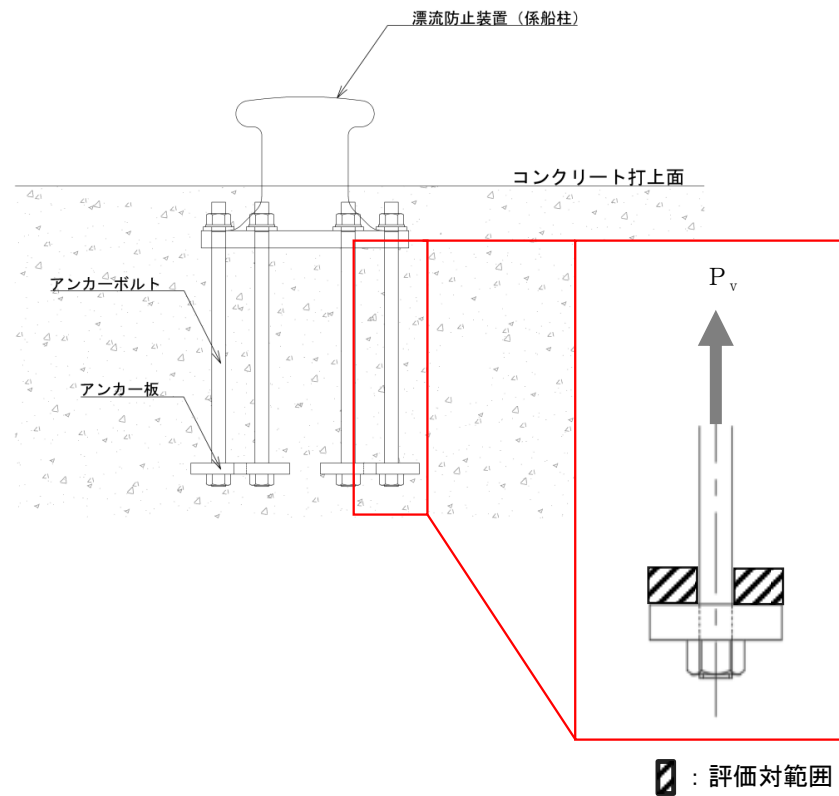
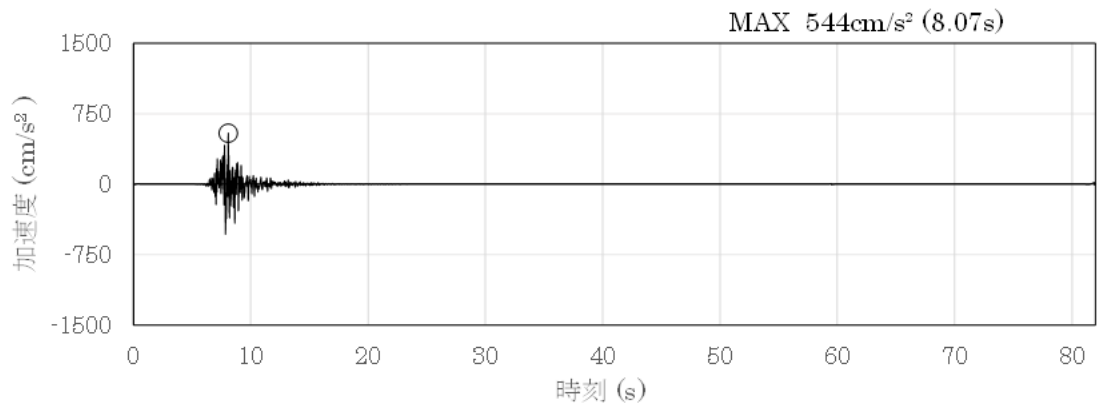
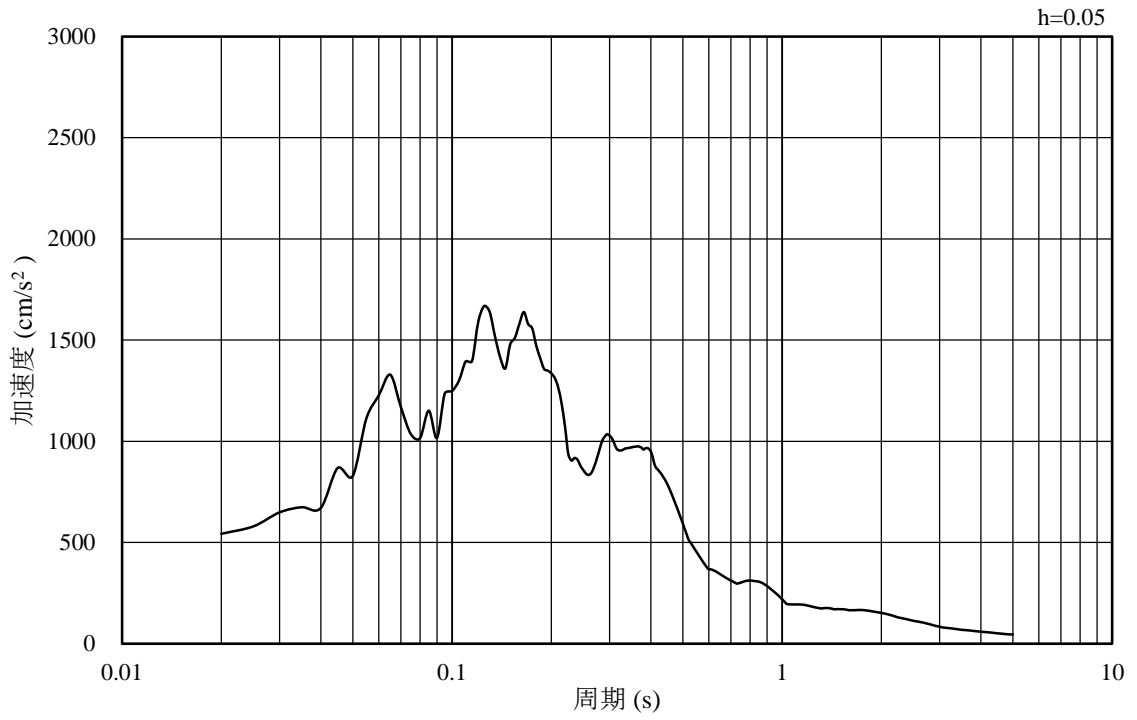


図 3-9 コンクリート（アンカー板上面）のモデル図



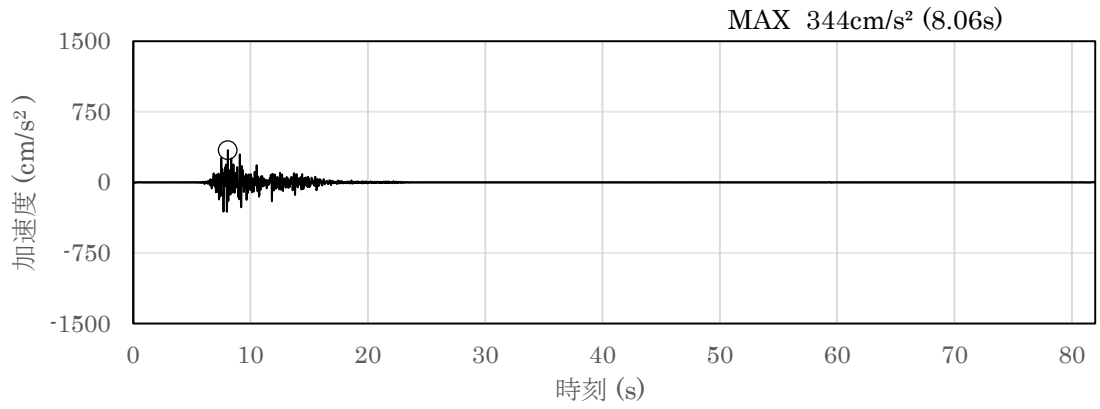
(a) 加速度時刻歴波形



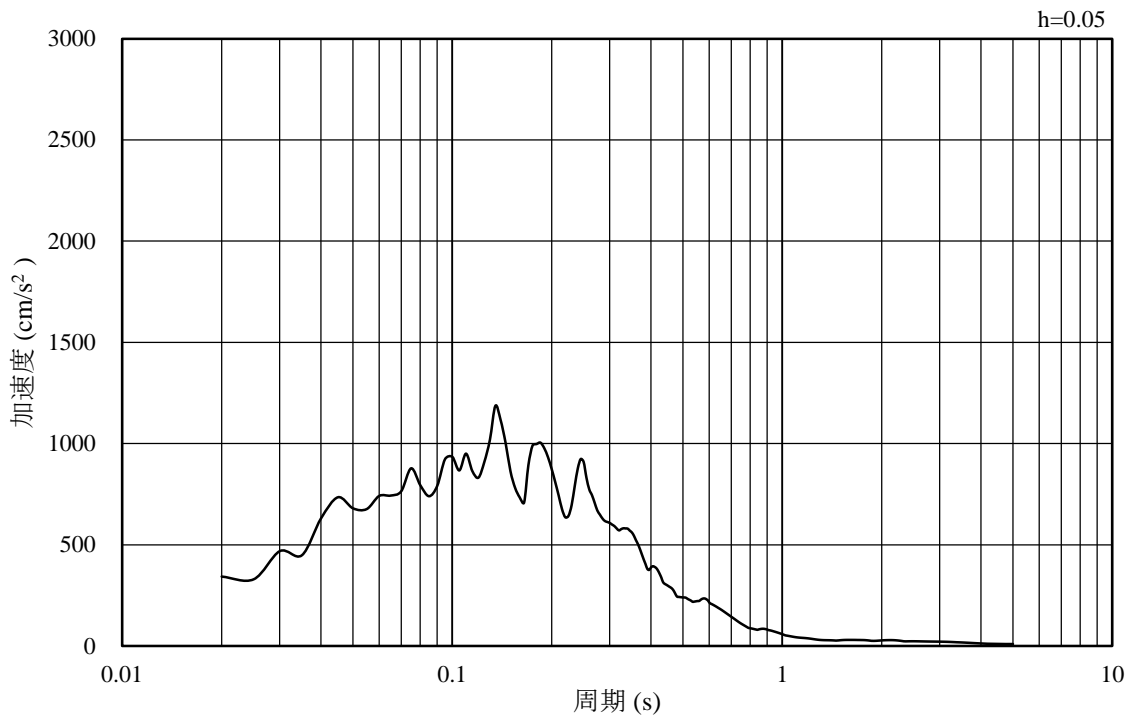
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S s - F 1)





(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - F 1)

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）の地震応答解析モデルを図 3-16 に示す。

##### (1) 解析領域

地震応答解析モデルは、「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）」に基づき、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

##### (2) 境界条件

常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

また、地震応答解析時の境界条件は、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

漂流防止装置基礎（荷揚護岸）は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。漂流防止装置（係船柱）は、漂流防止装置基礎（荷揚護岸）と比較して十分に重量が小さいことからモデル化しない。

##### (4) 地盤のモデル化

岩盤は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

##### (5) ジョイント要素の設定

地震時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、「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）」及び「港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）」を参考に、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

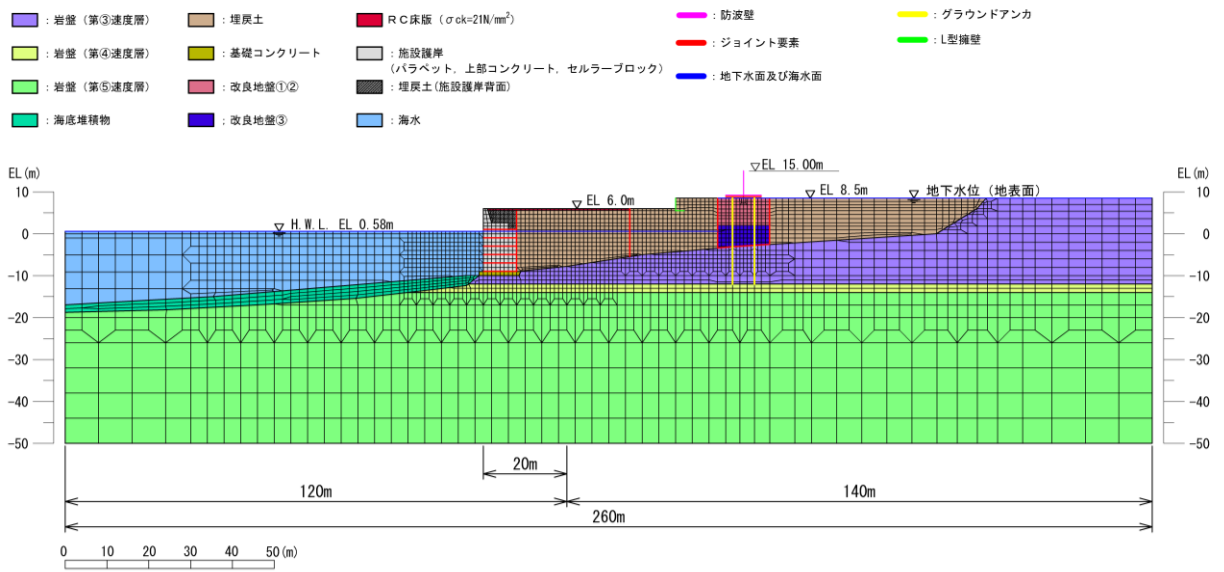


図 3-16 地震応答解析モデル (⑥-⑥断面)

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を参考に設定する。使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

材料	部位	諸元
コンクリート	上部工 (有筋)	設計基準強度 : 20.6N/mm <sup>2</sup>
	上部工 (無筋)	設計基準強度 : 14.7N/mm <sup>2</sup>
	セルラーブロック (コンクリート詰)	設計基準強度 : 20.6N/mm <sup>2</sup>
	基礎コンクリート	設計基準強度 : 14.7N/mm <sup>2</sup>

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）の地震応答解析モデルを図 3-17 に示す。

##### (1) 解析領域

地震応答解析モデルは、「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）」に基づき、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

##### (2) 境界条件

常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

また、地震応答解析時の境界条件は、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

漂流防止装置基礎（多重鋼管杭）は、線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。漂流防止装置（係船柱）は、付加重量として考慮する。

##### (4) 地盤のモデル化

岩盤は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

##### (5) ジョイント要素の設定

地震時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、「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）」及び「港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）」を参考に、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を参考に設定する。使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

材料	諸元
鋼管杭	φ 2200mm (SM570) t=50mm*
	φ 2000mm (SM570) t=50mm

注記\*：「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）」に基づき，腐食代 1mm を考慮する。

表 3-5 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鋼管杭	77.0*	2.0×10 <sup>5</sup> *	0.3*

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）

### 3.5.3 地盤の物性値

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。

### 3.5.4 地下水位

設計地下水位は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位を表 3-6 に示す。

表 3-6 設計地下水位

施設名称	設計地下水位
漂流防止装置基礎 (多重鋼管杭)	防波壁より陸側：EL 8.5m*
	防波壁より海側：EL 0.58m

注記\*：地表面が EL 8.5m よりも低い地点については，地下水位を地表面とする。

### 3.7 許容限界

許容限界は、VI-2-別添 6-1「漂流防止装置の耐震計算の方針」に基づき設定する。

#### 3.7.1 鋼管杭

鋼管杭の許容限界は、「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）」に基づき算定した降伏モーメント及び短期許容せん断応力度とする。表 3-7 に鋼管杭の許容限界を示す。

降伏モーメントは次式により算定する。

$$M_y = \sum (f_{yi} - \frac{|N_i|}{A_i}) Z_{ei}$$

ここで、

$M_y$  : 多重鋼管杭の降伏モーメント (kN・m)

$f_{yi}$  : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の降伏基準点 (N/mm<sup>2</sup>)

$Z_{ei}$  : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$N_i$  : 多重鋼管杭を構成する各鋼管に発生する軸力 (kN)

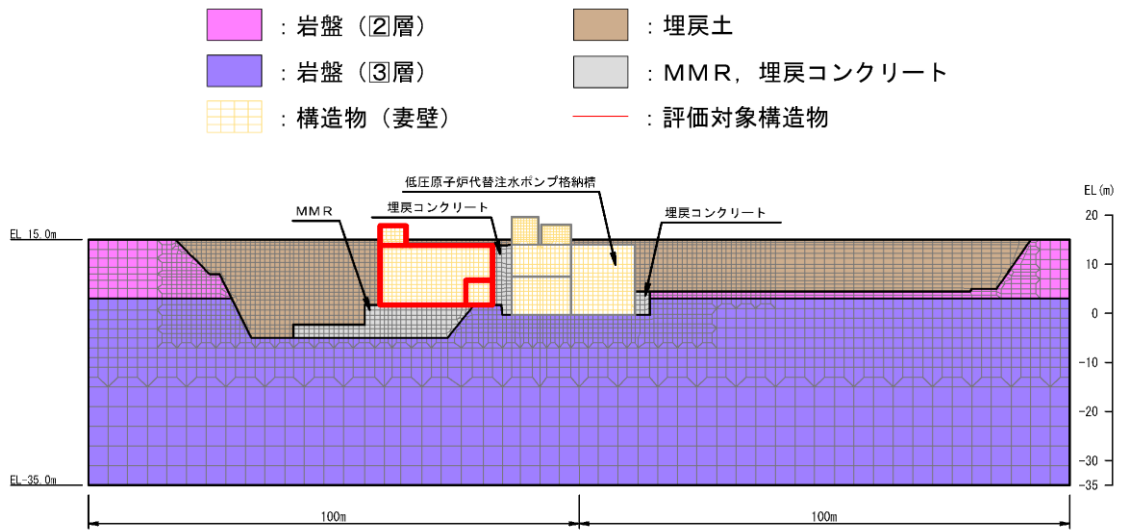
$A_i$  : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面積 (mm<sup>2</sup>)

表 3-7 鋼管杭の許容限界

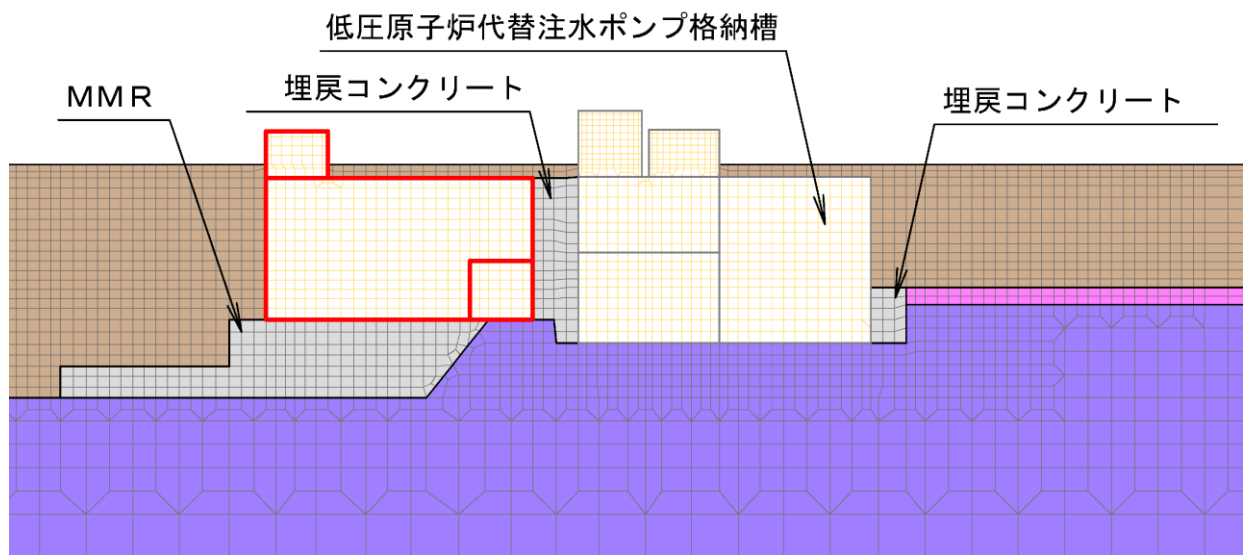
断面	杭種	杭位置	杭径	杭板厚	鋼種	降伏モーメント*2 (kN・m)	短期許容せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
①-①断面	地下部 (2重管)	外管	φ 2.2m	50mm*1	SM570	134667	210
		内管	φ 2.0m	50mm	SM570		

注記\*1：「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）」に基づき，腐食代 1mm を考慮する。

\*2：降伏モーメントは，鋼管杭に発生する軸力を考慮する。



(全体図)



(拡大図)

図 3-36 地震応答解析モデル図 (C-C断面)

### 3.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 3.3.1 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

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、「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）」（以下「土木学会マニュアル2005」という。）に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）とする。

土木学会マニュアル2005では、曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態は、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、圧縮縁コンクリートひずみが1.0%の状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

低圧原子炉代替注水槽における貯水機能を損なわないことの確認については、「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、主筋ひずみ及びコンクリートの圧縮ひずみについて、部材降伏に相当するひずみ（主筋ひずみ $1725\mu$ ，コンクリート圧縮ひずみ $2000\mu$ ）とする。

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表3-3に示す。

表3-3 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	限界 ひずみ	圧縮縁コンクリートひずみ：1.0%（ $10000\mu$ ）
貯水機能を損なわないこと		主筋ひずみ（SD345）： $1725\mu$ コンクリート圧縮ひずみ： $2000\mu$



## 1. 概要

本計算書は、VI-2-別添 7-1「安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震計算の方針」に示すとおり、安全対策工事に伴う掘削前の状態において、低圧原子炉代替注水ポンプが基準地震動  $S_s$  による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。

## 2. 耐震計算書（添付書類）の耐震条件と掘削前の耐震条件の比較

低圧原子炉代替注水ポンプについては、VI-2-5-5-5-1「低圧原子炉代替注水ポンプの耐震性についての計算書」（以下「耐震計算書（添付書類）」という。）において適用している耐震条件と、VI-2-別添 7-2-1「設計用床応答スペクトルの作成方針（掘削前）」に示す掘削前の耐震条件の比較を行う。比較結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 耐震条件比較結果（震度）

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	耐震条件		耐震計算書（添付書類）の耐震条件*1 (①)	掘削前の耐震条件 (②)	比較結果 (① $\geq$ ② : ○, ①<② : ×)
		構造強度評価	鉛直方向震度			
低圧原子炉代替注水ポンプ	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 EL 0.7*2	構造強度評価	水平方向震度	5.50	1.42	○
			鉛直方向震度	4.10	1.78	○
		動的機能維持評価	水平方向震度	4.60	1.19	○
			鉛直方向震度	3.50	1.48	○

注記\*1: VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に示す設計用震度 I（基準地震動  $S_s$ ）を上回る震度

\*2: 基準床レベルを示す。

上記のとおり、耐震計算書（添付書類）に記載の耐震条件が掘削前の耐震条件を包絡しているため、掘削前の耐震条件に対しても、十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

構造物名：低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽  
減衰定数：2.0%

標高：EL:8.200m  
波形名：基準地震動S s

— 耐震計算書（添付書類）の耐震条件（鉛直方向）  
----- 掘削前の耐震条件（鉛直方向）

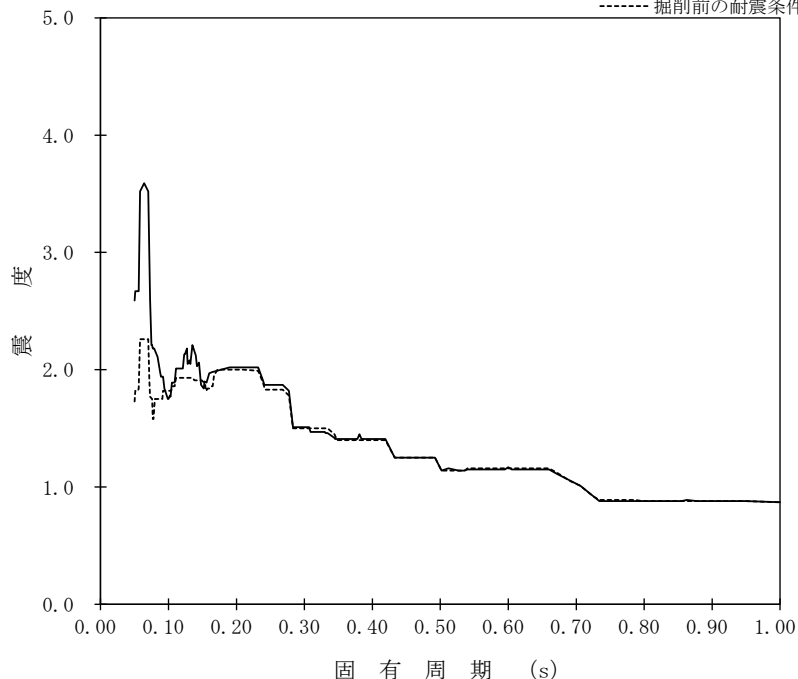


図 2-1 設計用床応答スペクトルの比較（3/3）

上記のとおり、耐震計算書（添付書類）の耐震条件が掘削前の耐震条件を一部下回ることを確認したため掘削前の耐震条件に対し、耐震性を有することを確認する。評価においては、掘削前の耐震条件を上回る震度及び床応答スペクトルを適用する。なお、「5.2.4 代表モデルの結果及び全モデルの評価結果」に示すとおり、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の条件を適用する配管モデルである FLSR-F-1, 1A, 2, 2A及び3は代表モデルに選定されていない。よって、「3. 概略系統図及び鳥瞰図」以降の項目は、代表モデルに選定された FLSR-R-1について記載する。

### 3. 概略系統図及び鳥瞰図

概略系統図及び鳥瞰図については、耐震計算書（添付書類）から変更がないため、記載を省略する。

### 4. 計算条件

計算条件については、耐震計算書（添付書類）から変更がないため、記載を省略する。

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-別添 7-1「安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震計算の方針」に示すとおり、安全対策工事に伴う掘削前の状態において、第1ベントフィルタ スクラバ容器が基準地震動  $S_s$  による地震力に対して十分な構造強度を有することを説明するものである。

## 2. 耐震計算書（添付書類）の耐震条件と掘削前の耐震条件の比較

第1ベントフィルタ スクラバ容器については、VI-2-9-4-7-1-2「第1ベントフィルタ スクラバ容器の耐震性についての計算書」（以下「耐震計算書（添付書類）」という。）において適用している耐震条件と、VI-2-別添 7-2-1「設計用床応答スペクトルの作成方針（掘削前）」に示す掘削前の耐震条件の比較を行う。比較結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 耐震条件比較結果（震度）

機器名称	据付場所 及び床面 高さ (m)	耐震条件		耐震計算書 (添付書類) の耐震条件*1 (①)	掘削前 の 耐震条 件 (②)	比較結果 (① $\geq$ ② : ○, ①<② : ×)
		構造 強度 評価	水平方向 震度			
第1ベント フィルタ スクラバ 容器	第1ベント フィルタ 格納槽 EL 2.7*2		水平方向 震度	4.50	1.60	○
			鉛直方向 震度	3.00	2.65	○

注記\*1: VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に示す設計用震度 I（基準地震動  $S_s$ ）を上回る震度

\*2: 基準床レベルを示す。

上記のとおり、耐震計算書（添付書類）に記載の耐震条件が掘削前の耐震条件を包絡しているため、掘削前の耐震条件に対しても、十分な構造強度を有することを確認した。

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-別添 7-1「安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震計算の方針」に示すとおり、安全対策工事に伴う掘削前の状態において、火災感知器が基準地震動  $S_s$  による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。

## 2. 耐震計算書（添付書類）の耐震条件と掘削前の耐震条件の比較

火災感知器については、VI-2-別添 1-2-1「火災感知器の耐震性についての計算書（以下「耐震計算書（添付書類）」という。）において適用している耐震条件と、VI-2-別添 7-2-1「設計用床応答スペクトルの作成方針（掘削前）」に示す掘削前の耐震条件の比較を行う。比較結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 耐震条件比較結果（震度）

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	耐震条件		耐震計算書 (添付書類) の耐震条件*1 (①)	掘削前の 耐震条件 (②)	比較結果 (① $\geq$ ② : ○, ① $<$ ② : ×)
		構造強度 評価	電氣的機能 維持評価	水平方向 震度	鉛直方向 震度	水平方向 震度
火災 感知器 ①	第1ベント フィルタ 格納槽 EL 19.4 ~7.6*2	構造強度 評価	水平方向 震度	4.20	2.80	○
			鉛直方向 震度	4.83	2.08	○
		電氣的機能 維持評価	水平方向 震度	2.40	2.33	○
			鉛直方向 震度	3.08	1.73	○
	低圧原子炉 代替注水 ポンプ 格納槽 EL 18.3 ~8.2*2	構造強度 評価	水平方向 震度	4.20	1.30	○
			鉛直方向 震度	4.83	1.10	○
		電氣的機能 維持評価	水平方向 震度	2.40	1.08	○
			鉛直方向 震度	3.08	0.92	○

注記\*1：VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に示す設計用震度 I（基準地震動  $S_s$ ）を上回る震度

\*2：基準床レベルを示す。

上記のとおり、耐震計算書（添付書類）に記載の耐震条件が掘削前の耐震条件を包絡しているため、掘削前の耐震条件に対しても、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. 概要

本計算書は、VI-2-別添 7-1「安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震計算の方針」に示すとおり、安全対策工事に伴う掘削前の状態において、制御盤が基準地震動  $S_s$  による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。

## 2. 耐震計算書（添付書類）の耐震条件と掘削前の耐震条件の比較

制御盤については、VI-2-別添 1-3-3「制御盤の耐震性についての計算書」（以下「耐震計算書（添付書類）」という。）において適用している耐震条件と、VI-2-別添 7-2-1「設計用床応答スペクトルの作成方針（掘削前）」に示す掘削前の耐震条件の比較を行う。比較結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 耐震条件比較結果（震度）

機器名称	据付場所及び床面高さ(m)	耐震条件		耐震計算書 (添付書類) の耐震条件*1 (①)	掘削前の 耐震条件 (②)	比較結果 (① $\geq$ ②: ○, ①<②: ×)
		構造強度 評価	鉛直方向 震度	3.80	1.30	○
制御盤 (全域ガス 消火設備) 自動3回線	低圧原子炉 代替注水ポンプ格納槽 EL 14.7*2 (EL 18.3*2)	構造強度 評価	水平方向 震度	3.80	1.30	○
			鉛直方向 震度	4.29	1.10	○
		電氣的 機能維持 評価	水平方向 震度	2.23	1.08	○
			鉛直方向 震度	2.60	0.92	○

注記\*1: VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に示す設計用震度 I（基準地震動  $S_s$ ）を上回る震度

\*2: 基準床レベルを示す。

上記のとおり、耐震計算書（添付書類）に記載の耐震条件が掘削前の耐震条件を包絡しているため、掘削前の耐震条件に対しても、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. 概要

本計算書は、VI-2-別添 7-1「安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震計算の方針」に示すとおり、安全対策工事に伴う掘削前の状態において、揚水ポンプが基準地震動  $S_s$  による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。

## 2. 耐震計算書（添付書類）の耐震条件と掘削前の耐震条件の比較

揚水ポンプについては、VI-2-別添 4-3-1「揚水ポンプの耐震性についての計算書」（以下「耐震計算書（添付書類）」という。）において適用している耐震条件と、VI-2-別添 7-2-24「地下水位低下設備の地震応答計算書（掘削前）」に示す地震応答から、VI-2-別添 7-2-1「設計用床応答スペクトルの作成方針（掘削前）」に基づき設定した掘削前の耐震条件の比較を行う。比較結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 耐震条件比較結果（震度）

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	耐震条件		耐震計算書（添付書類）の耐震条件*1 (①)	掘削前の耐震条件 (②)	比較結果 (① $\geq$ ② : ○, ①<② : ×)
		構造強度評価	鉛直方向震度			
揚水ポンプ	地下水位低下設備 揚水井戸 EL -21.7*2	構造強度評価	水平方向震度	1.37	0.80	○
			鉛直方向震度	1.11	0.59	○
		動的機能維持評価	水平方向震度	1.00	0.67	○
			鉛直方向震度	0.73	0.49	○

注記\*1：VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定した設計用震度 I（基準地震動  $S_s$ ）を上回る震度

\*2：基準床レベルを示す。

上記のとおり、耐震計算書（添付書類）に記載の耐震条件が掘削前の耐震条件を包絡しているため、掘削前の耐震条件に対しても、十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-別添 7-1「安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震計算の方針」に示すとおり、安全対策工事に伴う掘削前の状態において、地下水位低下設備の管、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。

## 2. 耐震計算書（添付書類）の耐震条件と掘削前の耐震条件の比較

地下水位低下設備の管、支持構造物及び弁については、VI-2-別添 4-3-2「管の耐震性についての計算書（地下水位低下設備）」（以下「耐震計算書（添付書類）」という。）において適用している耐震条件と、VI-2-別添 7-2-24「地下水位低下設備の地震応答計算書（掘削前）」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定した掘削前の耐震条件の比較を行う。比較結果のうち、耐震条件の比較結果を表 2-1 に、設計用床応答スペクトルの比較を図 2-1 に示す。なお、設計用床応答スペクトルは代表で減衰 2.0%のものを示す。

表 2-1 耐震条件比較結果

耐震条件		耐震計算書 (添付書類) の耐震条件*1 (①)	掘削前の 耐震条件 (②)	比較結果 (① $\geq$ ② : ○, ① $<$ ② : ×)	備考
構造強度 評価	動的震度 (NS)	2.60	2.15	○	
	動的震度 (EW)	2.60	0.85	○	
	動的震度 (鉛直)	1.51	0.72	○	
	設計用床応答 スペクトル (NS)	図 2-1 (1/3) 参照		○*2	
	設計用床応答 スペクトル (EW)	図 2-1 (2/3) 参照		○*2	
	設計用床応答 スペクトル (鉛直)	図 2-1 (3/3) 参照		○*2	

注記\*1 : VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定した設計用震度 I（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る震度又は設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計用床応答スペクトル

\*2 : 図 2-1 に示す耐震計算書（添付書類）の耐震条件（実線）と掘削前の耐震条件（点線）を比較し、全周期帯において実線が点線を上回っている場合は「○」、一部でも点線が実線を上回っていたら「×」を記載する。

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-別添 7-1「安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震計算の方針」に示すとおり、安全対策工事に伴う掘削前の状態において、地下水位低下設備水位計が基準地震動  $S_s$  による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。

## 2. 耐震計算書（添付書類）の耐震条件と掘削前の耐震条件の比較

地下水位低下設備水位計については、VI-2-別添 4-3-3「地下水位低下設備水位計の耐震性についての計算書」（以下「耐震計算書（添付書類）」という。）において適用している耐震条件と、VI-2-別添 7-2-24「地下水位低下設備の地震応答計算書（掘削前）」に示す地震応答から、VI-2-別添 7-2-1「設計用床応答スペクトルの作成方針（掘削前）」に基づき設定した掘削前の耐震条件の比較を行う。比較結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 耐震条件比較結果（震度）

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	耐震条件		耐震計算書（添付書類）の耐震条件*1 (①)	掘削前の耐震条件 (②)	比較結果 (① $\geq$ ② : ○, ①<② : ×)
地下水位低下設備水位計	地下水位低下設備揚水井戸 EL -21.7*2	構造強度評価	水平方向震度	2.60	0.80	○
			鉛直方向震度	1.51	0.59	○
		電氣的機能維持評価	水平方向震度	1.00	0.67	○
			鉛直方向震度	0.73	0.49	○

注記\*1：VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定した設計用震度 I（基準地震動  $S_s$ ）を上回る震度

\*2：基準床レベルを示す。

上記のとおり、耐震計算書（添付書類）に記載の耐震条件が掘削前の耐震条件を包絡しているため、掘削前の耐震条件に対しても、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。



### 2.3.2 鉛直断面に対する耐震評価

#### (1) 鉛直断面の曲げ軸力に対する評価

揚水井戸は直交する2断面（東西方向，南北方向）を解析断面として選定し，2次元地震応答解析を実施し部材の設計を行う。揚水井戸の鉛直鉄筋は2次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生断面力（曲げ軸力）を用いて2次元静的フレーム解析を実施し，照査を行う。その際，水平2方向及び鉛直方向地震力に対して円筒状立抗の場合は，地震動の加振方向に対して抵抗する部位が明確でない。そこで，円筒状立抗の曲げ軸力が時刻歴最大となる時刻の曲げモーメントが直交する方向にも同時に作用するものと仮定（曲げモーメントを $\sqrt{2}$ 倍）して，構造部材の曲げ軸力による発生応力が許容限界以下であることを確認する。2次元静的フレーム解析には解析コード「T D A P III」を使用する。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。

線形はり要素の鉛直断面設計概念図を図2-8に示す。

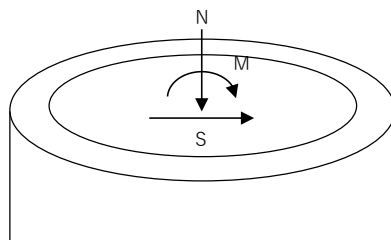


図2-8 線形はり要素の鉛直断面設計概念図

#### (2) 鉛直断面のせん断力に対する評価

2次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生せん断力（ $S$ ）に対しコンクリートの有効断面積（ $A_w$ ）で抵抗するものとし，せん断力度  $\tau = S / A_w$  が「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。）に基づく許容せん断応力度  $\tau_{a1}$  を超える場合はせん断補強筋が必要となる。

本評価においては，2次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生せん断力を用いて2次元静的フレーム解析を実施し，照査を行い，構造部材の発生せん断力が鉄筋コンクリートとしての許容限界である短期許容せん断力  $V_a$  以下であることを確認する。

・FORMAT 応 SA2-6-2 :

評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2管

告示第501号第56条第1号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 $S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	許容応力 $S_h$ $1.2 \cdot S_h$
		$S_{pr m}^{*1}$ $S_{pr m}^{*2}$	Max Max	$S_h$ $1.2 \cdot S_h$

注記\*1：告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

なお、保守的な評価となる告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を記載してもよいものとする。

\*2：告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

・FORMAT 応 SA2-7 :

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス2管であってクラス2管）

No.	配管 モデル	適用 規格	供用状態E，許容応力状態V <sub>A</sub> * <sup>1</sup>									
			一次応力(1)* <sup>2</sup>					一次応力(2)* <sup>3</sup>				
			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	代表
1		設計・建設規格										
		告示第501号										
2		設計・建設規格										
		告示第501号										

注記\*1：設計・建設規格の規定に基づく評価のみが要求される配管モデルにおける告示第501号の評価結果については「—」と記載する。

\*2：設計・建設規格 PPC-3520(1)及び告示第501号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。

\*3：設計・建設規格 PPC-3520(2)及び告示第501号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

## 2. ダクトの強度計算方法

円形ダクト、矩形ダクトの強度評価式はクラス2管には定められていないことから、設計・建設規格を準用した評価式、又は設計・建設規格に規定されていない評価式を用いた強度計算方法並びに計算式について説明する。

### 2.1 記号の定義

ダクトの厚さ計算、フランジの応力計算、ダクトの応力計算に用いる記号については、次のとおりである。

#### (1) ダクトの厚さ計算に使用するもの

##### a. 円形のダクト

	記号	単位	定義
ダクトの厚さ計算に使用するもの	B	—	設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1～図20により求めた値
	$D_o$	mm	ダクト外径
	P	MPa	最高使用圧力
	$P_e$	MPa	外面に受ける最高の圧力
	S	MPa	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に規定する材料の許容引張応力* <sup>1</sup>
	t	mm	ダクトの計算上必要な厚さ
	$\eta$	—	長手継手の効率* <sup>2</sup>

注記\*1：設計・建設規格 付録材料図表 Part5に規定がない場合は、Sは $5/8 S_y$ と $1/4 S_u$ の小さい方の値とし、 $S_y$ 、 $S_u$ はJISに記載の値とする。

\*2：継手の効率については、設計・建設規格 PVC-3130に定めるところによる。

b. 矩形のダクト

	記号	単位	定義
ダクトの厚さ計算に使用するもの	a	mm	ダクト長辺寸法
	c	mm	ダクト接続材・補強材の接続ピッチ
	$D_p$	kg/mm <sup>2</sup>	単位面積当たりのダクト鋼板の質量
	E	MPa	ヤング率
	g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度 (=9.80665)
	P	MPa	最高使用圧力
	S	MPa	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に規定する材料の許容引張応力*
	t	mm	ダクトの計算上必要な厚さ
	$\nu$	—	ポアソン比
	$\delta_{max}$	mm	面外荷重によるダクト板の最大変位量

注記\*：設計・建設規格 付録材料図表 Part5に規定がない場合は，Sは $5/8S_y$ と $1/4 S_u$ の小さい方の値とし， $S_y$ ， $S_u$ はJISに記載の値とする。

(3) ダクトの応力計算に使用するもの

a. 円形のダクト

	記号	単位	定義
ダクトの応力計算に使用するもの	B <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	—	設計・建設規格 PPB-3810に規定する応力係数
	D <sub>o</sub>	mm	ダクト外径
	M <sub>a</sub>	N・mm	ダクトの機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る。）により生じるモーメント
	P	MPa	最高使用圧力
	S <sub>h</sub>	MPa	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に規定する材料の許容引張応力*
	S <sub>p r m</sub>	MPa	一次応力
	t	mm	ダクトの厚さ
	Z	mm <sup>3</sup>	ダクトの断面係数

注記\*：設計・建設規格 付録材料図表 Part5に規定がない場合は、Sは5/8S<sub>y</sub>と1/4 S<sub>u</sub>の小さい方の値とし、S<sub>y</sub>、S<sub>u</sub>はJ I Sに記載の値とする。

b. 矩形のダクト

	記号	単位	定義
ダクトの応力計算に使用するもの	a	mm	ダクト長辺寸法
	c	mm	ダクト接続材・補強材の接続ピッチ
	D <sub>p</sub>	kg/mm <sup>2</sup>	単位面積当たりのダクト鋼板の質量
	E	MPa	ヤング率
	g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度（=9.80665）
	P	MPa	最高使用圧力
	S <sub>h</sub>	MPa	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に規定する材料の許容引張応力*
	S <sub>p r m</sub>	MPa	一次応力
	t	mm	ダクトの厚さ
	ν	—	ポアソン比
	δ <sub>max</sub>	mm	面外荷重によるダクト板の最大変位量

注記\*：設計・建設規格 付録材料図表 Part5に規定がない場合は、Sは5/8S<sub>y</sub>と1/4 S<sub>u</sub>の小さい方の値とし、S<sub>y</sub>、S<sub>u</sub>はJ I Sに記載の値とする。

J I S の 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
P	$P_{FD}$	フランジの設計圧力	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径 方向の距離	mm
T	T	K (=A/B) の値によって定まる係数 ( J I S B 8 2 4 3 附属書2 図5又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	K (=A/B) の値によって定まる係数 ( J I S B 8 2 4 3 附属書2 図5又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
V	V	一体形フランジの係数 ( J I S B 8 2 4 3 附属書2 図6又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 図8又は表4による。)	—
$W_g$	$W_g$	ガスケット締付時のボルト荷重	N
$W_{m1}$	$W_{m1}$	使用状態での必要な最小ボルト荷重	N
$W_{m2}$	$W_{m2}$	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
$W_o$	$W_o$	使用状態でのボルト荷重	N
Y	Y	K (=A/B) の値によって定まる係数 ( J I S B 8 2 4 3 附属書2 図5又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—

J I S の 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
y	y	ガスケットの最小設計締付圧力 ( J I S B 8 2 4 3 附属書2 表2又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 表2による。)	N/mm <sup>2</sup>
Z	Z	K (=A/B) の値によって定まる係数 ( J I S B 8 2 4 3 附属書2 図5又は J I S B 8 2 6 5 附属書3 図7による。)	—
$\pi$	$\pi$	円周率	—
$\sigma_a$	$\sigma_a$	常温におけるボルト材料の告示第501号別表第8又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に定める許容引張応力	MPa
$\sigma_b$	$\sigma_b$	最高使用温度におけるボルト材料の告示第501号別表第8又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に定める許容引張応力	MPa
$\sigma_f$	$\sigma_{fa}$	常温におけるフランジ材料の告示第501号別表第6又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める許容引張応力	MPa
$\sigma_f$	$\sigma_{fb}$	最高使用温度におけるフランジ材料の告示第501号別表第6又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める許容引張応力	MPa
$\sigma_H$	$\sigma_{Hg}$	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
$\sigma_H$	$\sigma_{Ho}$	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
$\sigma_R$	$\sigma_{Rg}$	ガスケット締付時のフランジの半径方向応力	MPa*
$\sigma_R$	$\sigma_{Ro}$	使用状態でのフランジの半径方向応力	MPa*
$\sigma_T$	$\sigma_{Tg}$	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
$\sigma_T$	$\sigma_{To}$	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*

## 2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
a	ボルト穴中心円半径	mm
b	フランジ内半径	mm
D <sub>i</sub>	各部位の径*1	mm
d	孔径, ボルトの直径	mm
F	軸力	N
f <sub>t</sub>	ボルトの発生応力	MPa
L <sub>i</sub>	各部位の長さ*2	mm
ℓ	ディスク間ギャップ, ボルトのZ軸からの距離	mm
M	モーメント	N・mm
n	ボルトの本数	—
P	孔の間隔 (中心間)	mm
t	板厚	mm
W	ストレーナ重心に作用する荷重	N
X	ストレーナ局所座標系 (軸直角方向 (水平))	—
Y	ストレーナ局所座標系 (軸方向)	—
Z	ストレーナ局所座標系 (軸直角方向 (鉛直))	—
I	サプレッションチェンバ座標系 (半径方向)	—
J	サプレッションチェンバ座標系 (円周方向)	—
K	サプレッションチェンバ座標系 (鉛直方向)	—
β	形状係数	—
σ <sub>r</sub>	曲げ応力	MPa

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

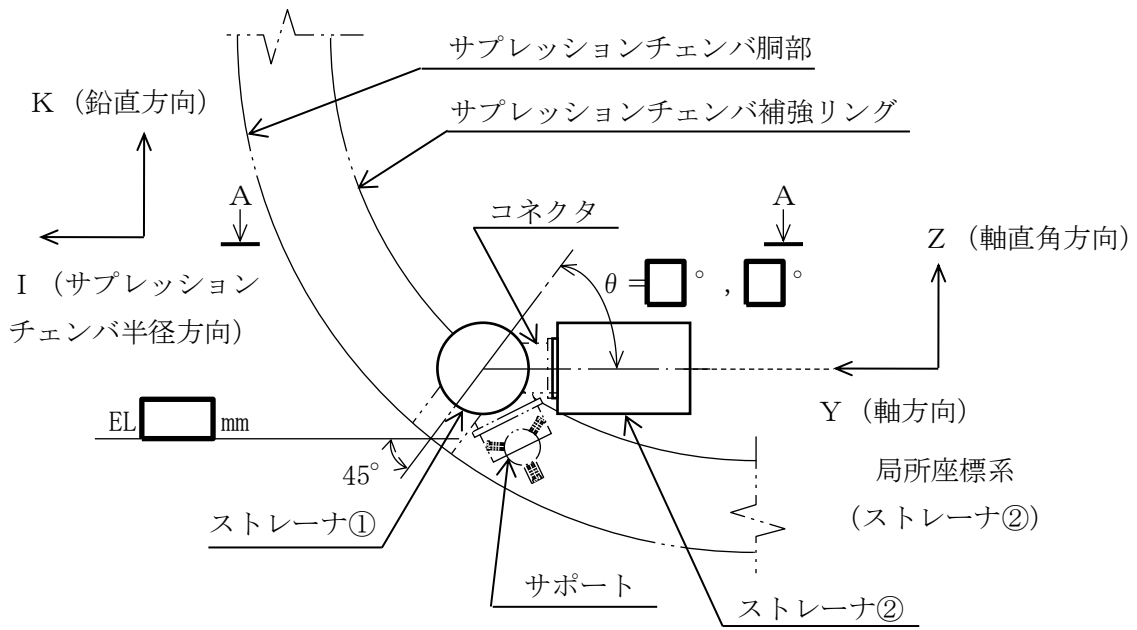
注記\*1：D<sub>i</sub>の添字iの意味は，以下のとおりとする。

- i = 1 : ディスクセット外径
- i = 2 : フランジ内径
- i = 3 : トップフランジ外径
- i = 4 : フランジ外径
- i = 5 : ボルト孔中心円直径

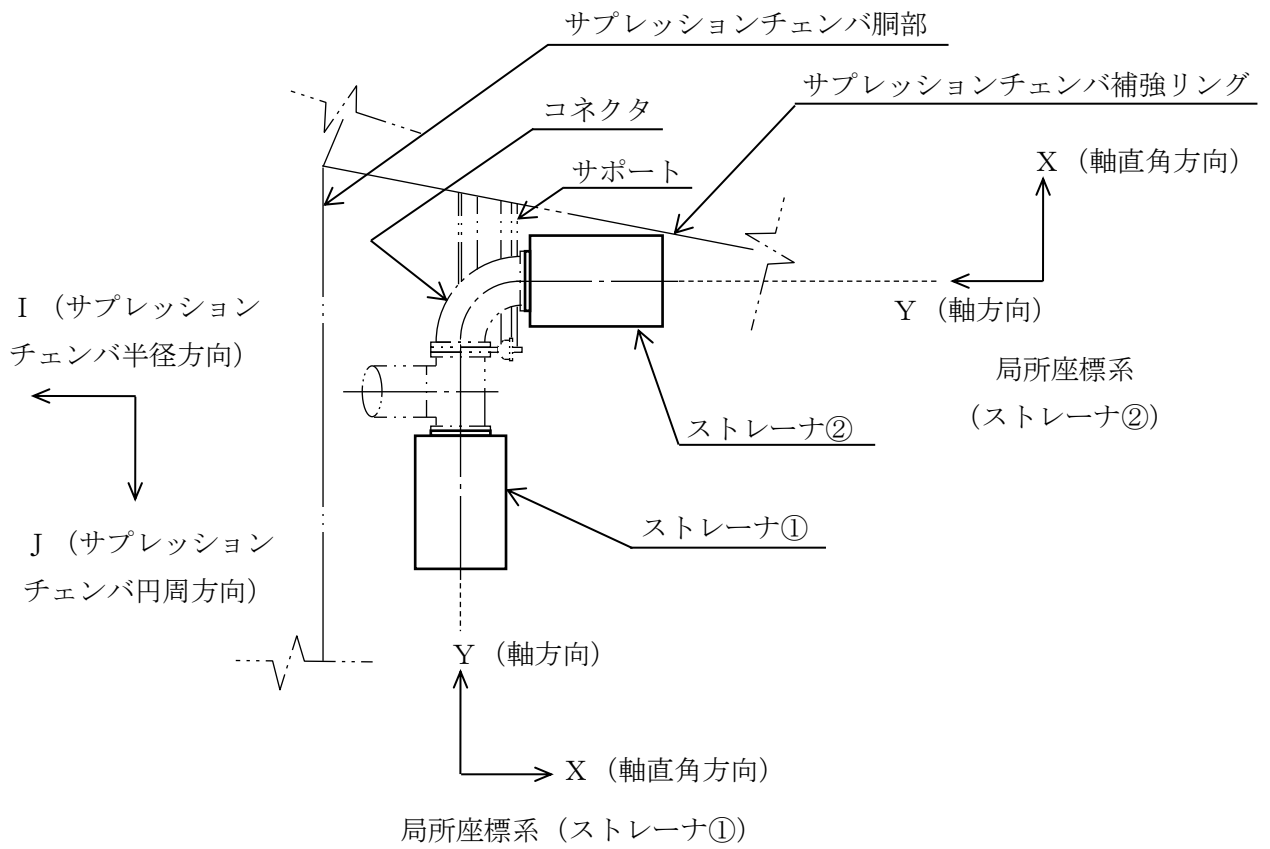
\*2：L<sub>i</sub>の添字iの意味は，以下のとおりとする。

- i = 1 : ディスクセット全高
- i = 2 : トップフランジ厚さ
- i = 3 : コンプレッションプレート高さ
- i = 4 : フランジ厚さ
- i = 5 : ストラップ長さ
- i = 6 : ストラップ幅



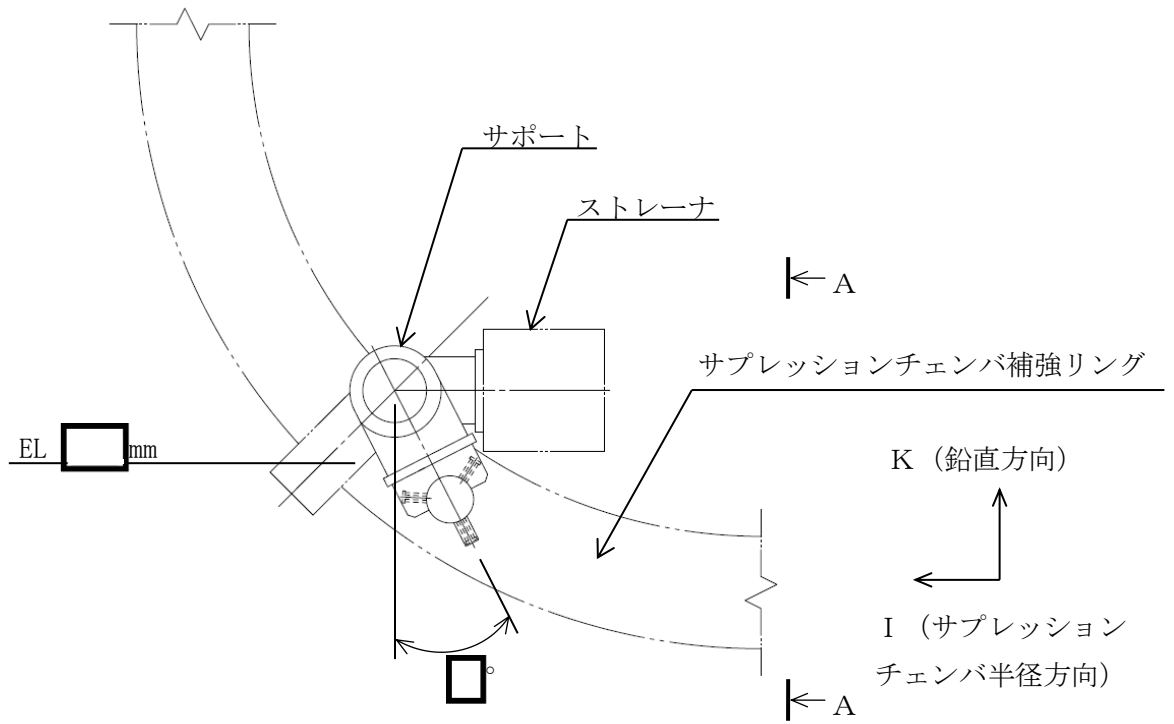


側面図

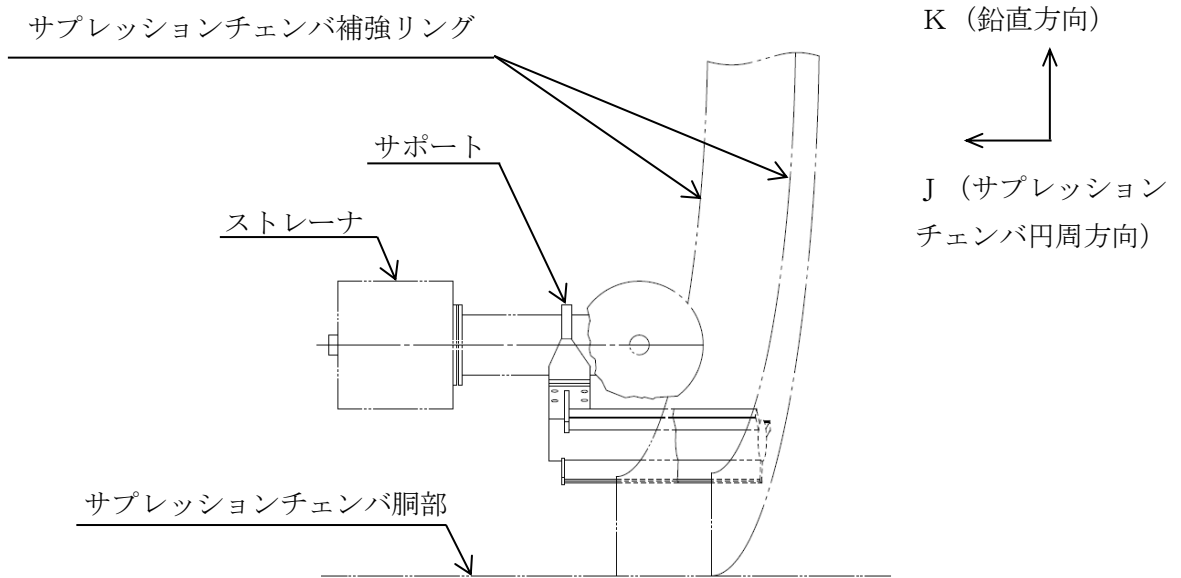


A~A矢視図

図 3-1(3) ストレーナの取付状況



側面図



A~A矢視図

図 3-1(4) ストレーナ取付部サポートの形状及び主要寸法

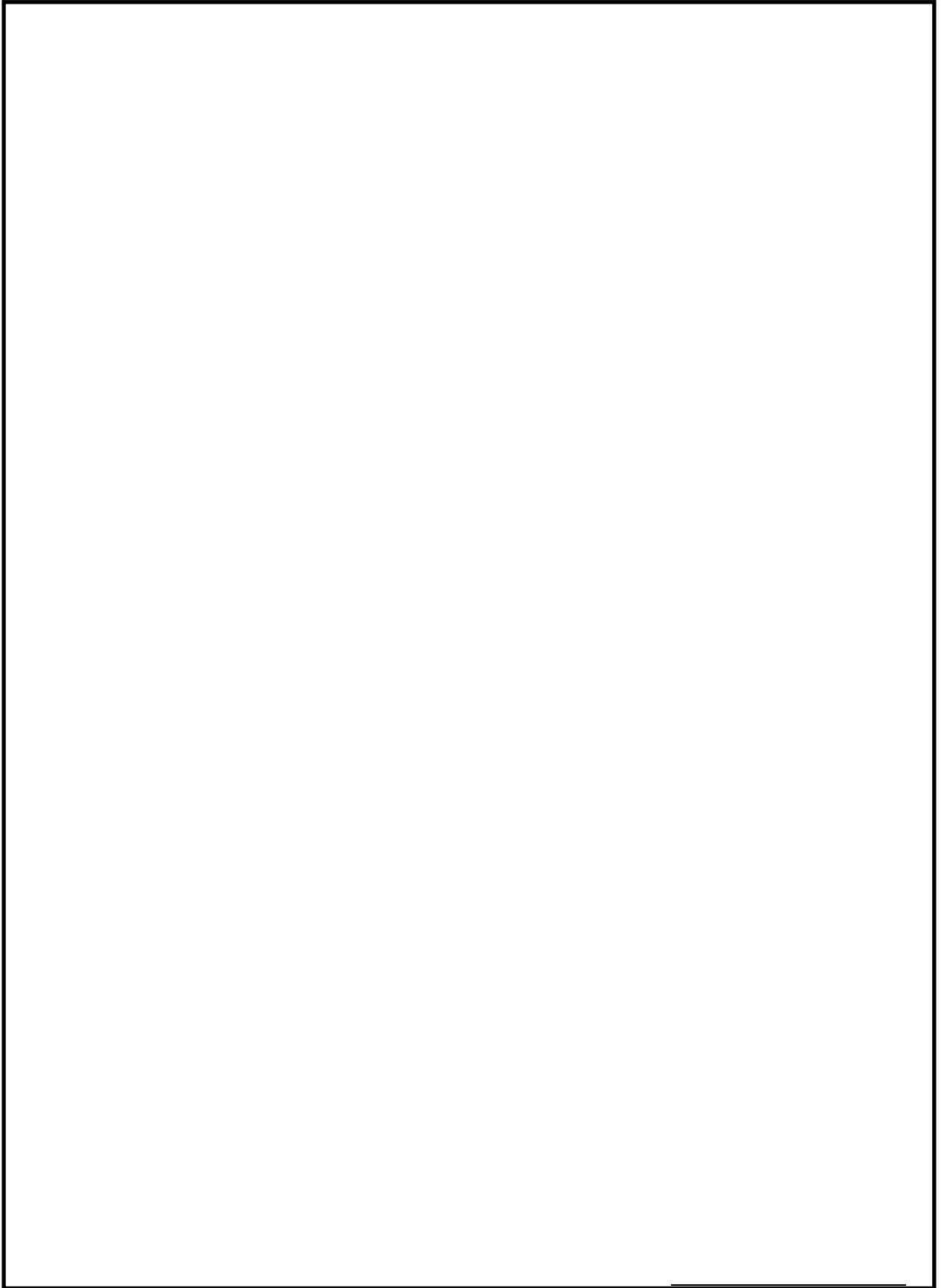


図 4-3(1) 荷重算出用モデル (単体モデル)

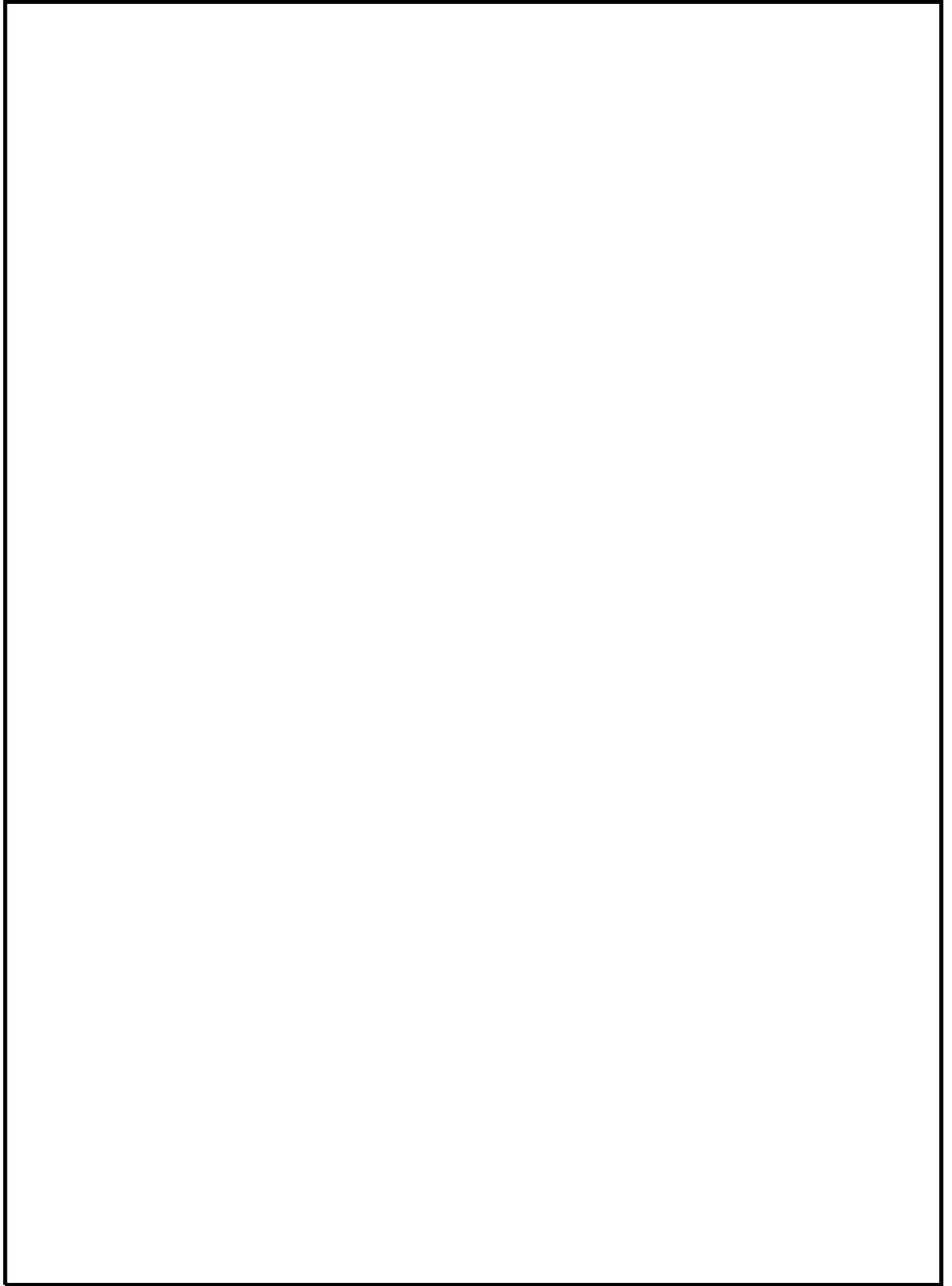


図 4-3(2) 荷重算出用モデル (単体モデル)

## 2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
CH	チャギング時の荷重	—
CO	蒸気凝縮振動荷重	—
F <sub>v</sub>	せん断力	N
f <sub>b</sub>	許容曲げ応力* <sup>1</sup>	MPa
f <sub>c</sub>	許容圧縮応力* <sup>2</sup>	MPa
f <sub>s</sub>	許容せん断応力* <sup>3</sup>	MPa
f <sub>t</sub>	許容引張応力* <sup>4</sup>	MPa
M	曲げモーメント	N・mm
N	軸力	N
PS	プールスウェル荷重	—
SRV	逃がし安全弁作動時	—
T	ねじりモーメント	N・mm
Z	断面係数, 極断面係数	mm <sup>3</sup>
σ	組合せ応力	MPa
σ <sub>b</sub>	曲げ応力	MPa
σ <sub>t</sub>	垂直応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
x	サポート局所座標系 (サポート面外方向)	—
y	サポート局所座標系 (サポート面内方向 (取付直交方向))	—
z	サポート局所座標系 (サポート面内方向 (取付方向))	—
I	サプレッションチェンバ座標系 (半径方向)	—
J	サプレッションチェンバ座標系 (円周方向)	—
K	サプレッションチェンバ座標系 (鉛直方向)	—

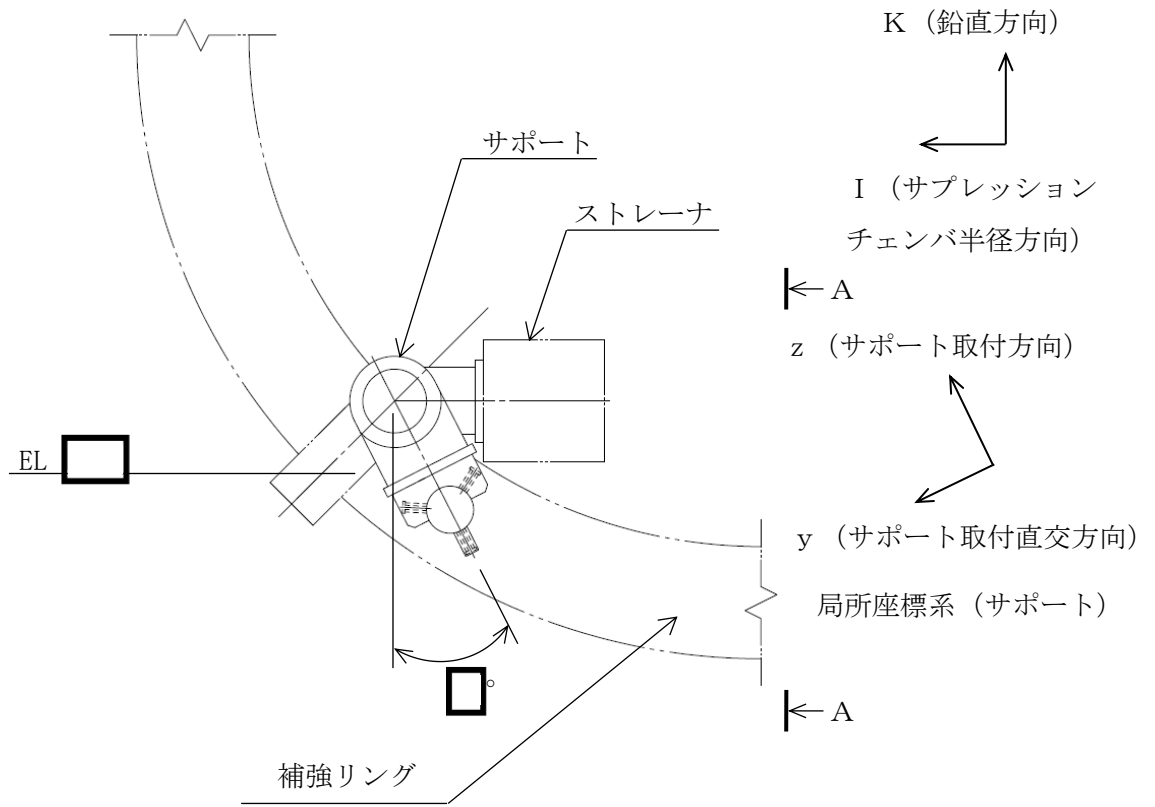
注：ここで定義されない記号については、各計算の項目において説明する。

注記\*1：支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により規定される値

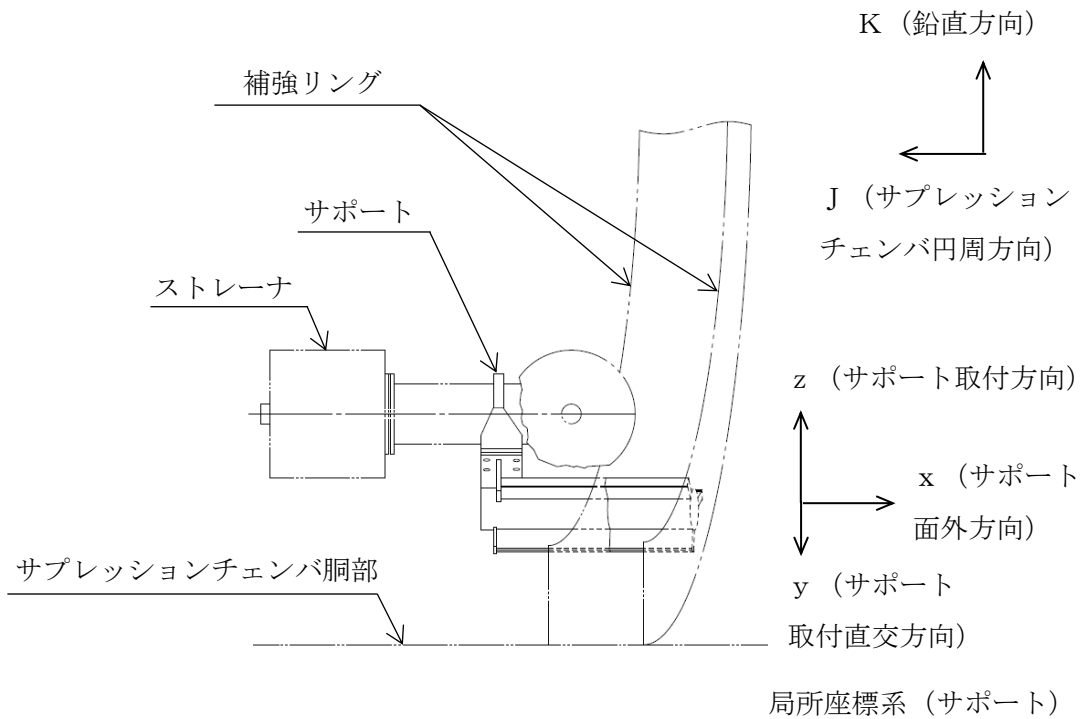
\*2：支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(3)により規定される値

\*3：支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(2)により規定される値，ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131(2)により規定される値

\*4：支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(1)により規定される値，ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131(1)により規定される値



側面図



A~A矢視図

図 3-2 ストレーナ取付部サポートの形状及び主要寸法 (1/2)

## (3) サポートプレート (応力評価点 P3)

サポートプレートの応力計算は応力解析用モデルにより行う。サポートプレートの応力解析用モデルを図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表 4-9、設計荷重を表 4-10 に示す。

- 応力解析用モデルでは、「4.3 解析モデル及び諸元」の応答解析用モデルのサポートプレート部をシェル要素でモデル化した有限要素モデルを用いて解析を行う。
- サポートプレートの各部材は溶接により接合されており、溶接部は健全性が確保されるよう設計する。
- 図 4-2 に示す荷重入力点に x 方向、y 方向、及び z 方向に単位荷重を個別に入力し、荷重出力点の反力と各部位の応力を算出する。また、得られた各入力に対する応力に、設計荷重と荷重出力点反力との比をかけた後、荷重の組み合わせを考慮した加算を行い、応力強さを算出する。
- 表 4-10 に示す設計荷重によりサポートプレートに生じる応力は、解析コード「MSC NASTRAN」を使用して計算する。

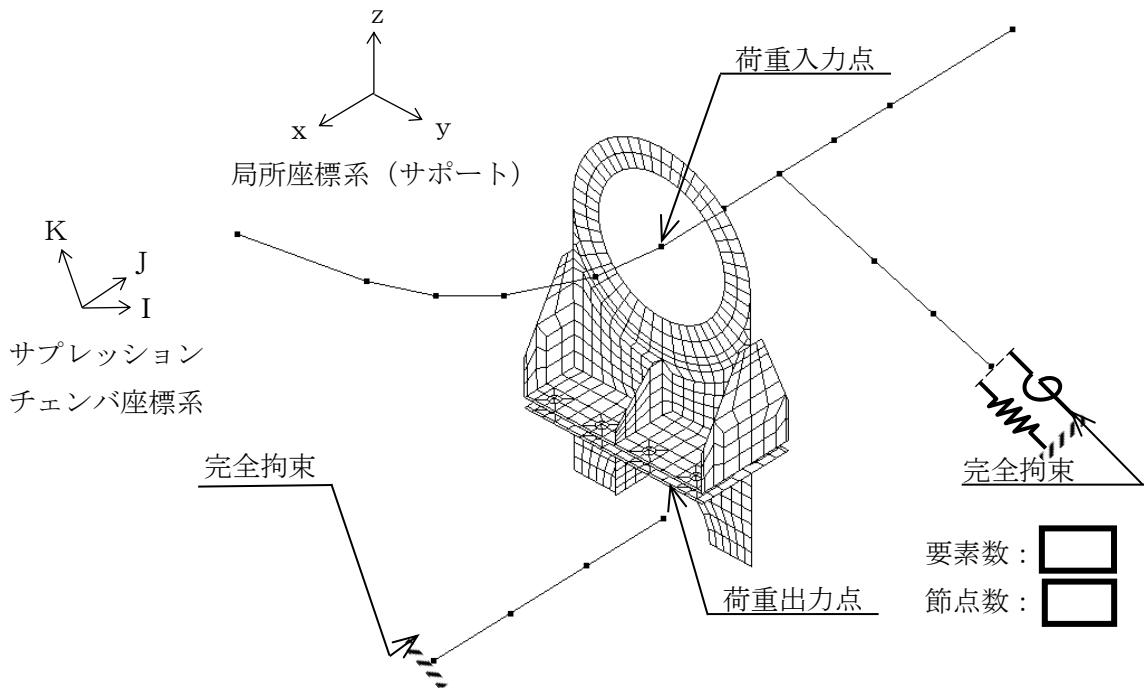


図 4-2 サポートプレートの応力解析用モデル

表 4-9 機器諸元 (応力解析用モデル)

項目	単位	入力値
サポートプレートの材質	—	[ ]
サポートプレートの質量	kg	
温度	℃	104
縦弾性係数	MPa	[ ]
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

表 4-10 ストレーナ取付部サポートプレートの設計荷重

(単位 : N)

荷重		x 方向	y 方向	z 方向
1	死荷重	[ ]	[ ]	[ ]
2	SRV 荷重			
3	プールのスウェル			
4	蒸気凝縮			
5	チャギング			

注 1 : 方向は図 4-2 参照。

注 2 : 異物による荷重を含めて計算している。

(4) サポートボルト (応力評価点 P4)

サポートボルトの設計荷重を表 4-11 に示す。

表 4-11 に示す荷重により、サポートボルトに生じる応力を求める。

死荷重に対する計算例を以下に示す。

a. 軸力による引張応力

$$\sigma_t = \frac{N}{A} = [ ] = 14 \text{ MPa}$$

ここに、A : サポートボルト (呼び径 M [ ]) の断面積  
= [ ] mm<sup>2</sup>

b. せん断力によるせん断応力

$$\tau = \frac{F_v}{A} = [ ] = 15 \text{ MPa}$$



PHT-2312 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで、メーカー規格及び基準の設計が設計・建設規格と同等の裕度を有しているとみなせるため、当該ダクトは要求される強度を有している。

#### IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス 3 機器は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
D	死荷重	—
D <sub>i</sub>	直径 (i = 1, 2, 3…)	mm
E	縦弾性係数	MPa
F <sub>X</sub>	荷重 (スリーブ軸方向)	N
F <sub>Y</sub>	荷重 (サブプレッションチェンバ胴軸方向)	N
F <sub>Z</sub>	荷重 (サブプレッションチェンバ胴周方向)	N
g <sub>0</sub>	ハブ先端の厚さ	mm
g <sub>1</sub>	フランジ背面のハブの厚さ	mm
G	ガスケット平均直径	mm
G <sub>i</sub>	内側ガスケット中心直径	mm
G <sub>O</sub>	外側ガスケット中心直径	mm
ℓ <sub>i</sub>	長さ (i = 1, 2, 3)	mm
M <sub>SA</sub>	機械的荷重 (SA後機械的荷重)	—
P <sub>SA</sub>	圧力 (SA後圧力)	—, kPa
R	半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表3 に定める値	MPa
S <sub>u</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9 に定める値	MPa
S <sub>y</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める値	MPa
S <sub>y</sub> (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
T	温度	℃
T <sub>SA</sub>	温度 (SA後温度)	℃
t <sub>i</sub>	厚さ (i = 1, 2, 3…)	mm
W	死荷重	N
σ <sub>b</sub>	ふた板の曲げ応力	MPa
σ <sub>H</sub>	ハブの軸方向応力	MPa
σ <sub>ℓ</sub>	スリーブの軸方向応力	MPa
σ <sub>R</sub>	フランジの半径方向応力	MPa
σ <sub>t</sub>	スリーブの周方向応力, ボルトの平均引張応力	MPa
σ <sub>T</sub>	フランジの周方向応力	MPa
ν	ポアソン比	—

## 5.2 機器・配管系に関する評価式

### 5.2.1 衝突評価が必要な機器

#### (1) 評価条件

衝突評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- a. 貫通計算においては，評価対象部位に飛来物が衝突した際に跳ね返らず，貫通するものとして評価する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-8 に示す。

表 5-8 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
飛来物が衝突する可能性がある部位のうち，最小肉厚部等，貫通によって当該施設が機能喪失する可能性がある箇所	衝突による貫通力

#### (3) 強度評価方法

##### a. 記号の定義

衝突評価に用いる記号を表 5-9 に示す。

表 5-9 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

##### b. 評価方法

###### (a) 貫通限界厚さの算出

飛来物が防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会）」で用いられている B R L 式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(3) 破断評価

破断評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-3 破断評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$a_w$	mm	取付けプレート溶接部ののど厚
$A_b$	mm <sup>2</sup>	隅角部固定ボルトの有効断面積
$C_c$	—	ワイヤグリップ効率
$F_1$	kN	ネット 1 交点当たりの破断荷重
$F_2$	kN	ワイヤロープの規格値 (破断荷重)
$F_3$	kN	ターンバックルの規格値 (保証荷重)
$F_4$	kN	シャックルの規格値
$F_{a'}$	kN	設計飛来物衝突時にネットが受けるオフセット衝突を加味した最大衝撃荷重
$F_P$	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に 1 本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_{P'}$	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に 2 本のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_x$	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用する X 方向の合成荷重
$F_y$	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用する Y 方向の合成荷重
$L$	mm	取付けプレートの面取り長さ
$L_{Pw}$	mm	取付けプレート溶接部の有効長さ
$L_{P1}$	mm	取付けプレート長さ (縦方向)
$L_{P2}$	mm	取付けプレート長さ (横方向)
$n_1$	—	設計飛来物の衝突位置周辺のネット 1 枚当たりの交点の個数
$n_2$	—	隅角部固定ボルト本数
$S_w$	mm	取付けプレート溶接部の溶接脚長
$T'$	kN	設計飛来物のネットへの衝突によりネットに発生する張力の合計の最大値
$T_1'$	kN	設計飛来物のネットへの衝突によりワイヤロープ 1 本に作用する張力の最大値
$T_1''$	kN	設計飛来物のネットへの衝突により補助金網を支持しているワイヤロープ 1 本に作用する張力の最大値

表 3-3 破断評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$T_x$	kN	ネット展開方向のワイヤロープから発生するX方向の荷重
$T_x'$	kN	ネット展開直角方向のワイヤロープから発生するX方向の荷重
$T_y$	kN	ネット展開方向のワイヤロープから発生するY方向の荷重
$T_y'$	kN	ネット展開直角方向のワイヤロープから発生するY方向の荷重
$\delta_{wx}$	m	ネット展開方向に平行なワイヤロープの変形後のたわみ量
$\delta_{wy}$	m	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープの変形後のたわみ量
$\theta$	deg	設計飛来物衝突時のネットのたわみ角
$\theta_1$	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
$\theta_2$	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
$\theta_{w1}$	deg	ネット展開方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_{w2}$	deg	ネット展開直角方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_x$	deg	ネット展開方向に平行なネットたわみ角
$\theta_y$	deg	ネット展開直角方向に平行なネットたわみ角
$\tau_s$	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
$\tau_w$	MPa	取付けプレート溶接部に発生するせん断応力

(4) 建物開口部竜巻防護鋼板

建物開口部竜巻防護鋼板は、当該竜巻防護対策設備の架構に取り付けられ外部事象防護対象施設の外殻となる。建物開口部防護対策設備の概要図を図 2-12 に示す。

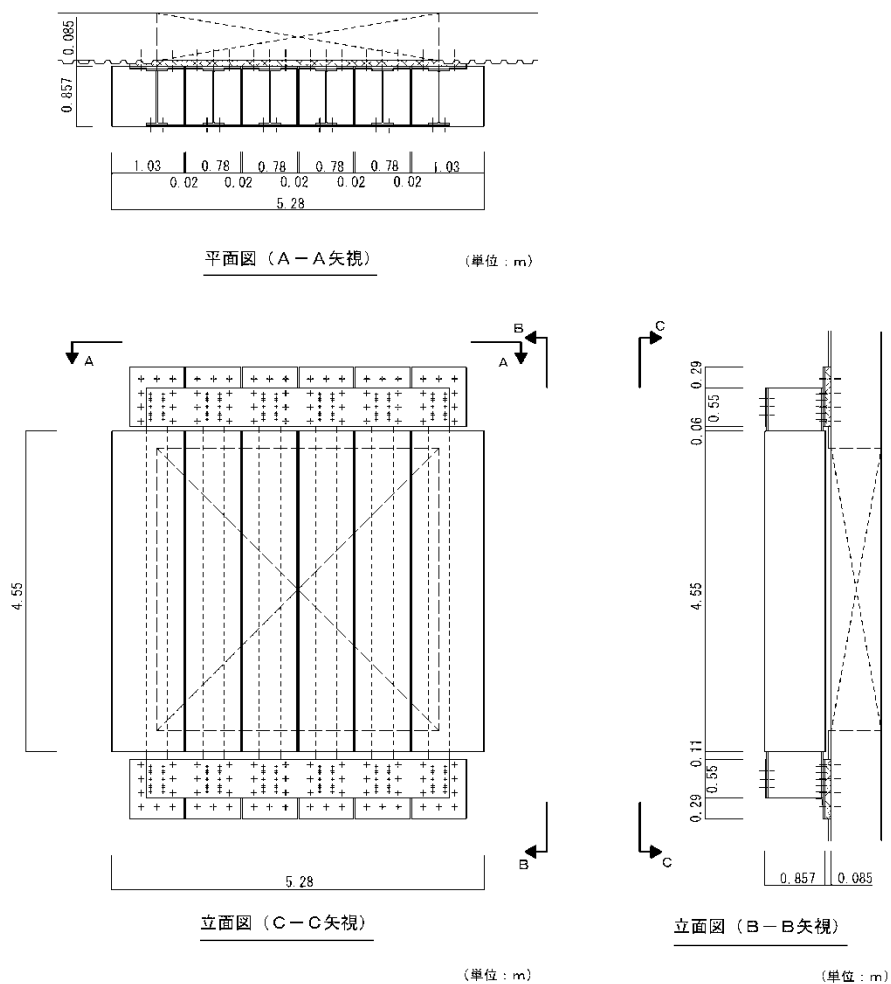
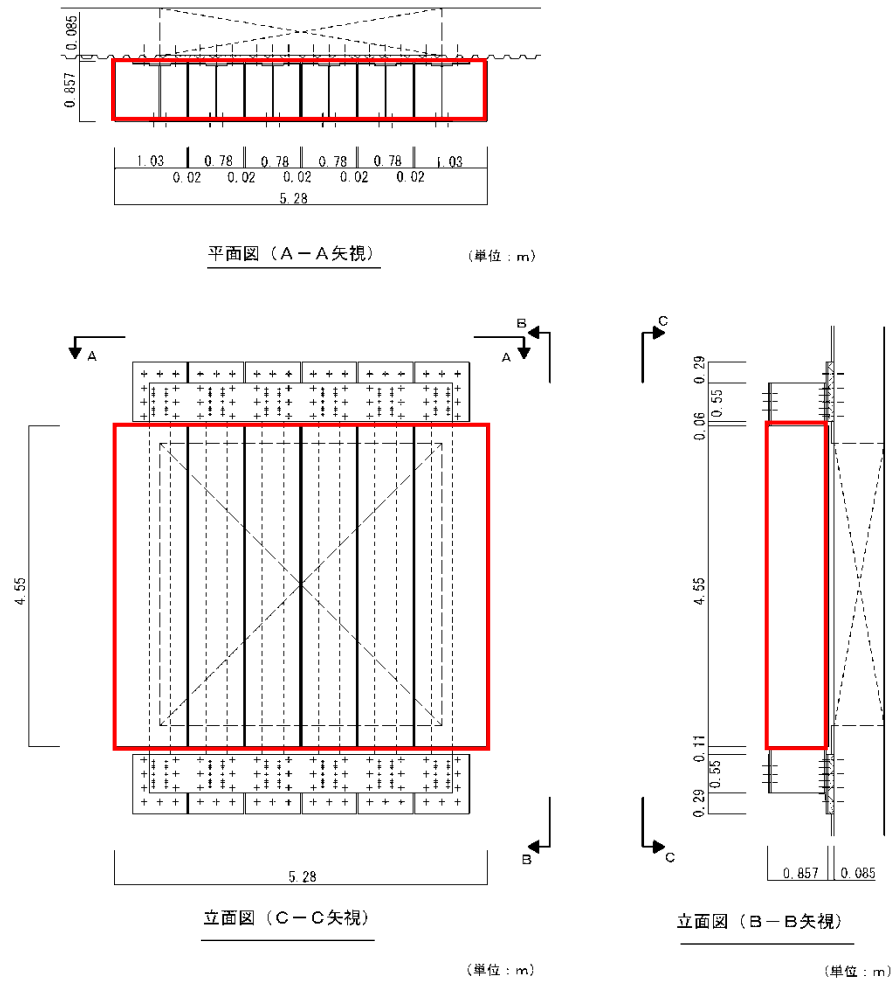


図 2-12 建物開口部防護対策設備の概要図



□ : 評価対象部位

図 3-4 評価対象部位 (建物開口部竜巻防護鋼板)

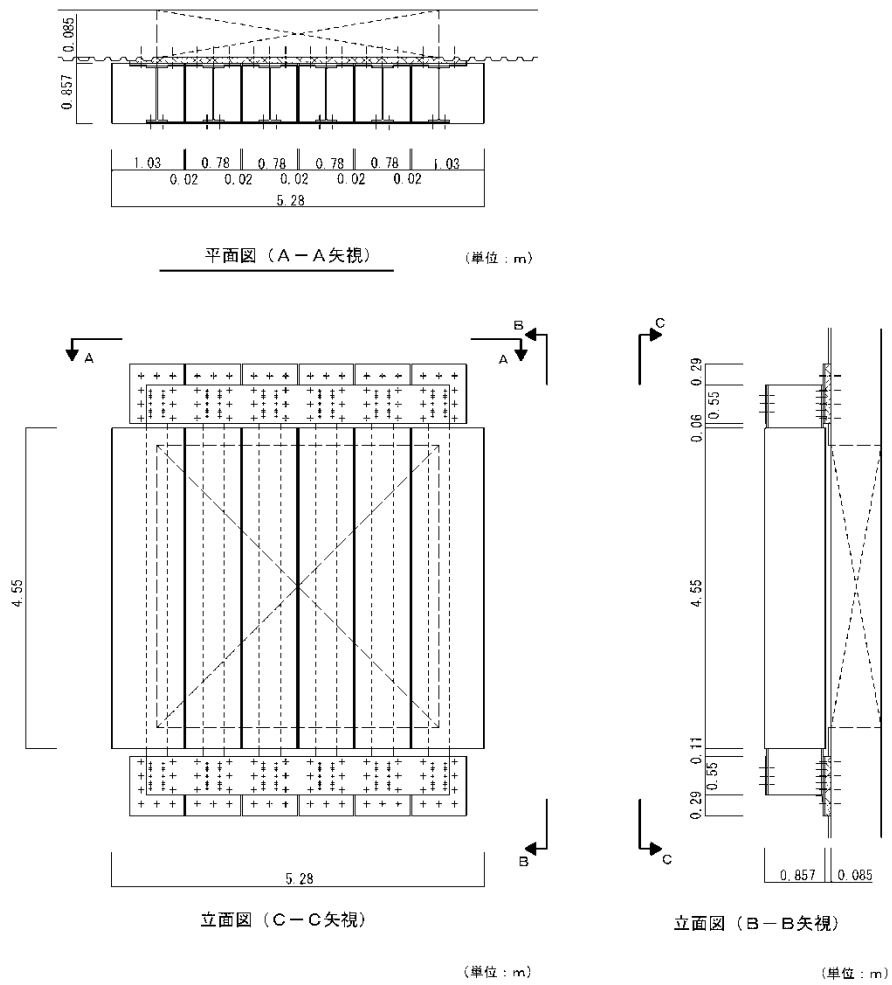


図 2-14 建物開口部防護対策設備の概要図 (その 3)



c. 破断ひずみ

破断ひずみは、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、「NEI 07-13」においてT F（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として2軸引張状態でT F = 2.0を考慮する。

なお、安全側の評価として、排気筒の破断ひずみを超えた要素は削除することとし、鋼製材の破断ひずみを超えた要素は削除せず、荷重を伝達するものとする。

材料ごとの破断ひずみを表4-5に示す。

表4-5 排気筒の破断ひずみ

評価対象	材質	J I S 規格値	T F	破断ひずみ
排気筒	SS400		2.0	
	SS400		2.0	
	SMA400AP		2.0	
	STK400		2.0	
	STK490		2.0	

## 2.2 構造概要

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画のとおり，排気消音器の構造を設定している。

排気消音器は，鋼製の胴板を主体構造とし，原子炉建物に設けた基礎に本体を結合ボルト及び基礎ボルトで固定する構造とする。排気消音器の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 排気消音器の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<b>【位置】</b> 排気消音器は，原子炉建物屋上に設置する。			
排気消音器	鋼製の胴板で構成する。	原子炉建物屋上に設けた基礎に本体を結合ボルト及び基礎ボルトで固定する。	

表 4-5 許容限界

施設名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力の 状態	限界状態	
原子炉補機海水ポンプ及び 高圧炉心スプレ イ補機海水 ポンプ	$F_d + F_a + F_s + P + W$	原動機台	圧縮, 曲げ	部材が弾性 域に留まら ず, 塑性域 に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準 じて許容応 力状態Ⅲ A S の許容応力 以下とす る。
	$F_d + F_a + F_s + P + W$	原動機 フレーム	圧縮, 曲げ		
	$F_d + F_a + F_s$	上部カバー, キャップ	曲げ		

表 4-6 原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの許容限界

許容応力状態	許容限界*	
	一次応力	
	圧縮	曲げ
Ⅲ A S	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$

注記\* : 記号の定義は以下のとおり。

$f_b$  : J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力

$f_c$  : J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力

b. ディーゼル機関給気口

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-7 に示す。

構造強度評価においては、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重、風（台風）による水平荷重及びその他の荷重に対し、ディーゼル機関給気口を構成する天板及び架構が、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「J E A G 4 6 0 1」に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sにおけるディーゼル機関給気口の許容限界を表 4-8 に示す。

表 4-7 許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
ディーゼル機関給気口	$F_d + F_a + F_s$	天板	曲げ	部材が弾性域に留まらず、塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
	$F_d + F_a + F_s + W$	架構	曲げ, 圧縮, 座屈		

表 4-8 ディーゼル機関給気口の許容限界

許容応力状態	許容限界* (ボルト以外)		
	一次応力		
	圧縮	曲げ	座屈
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$\frac{\sigma_{b2}}{1.5 \cdot f_b} + \frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c} \leq 1$

注記\*：記号の定義は以下のとおり。

$f_b$ ：J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力

$f_c$ ：J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力

$\sigma_{b2}$ ：架構に生じる曲げ応力

$\sigma_c$ ：架構に生じる圧縮応力

構造強度評価においては、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及びその他の荷重に対し、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備を構成するカバー、サポート及び取付ボルトが弾性域に留まらず、塑性域に入る状態とならないことをFEM解析及び計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、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）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に準じて許容応力状態IVASの許容応力を許容限界として設定する。許容応力状態IVASにおけるディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界を表4-7に示す。

表4-6 評価対象部位ごとの許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力の状態	限界状態	
ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備	$F_d + F_a + F_s$	カバー	組合せ	部材が弾性域に留まらず、塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態IVASの許容応力以下とする。
	$F_d + F_a + F_s$	サポート	曲げ, せん断, 組合せ		
	$F_d + F_a + F_s$	取付ボルト	引張, せん断		

表4-7 許容応力状態IVASにおけるディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト以外)			許容限界*1, *2 (ボルト)	
	一次応力			一次応力	
	曲げ	せん断	引張	せん断	引張
IVAS	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$f_{ts}^*$

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。

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）

$f_{ts}^*$ は以下のとおり。

$$f_{ts}^* = \text{Min} \{ 1.4 \cdot (1.5 \cdot f_t^*) - 1.6 \cdot \tau, 1.5 \cdot f_t^* \}$$

\*2：記号の定義は以下のとおり。

$F^*$ ：J S M E SSB-3121.3 又は SSB-3133 により規定される値

$f_b^*$ ： $F^*$ により算出されるサポートの許容曲げ応力

$f_s^*$ ： $F^*$ により算出されるサポート又はボルトの許容せん断応力

$f_t^*$ ： $F^*$ により算出されるカバー又はサポートの許容引張応力

表 3-18 部材リスト

部位		形状寸法	材質	断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )
主トラス	上弦材	H-400×400×13×21	SM490A (SM50A)	218.7	66600
	下弦材	BH-400×400×19×35 +2PL <sub>S</sub> -16×330*	SM490A (SM50A)	448.3	108800
		BH-400×400×19×35	SN490B	342.7	99230
		H-400×400×13×21		218.7	66600
	斜材	2CT <sub>S</sub> -175×350×12×19	SS400 (SS41)	173.9	—
		2CT <sub>S</sub> -150×300×10×15 +4L <sub>S</sub> -90×90×10*		187.8	—
		2CT <sub>S</sub> -150×300×10×15		119.8	—
		2CT <sub>S</sub> -125×250×9×14 +4L <sub>S</sub> -90×90×10*		160.2	—
	束材	2CT <sub>S</sub> -175×350×12×19	SS400 (SS41)	173.9	—
		2CT <sub>S</sub> -150×300×10×15		119.8	—
		2CT <sub>S</sub> -125×250×9×14		92.18	—

注記\*：補強工事で追加した部材

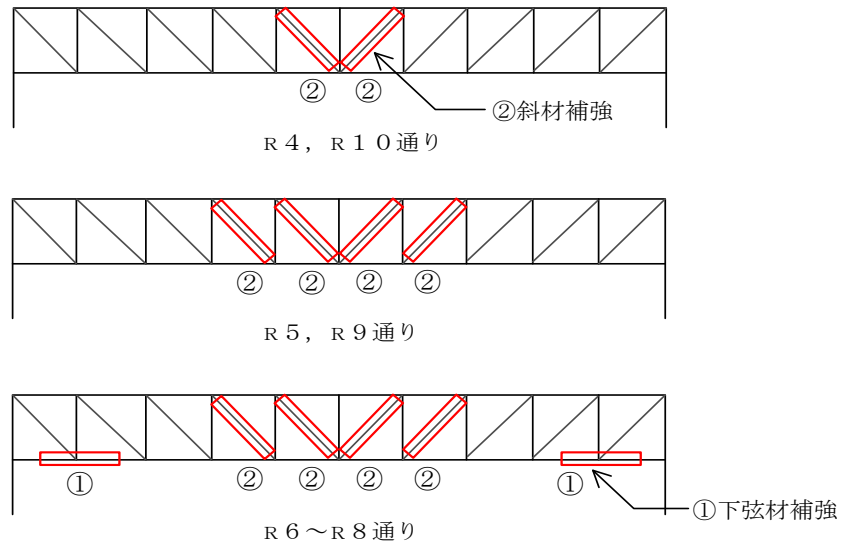
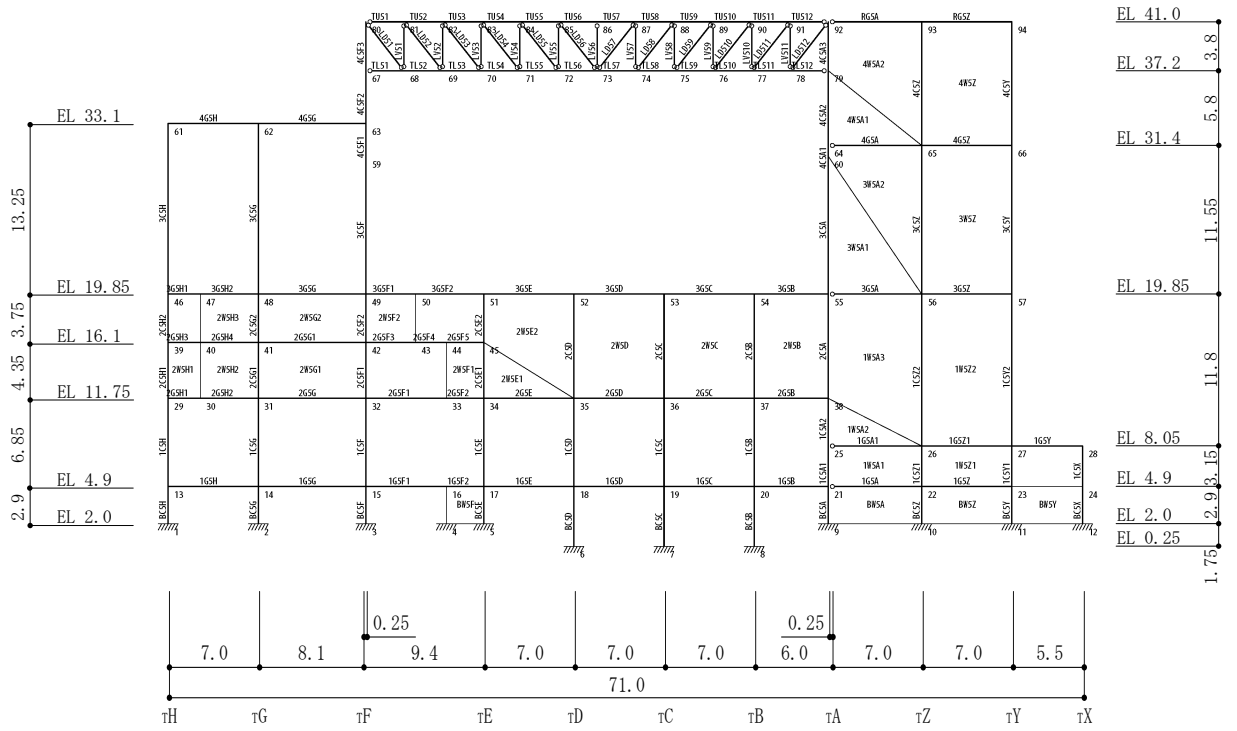
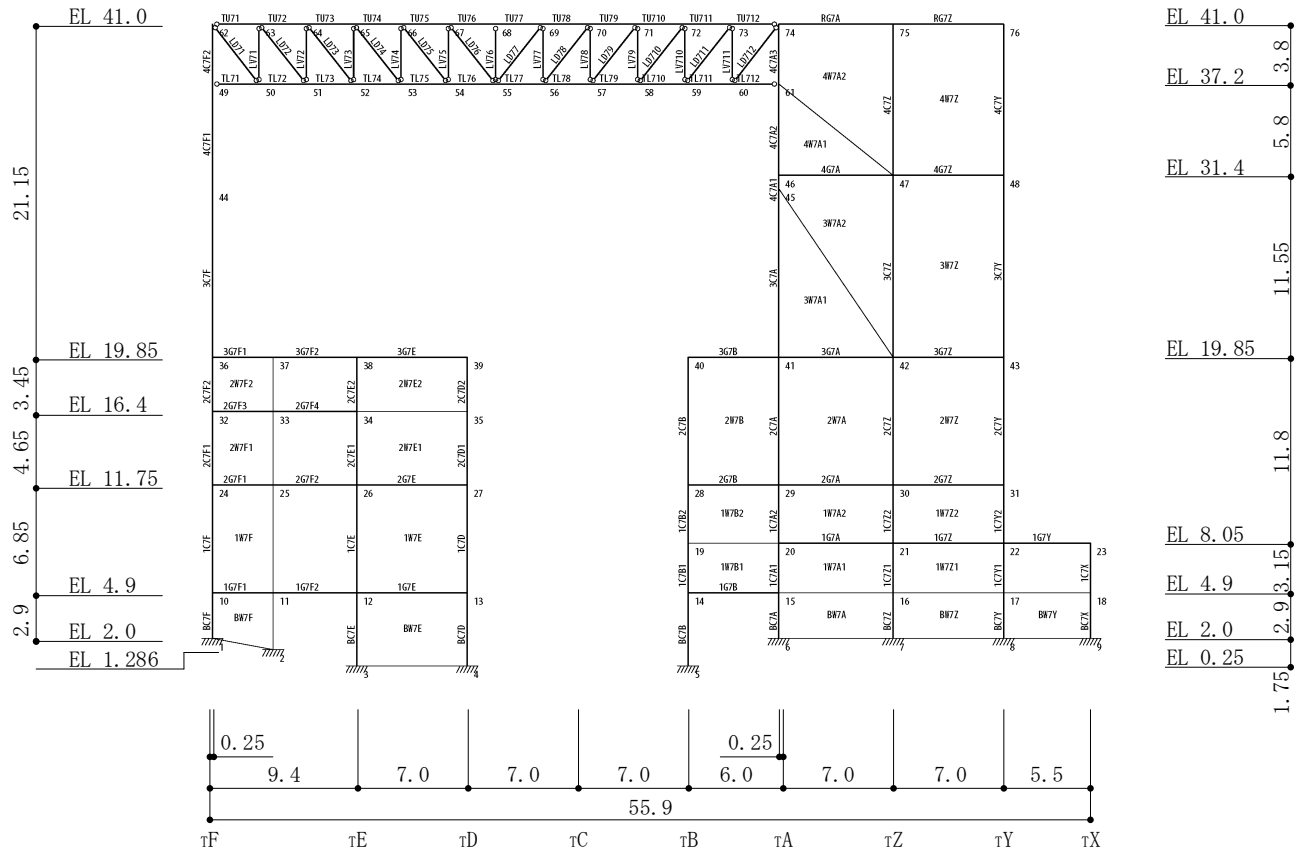


図 3-2 主トラス補強箇所



(単位 : m)

図 3-1(1) 解析モデル図 (T5 フレーム)



(単位 : m)

図 3-1(2) 解析モデル図 (T7 フレーム)



表 3-15 部材リスト(1/2)

部位		形状寸法	材質	断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )
主トラス	上弦材	H-428 $\times$ 407 $\times$ 20 $\times$ 35	SS400	360.7	119000
		BH-428 $\times$ 400 $\times$ 19 $\times$ 28	(SS41)	294.7	97900
	下弦材	BH-428 $\times$ 407 $\times$ 32 $\times$ 40 +2B <sub>S</sub> -386 $\times$ 100 $\times$ 19 $\times$ 19*	SS400 (SS41)	645.2	173200
		BH-428 $\times$ 407 $\times$ 32 $\times$ 40		437.0	134200
		H-428 $\times$ 407 $\times$ 20 $\times$ 35	SN400B	360.7	119000
		BH-428 $\times$ 400 $\times$ 25 $\times$ 35		369.5	118000
		BH-428 $\times$ 400 $\times$ 19 $\times$ 28		294.7	97900
	斜材	2CT <sub>S</sub> -175 $\times$ 350 $\times$ 12 $\times$ 19 +2PL <sub>S</sub> -12 $\times$ 200*	SS400	221.9	—
		2CT <sub>S</sub> -175 $\times$ 350 $\times$ 12 $\times$ 19		173.9	—
		2CT <sub>S</sub> -150 $\times$ 300 $\times$ 10 $\times$ 15 +2PL <sub>S</sub> -12 $\times$ 200*	(SS41)	167.8	—
		2CT <sub>S</sub> -150 $\times$ 300 $\times$ 10 $\times$ 15		119.8	—
		2BCT <sub>S</sub> -175 $\times$ 350 $\times$ 22 $\times$ 22 +2PL <sub>S</sub> -12 $\times$ 200*	SN400B	269.3	—
		2BCT <sub>S</sub> -175 $\times$ 350 $\times$ 22 $\times$ 22 +2PL <sub>S</sub> -16 $\times$ 250*		301.3	—
		2BCT <sub>S</sub> -175 $\times$ 350 $\times$ 22 $\times$ 22		221.3	—

注記\* : 補強工事で追加した部材

表 3-15 部材リスト (2/2)

部位		形状寸法	材質	断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )
主トラス	束材	2CT <sub>S</sub> -175×350×12×19 +2PL <sub>S</sub> -12×200*	SS400 (SS41) SN400B	221.9	—
		2CT <sub>S</sub> -175×350×12×19		173.9	—
		2CT <sub>S</sub> -150×300×10×15 +2PL <sub>S</sub> -12×200*		167.8	—
		2CT <sub>S</sub> -150×300×10×15		119.8	—
		2BCT <sub>S</sub> -175×350×22×22		221.3	—
		2BCT <sub>S</sub> -175×350×22×22 +2PL <sub>S</sub> -12×200*		269.3	—

注記\* : 補強工事で追加した部材

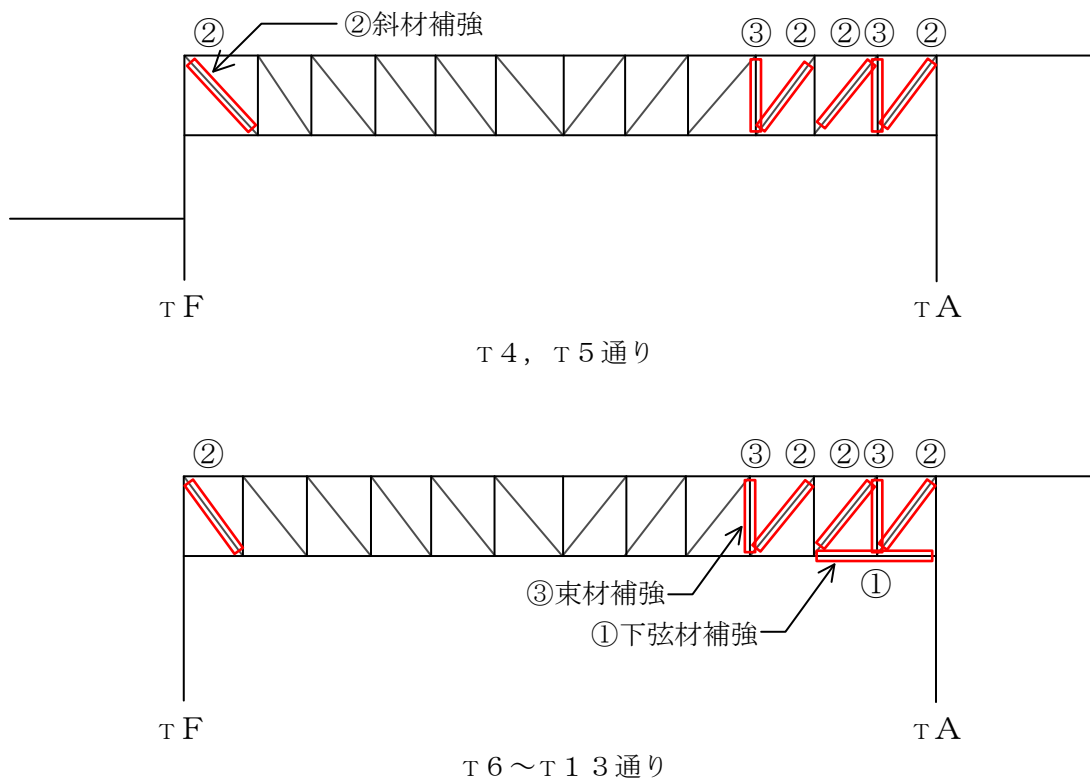


図 3-2 主トラス補強箇所

表 3-16 部材リスト

部位		形状寸法	材質	断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面二次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )
もや		H-400 $\times$ 200 $\times$ 8 $\times$ 13 +CT-175 $\times$ 175 $\times$ 7 $\times$ 11*	SS400 (SS41)	115.6	50580
		H-400 $\times$ 200 $\times$ 8 $\times$ 13	SN400B	84.12	23700
つなぎ ばり	上弦材	BH-428 $\times$ 300 $\times$ 12 $\times$ 19	SS400 (SS41)	160.8	53600
	下弦材	H-250 $\times$ 250 $\times$ 9 $\times$ 14	SS400	92.18	10800
		BH-428 $\times$ 300 $\times$ 12 $\times$ 19	(SS41)	160.8	53600
	斜材	2CT <sub>s</sub> -100 $\times$ 204 $\times$ 12 $\times$ 12	SS400	71.53	—
		2CT <sub>s</sub> -125 $\times$ 250 $\times$ 9 $\times$ 14	(SS41)	92.18	—
サブビーム		BH-428 $\times$ 300 $\times$ 12 $\times$ 19	SS400 (SS41)	160.8	53600

注記\*：補強工事で追加した部材

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
a	mm	鋼板の短辺
a <sub>2</sub>	mm	架構が荷重を分担する鋼板の短辺
A	mm <sup>2</sup>	鋼板の断面積
A <sub>z</sub>	cm <sup>2</sup>	架構の強軸方向のせん断断面積
b	mm	鋼板の長辺
b <sub>2</sub>	mm	架構の幅及び高さ
T <sub>a</sub>	N	アンカーボルトに生じる引張力
h	mm	鋼板の厚さ
L	mm	アンカーボルト間の距離
L <sub>2</sub>	mm	架構の長さ
M	N・mm	鋼板に作用する弱軸まわりの曲げモーメント
M <sub>2</sub>	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント(単純支持梁(ピン結合)とした場合)
M <sub>3</sub>	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント(単純固定梁とした場合)
n <sub>a</sub>	-	架構 1 箇所当たりのアンカーボルトの本数
n <sub>2</sub>	-	評価対象とする架構に対し直交する架構の本数
p	N/mm	鋼板に作用する等分布荷重
p <sub>2</sub>	N/mm	架構に作用する等分布荷重
p <sub>3</sub>	N/mm	架構の単位長さあたりの自重
ρ	kN/m <sup>3</sup>	鋼板の密度
Q	N	鋼板に作用する弱軸まわりのせん断力
Q <sub>2</sub>	N	架構に作用する強軸まわりのせん断力
Z	mm <sup>3</sup>	鋼板の弱軸まわりの断面係数
Z <sub>2</sub>	mm <sup>3</sup>	架構の強軸まわりの断面係数
σ	MPa	鋼板に生じる曲げ応力
σ <sub>2</sub>	MPa	架構に生じる曲げ応力

表 3-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$\tau$	MPa	鋼板に生じるせん断応力
$\tau_2$	MPa	架構に生じるせん断応力
F	N/mm <sup>2</sup>	鋼板及び架構の F 値
$f_b$	N/mm <sup>2</sup>	鋼板及び架構の短期許容曲げ応力度
$f_s$	N/mm <sup>2</sup>	鋼板及び架構の短期許容せん断応力度
$\nu$	—	座屈安全率
$\lambda_b$	—	曲げ材の細長比
$p \lambda_b$	—	塑性限界細長比
$e \lambda_b$	—	弾性限界細長比
$p_{a1}$	N	接着系アンカーボルトの降伏により決まる場合の接着系アンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
$p_{a3}$	N	接着系アンカーボルトの付着力により決まる場合の接着系アンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
$\Phi_1, \Phi_3$	—	低減係数
$s \sigma_{pa}$	N/mm <sup>2</sup>	接着系アンカーボルトの引張強度
$s_c a$	mm <sup>2</sup>	接着系アンカーボルトの断面積
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	へりあき及びアンカーボルトのピッチを考慮した接着系アンカーボルトの引張力に対する付着強度
$\pi$	—	円周率
$d_a$	mm	接着系アンカーボルトの径
$l_{ce}$	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込み深さ

### 3.4 許容限界

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の許容限界値は、VI-3-別添 2-2「火山防護対策設備の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに設定する。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備を構成する鋼板及び架構の許容限界を、「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)」に基づき、表 3-4 に示すとおり設定する。また、アンカーボルトの許容限界についても、「各種合成構造設計指針・同解説( (社) 日本建築学会, 2010 年改定)」に基づき、表 3-4 に示すとおり設定する。

鋼板及び架構の材料強度を表 3-5 に、コンクリートの短期許容応力度を表 3-6 に、アンカーボルトの短期許容荷重を表 3-7 に示す。

表 3-4 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の許容限界

機能設計上の性能目標	評価対象部位	応力等の状態	機能維持のための考え方	許容限界
構造強度を有すること	鋼板	曲げ, せん断	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	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) に準じた短期許容応力度 各種合成構造設計指針・同解説( (社) 日本建築学会, 2010 年改定) に準じた短期許容荷重
	架構	曲げ, せん断		
	アンカーボルト	引張		

表 3-5 鋼板及び架構の材料強度

(単位: N/mm<sup>2</sup>)

材料	板厚	F 値	材料強度		
			引張	圧縮 曲げ	せん断
SS400	t ≤ 40mm	235	234	234*	135

注記\*: 上限値であり, 座屈長さ等を勘案して設定する。

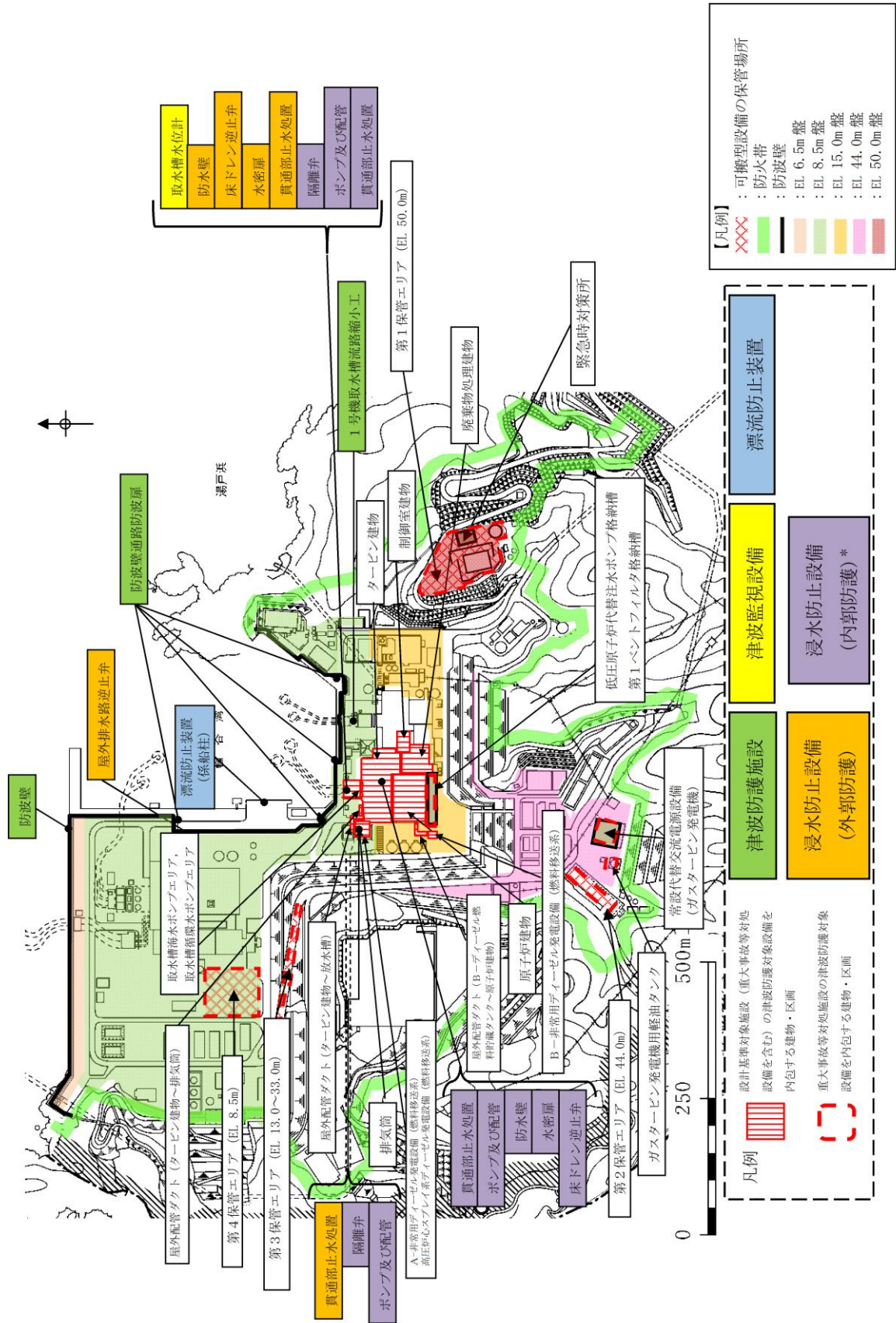


図 2-1 強度評価の対象施設配置図

表 4.1-2 津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ(1/6)

強度計算の対象施設	事象	荷重						
		自重 (D) 又は 固定荷重 (G)	積載荷重 (P)	余震荷重 (S d 又は K S d)	遡上津波荷重 (P t), 突き上げ津波荷重 (P t), 水平津波荷重 (P t), 静水圧荷重 (P h) 又は係留力 (P p)	衝突荷重 (P c)	風荷重 (P k)	積雪荷重 (P s)
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	津波時	○	○	-	○*1	○	○	○
	重畳時	○	○	○	○*2	-	○	○
防波壁 (逆T擁壁)	津波時	○	○	-	○*1, *3	○	○	○
	津波時	○	○	-	○*1	○	○	○
防波壁 (波返重力擁壁)	津波時	○	○	○	○*2	-	○	○
	重畳時	○	○	○	○*2	-	○	○

注記\*1：日本海東縁部を波源とした津波による遡上津波荷重 (P t)

\*2：海域活断層を波源とした津波による遡上津波荷重 (P t)

\*3：海域活断層を波源とした津波が施設に到達しないため、海域活断層を波源とした津波による遡上津波荷重 (P t) を考慮しない。



表 4.1-2 津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ(2/6)

強度計算の対象施設	事象	荷重						
		自重 (D) 又は 固定荷重 (G)	積載荷重 (P)	余震荷重 (S d)又は K S d)	遡上津波荷重 (P t), 突き上げ津波荷重 (P t), 水平津波荷重 (P t), 静水圧荷重 (P h) 又は係留力 (P p)	衝突荷重 (P c)	風荷重 (P k)	積雪荷重 (P s)
防波壁通路防波扉 (1号機北側, 2号機北側)	津波時	○	—	—	○*1, *2	○*5	—	—
	津波時	○	—	—	○*1, *2	—*6	○	○
1号機取水槽流路縮小工	津波時	○	—	—	○*3	—	—	—
	重畳時	○	—	○	○*4	—	—	—

注記\*1：日本海東縁部を波源とした津波による遡上津波荷重 (P t)

\*2：海域活断層を波源とした津波が施設に到達しないため、海域活断層を波源とした津波による遡上津波荷重 (P t) を考慮しない。

\*3：日本海東縁部を波源とした津波による静水圧荷重 (P h)

\*4：海域活断層を波源とした津波による静水圧荷重 (P h)

\*5：防波壁の壁面 (海側) より奥まった狭隘な場所に設置するため、船舶は衝突しない。枕木による衝突荷重を考慮する。

\*6：防波扉の前面に漂流物対策工を設置することから、漂流物による衝突荷重は考慮しない。なお、漂流物対策工は衝突荷重を考慮する。

表 4.1-2 津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ(3/6)

強度計算の対象施設	事象	荷重						
		自重 (D) 又は 固定荷重 (G)	積載荷重 (P)	余震荷重 (S d)又は K S d)	遡上津波荷重 (P t), 突き上げ津波荷重 (P t), 水平津波荷重 (P t), 静水圧荷重 (P h) 又は係留力 (P p)	衝突荷重 (P c)	風荷重 (P k)	積雪荷重 (P s)
屋外排水路逆止弁 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧-1, ⑧-2, ⑨, ⑩, ⑪, ⑫, ⑬	津波時	○	-	-	○*1 静水圧荷重 (P h)	-	-	-
	重畳時	○	-	○	○*2 静水圧荷重 (P h)	-	-	-
取水槽除じん機エリ了防水壁	津波時	○	-	-	○*1, *3 静水圧荷重 (P h)	-	○	-
タービン建物 地下1階 復水系配管室防水壁	重畳時	○	-	○	○*4 静水圧荷重 (P h)	-	-	-
タービン建物 地下1階 復水器室北西側防水壁	重畳時	○	-	○	○*4 静水圧荷重 (P h)	-	-	-
タービン建物 地下1階 復水器室北側防水壁	重畳時	○	-	○	○*4 静水圧荷重 (P h)	-	-	-
タービン建物 地下1階 復水器室北東側防水壁	重畳時	○	-	○	○*4 静水圧荷重 (P h)	-	-	-

注記\*1：日本海東縁部を波源とした津波による静水圧荷重 (P h)

\*2：海域活断層を波源とした津波による静水圧荷重 (P h)

\*3：海域活断層を波源とした津波が施設に到達しないため、海域活断層を波源とした津波による静水圧荷重 (P h) を考慮しない。

\*4：地震による溢水にて考慮する静水圧荷重 (P h)

表 4.1-2 津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ(4/6)

強度計算の対象施設	事象	荷重						
		自重 (D) 又は 固定荷重 (G)	積載荷重 (P)	余震荷重 (Sd)又は K S d)	遡上津波荷重 (P t), 突き上げ津波荷重 (P t), 水平津波荷重 (P t), 静水圧荷重 (P h) 又は係留力 (P p)	衝突荷重 (P c)	風荷重 (P k)	積雪荷重 (P s)
取水槽除じん機エリア 水密扉 (東)	津波時	○	-	-	○*1, *2 静水圧荷重 (P h)	-	○	-
取水槽除じん機エリア 水密扉 (西)	津波時	○	-	-	○*1, *2 静水圧荷重 (P h)	-	○	-
取水槽除じん機エリア 水密扉 (北)	津波時	○	-	-	○*1, *2 静水圧荷重 (P h)	-	○	-
タービン建物 地下1階 復水系配管室北側水密扉	重畳時	○	-	○	○*3 静水圧荷重 (P h)	-	-	-
タービン建物 地下1階 復水系配管室南側水密扉	重畳時	○	-	○	○*3 静水圧荷重 (P h)	-	-	-
タービン建物 地下1階 封水回収ポンプ室北側水密扉	重畳時	○	-	○	○*3 静水圧荷重 (P h)	-	-	-
タービン建物 地下1階 復水系配管室南東側水密扉	重畳時	○	-	○	○*3 静水圧荷重 (P h)	-	-	-

注記\*1：日本海東縁部を波源とした津波による静水圧荷重 (P h)

\*2：海域活断層を波源とした津波が施設に到達しないため、海域活断層を波源とした津波による静水圧荷重 (P h) を考慮しない。

\*3：地震による溢水にて考慮する静水圧荷重 (P h)

## 4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」にて設定している。

津波荷重を考慮した施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び機能保持の評価方針を踏まえて、評価部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めて施設ごとの許容限界を表 4.2-1 に示す。

各施設の許容限界の詳細は、各計算書で評価部位の応力や変形の状態を考慮し、評価部位ごとに設定する。

### 4.2.1 施設ごとの許容限界

#### (1) 防波壁

##### a. 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

##### (a) 鋼管杭

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重、余震、漂流物の衝突、積載物、風及び積雪による荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、鋼管杭がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、「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）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会、平成14年3月）」により、おおむね弾性状態にとどまるように、降伏モーメント及び短期許容せん断力として設定する。

##### (b) 被覆コンクリート壁

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重、余震、漂流物の衝突、積載物、風及び積雪による荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、被覆コンクリート壁（鉄筋コンクリート造）がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、「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、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。

##### (c) 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重、余震、漂流物の衝突、積載物、風及び積雪による荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）のうち鉄筋コンクリート版及びアンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ、鉄筋コンクリート版の基準津波に対する許容限界は、「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、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。また、アン

b. 防波壁（逆T擁壁）

(a) 逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重、漂流物の衝突、積載物、風及び積雪による荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、「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、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。

(b) グラウンドアンカ

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重、漂流物の衝突、積載物、風及び積雪による荷重に対し、逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）が滑動・転倒しない設計とするためにグラウンドアンカを設置する方針としていることを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（（社）地盤工学会、2012年）」により、許容アンカー力として設定する。

(c) 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重、漂流物の衝突、積載物、風及び積雪による荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）のうち鉄筋コンクリート版及びアンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ、鉄筋コンクリート版の基準津波に対する許容限界は、「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、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。また、アンカーボルトの基準津波に対する許容限界は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会、2010年）」に基づき、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。

(d) 漂流物対策工（鋼材）

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重、漂流物の衝突、積載物、風及び積雪による荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、漂流物対策工（鋼材）のうち鋼材及びアンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ、鋼材の基準津波に対する許容限界は、「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）」に基づき、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。また、アンカーボルトの基準津波に対する許容限界は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会、2010年）」に基づき、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。

## (2) 防波壁通路防波扉

### a. 鋼製扉体

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重、風及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、鋼製扉体を構成する部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、防波壁通路防波扉（1号機北側、2号機北側）は「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005年改定）」及び「JIS G 4303-2012 ステンレス鋼棒」に基づき、また、防波壁通路防波扉（荷揚場南、3号機東側）は「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・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）」により、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。

### b. 戸当り

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重、風及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、戸当りを構成する部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、「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、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。

### c. グラウンドアンカ

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重、風及び積雪による荷重に対し、基礎スラブ及び改良地盤が滑動・転倒しない設計とするためにグラウンドアンカを設置する方針としていることを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（（社）地盤工学会，2012年）」により、許容アンカー力として設定する。

### d. 鋼管杭

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重、風及び積雪による荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、鋼管杭がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、「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）」に基づき、おおむね弾性状態にとどまるように、降伏モーメント及び短期許容応力度として設定する。

### e. 基礎スラブ

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重、風及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、基礎スラブが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏

まえ、基準津波に対する許容限界は、「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、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。

f. アンカーボルト

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び漂流物の衝突による荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、アンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会、2010年）」に基づき、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、許容耐力として設定する。

g. 漂流物対策工

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重、漂流物の衝突、風及び積雪による荷重に対し、構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、漂流物対策工のうち鋼製扉体の鋼製部材及びRC支柱がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、鋼製扉体の鋼製部材は「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・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）」により、また、RC支柱は「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、それぞれ適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。

h. 改良地盤

改良地盤の健全性及び止水性（難透水性）を保持する設計とするために、改良地盤がすべり破壊しないことを確認する評価方針としている。これを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、「耐津波設計に係る設工認審査ガイド」に基づき、すべり安全率1.2以上とする。

i. 改良地盤、岩盤及びMMR

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重、漂流物の衝突、風及び積雪による荷重に対し、十分な支持機能を有する岩盤に設置する設計とするために、基準津波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」に基づき設定する極限支持力度又は支圧強度とする。

(3) 1号機取水槽流路縮小工

a. 固定ボルト

地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重及び余震に対し、構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、鋼製部材がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、「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」を参考に，適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。

b. 縮小板，取水管（管胴部）及び取水管（フランジ部）

地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重及び余震に対し，構造部材の構造健全性を保持する設計とするために，鋼製部材がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「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）」に基づき，適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。

(4) 屋外排水路逆止弁

a. 扉体（スキンプレート，主桁及び補助縦桁）

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，扉体を構成するスキンプレート，主桁及び補助縦桁が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・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）」により，適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。

b. 固定部（戸当り及び集水柵（戸当り部コンクリート））

地震後の繰返しの来襲を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，固定部を構成する戸当り，集水柵（戸当り部コンクリート）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としている。これを踏まえ，基準津波に対する許容限界は，「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・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）」により，適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように，短期許容応力度として設定する。



(13) 漂流防止装置

a. 漂流防止装置（係船柱）

海域活断層に想定される地震による津波（基準津波4）の流圧力により作用する燃料等輸送船の係留力に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、係船柱、アンカーボルト及びアンカー板がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計基準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005年改訂）」、「JIS G 5101 炭素鋼鋳鋼品」及び「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年）」に基づく応力を許容限界として設定する。

表 4.2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界(1/20)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	G + P + P t + P c + P k + P s G + P + P t + K S d + P k + P s	鋼管杭	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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)」及び「道路橋示方書(Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編)・同解説(社)日本道路協会, 平成 14 年 3 月)」により, 降伏モーメント及び短期許容せん断力とする。
		被覆コンクリート壁	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (社)土木学会, 2002 年制定)」に基づき, 短期許容応力度とする。
		漂流物対策工 (鉄筋コンクリート版)	押抜きせん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (社)土木学会, 2002 年制定)」に基づき, 短期許容応力度とする。
			引張, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説(社)日本建築学会, 2010 年)」に基づき, 短期許容応力度とする。
止水目地		変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格, 漏水試験及び変形試験により, 有意な漏えいが生じないことを確認した変位量とする。	
改良地盤		すべり	健全性及び止水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る設工認審査ガイド」に基づき, すべり安全率 1.2 以上とする。	
岩盤*1		接地圧*2	支持機能を喪失する状態	VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき, 極限支持力度とする。	

注記\*1: 岩盤部と鋼管杭間に充填するセメントミルクは岩盤とみなす。

\*2: 杭前面の岩盤の破壊状態を踏まえた水平支持力の確認も実施する。

表 4.2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界 (2/20)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防波壁 (逆T擁壁)	G + P + P t + P c + P k + P s	逆T擁壁	曲げ, せん断, グラウンドアンカに よる支圧力	部材が弾性域にとど まらず塑性域に入る 状態	「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」(社) 土木学会, 2002 年制定)」に基づき, 短期許容応力度とする。
				部材が弾性域にとど まらず塑性域に入る 状態	「グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 (社) 地盤工学会, 2012 年)」により, 許容アンカー力とする。
		漂流物対策工 (鉄筋コンクリート 版)	押抜きせん断	部材が弾性域にとど まらず塑性域に入る 状態	「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」(社) 土木学会, 2002 年制定)」に基づき, 短期許容応力度とする。
				部材が弾性域にとど まらず塑性域に入る 状態	「各種合成構造設計指針・同解説 (社) 日本建築学会, 2010 年)」に基づき, 短期許容応力度とする。
漂流物対策工 (鋼材)	曲げ, せん断	部材が破断する状態	「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)」に基づき, 短期許容応力度とする。		
		部材が弾性域にとど まらず塑性域に入る 状態	「各種合成構造設計指針・同解説 (社) 日本建築学会, 2010 年)」に基づき, 短期許容応力度とする。		

表 4.2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界 (4/20)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防波壁 (波返重力擁壁)	G + P + P <sub>t</sub> + P <sub>c</sub> + P <sub>k</sub> + P <sub>s</sub>	重力擁壁	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ( (社) 土木学会, 2002 年制定) 」に基づき, 短期許容応力度とする。
				部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ( (社) 土木学会, 2002 年制定) 」及び「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) 」に基づき, 短期許容応力度とする。
	G + P + P <sub>t</sub> + K S d + P <sub>k</sub> + P <sub>s</sub>	ケーソン	曲げ, せん断	主要な部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ( (社) 土木学会, 2002 年制定) 」及び「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) 」に基づき, 短期許容応力度又は材料強度とする。
				頂版 底版 側壁	「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) 」及び「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) 」に基づき, 短期許容応力度又は材料強度とする。
		放水路 ケーソン	曲げ, せん断	支持機能を喪失する状態	「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ( (社) 土木学会, 2002 年制定) 」及び「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) 」に基づき, 短期許容応力度, 材料強度又は許容ひずみとする。

注記\* : 放水路ケーソンの隔壁は, 重力擁壁を支持する機能を有することから, 構造強度を有することを確認するために, 3次元線形構造解析による曲げ, せん断及び引張に対する評価を行い, 3次元線形構造解析による許容限界を超える場合は, 3次元非線形構造解析によるせん断ひずみ評価を行う。

表 4.2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界(7/20)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防波壁通路防波扉 (荷揚場南, 3号機東側)	G + P t + P k + P s	鋼製扉体	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準(案)(基礎解説編・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)」により, 短期許容応力度以下とする。
		戸当り(RC支柱)及び基礎スラブ	曲げ, せん断, グラウンドアンカによる支圧力	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」(社)土木学会, 2002年制定)」に基づき, 短期許容応力度とする。
		グラウンドアンカ	引張	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説(社)地盤工学会, 2012年)」により, 許容アンカー力とする。
		鋼管杭	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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)」に基づき, 降伏モーメント及び短期許容応力度とする。
		改良地盤	すべり	健全性及び止水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る設工認審査ガイド」に基づき, すべり安全率1.2以上とする。
		改良地盤, 基礎地盤, MMR	接地圧	支持機能を喪失する状態	VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき, 極限支持力度又は支圧強度とする。

表 4.2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界 (8/20)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
1号機取水槽 流路縮小工	G+P+Ph G+P+Ph+ K S d	縮小板	曲げ, せん断	部材が弾性域にことどもならず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-(社)日本建築学会, 2005年改定)」に基づき, 短期許容応力度以下とする。
		固定ボルト	引張	部材が弾性域にことどもならず塑性域に入る状態	「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」により, 短期許容応力度以下とする。
		取水管 (管胴部) 及び取水管 (フランジ部)	曲げ, せん断	部材が弾性域にことどもならず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-(社)日本建築学会, 2005年改定)」に基づき, 短期許容応力度以下とする。

表 4.2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界(9/20)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界	
			応力等の状態	限界状態		
屋外排水路逆止弁 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧-1, ⑧-2, ⑨, ⑩, ⑪, ⑫, ⑬	G + P h G + P h + K S d	スキンプレート	曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準(案)(基礎解説編・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)」により,短期許容応力度以下とする。	
		主桁	曲げ,せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態		
		補助縦桁	曲げ,せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態		
	戸当り	圧縮	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態			
	集水柵(戸当り部コネクタ)			圧縮		部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態
				せん断		部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態

表 4.2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界(10/20)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
取水槽除じん機 エリア防水壁	G + P h + P k	鋼板	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-(社)日本建築学会, 2005 年改定)」に基づき, 短期許容応力度以下とする。
		はり	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	
		柱	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	
		アンカーボルト	引張, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	



表 4.2-1 施設ごととの評価対象部位の許容限界 (11/20)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界	
			応力等の状態	限界状態		
復水器エリア防水壁	G + P h + K S d	鋼板	曲げ		「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, 短期許容応力度以下とする。	
		柱, はり, 胴縁, 斜材	曲げ, せん断, 圧縮			部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態
		根太	曲げ, せん断			
		ブレース	圧縮			
アンカーボルト	引張, せん断		部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態			
					「各種合成構造設計指針・同解説 (社)日本建築学会, 2010年)」に基づき算定した, 許容耐力以下とする。	

表 4.2-1 施設ごととの評価対象部位の許容限界(12/20)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
取水槽除じん機 エリア水密扉	G + P <sub>h</sub> + P <sub>k</sub>	扉板, 芯材, 水密扉	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-(社)日本建築学会, 2005年改定)」に基づき, 短期許容応力度以下とする。
		戸当り用支柱, 外部縦柱, 固定プレート			
		締付ボルト	圧縮		
		外部縦柱固定ボルト	引張, せん断		
		アンカーボルト	引張, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	

表 4.2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界(13/20)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
復水器エリア水密扉	G + P <sub>h</sub> + K S d	扉板	曲げ		「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, 短期許容応力度以下とする。
		芯材	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	
		カンヌキ	曲げ, せん断		
		アンカーボルト	引張, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	

表 4.2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界 (19/20)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
取水槽水位計	$D + P_t + P_h + S_d$	基礎ボルト	引張, せん断	部材が弾性域にことどもならず塑性域に入る状態	「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」に準じて供用状態 C の許容応力 (許容応力状態 III <sub>A</sub> S) 以下とする。

表 4.2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界 (20/20)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
漂流防止装置 (係船柱)	$G + P_p + S_d$	係船柱	曲げ	部材が弾性域にことどもならず塑性域に入る状態	「鋼構造設計基準—許容応力度設計法— (社) 日本建築学会, 2005 年改訂」, 「JIS G 5101 炭素鋼鑄鋼品」及び「各種合成構造設計指針・同解説 (社) 日本建築学会, 2010 年」に基づく許容限界値以下とする。
		アンカーボルト	引張, せん断		
		アンカー板	曲げ		

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

#### 3.3.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

##### (1) 常時作用する荷重 (G, P)

常時作用する荷重は持続的に生じる荷重であり、固定荷重及び積載荷重とする。

##### (2) 遡上津波荷重 (P<sub>t</sub>)

津波時においては、「日本海東縁部に想定される地震による津波（津波高さ EL 12.6m）」を、重畳時においては、「海域活断層から想定される地震による津波（津波高さ EL 4.9m）」を遡上津波荷重として考慮する。なお、評価対象断面のうち⑤-⑤断面は、防波壁（波返重力擁壁）が設置される敷地高さ（EL 7.5m）が重畳時における津波高さ（EL 4.9m）より高い位置に設置されるため、重畳時の評価を実施しない。

敷地高以上については、朝倉式により、各施設の設置位置における設置高さを考慮し、津波の水位と各施設の設置高さの差分の 1/2 倍を浸水深として、浸水深の 3 倍で作用する水圧として算定する。

敷地高以深については、「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局，平成 27 年 12 月一部改訂）」を参考に、谷本式により、各施設の設置位置における設置高さを考慮し、津波高さの 1/2 を入射津波高さとして定義し、静水面上の波圧作用高さは入射津波高さの 3 倍とし、静水面における波圧は入射津波高さに相当する静水圧の 2.2 倍として算定する。

##### (3) 余震荷重 (K S<sub>d</sub>)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D による地震力及び動水圧を考慮する。

##### (4) 衝突荷重 (P<sub>c</sub>)

衝突荷重は、漂流物による衝突荷重を選定し、施設の延長に応じて設定する。

衝突荷重を施設に作用させる際は、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）による荷重分散を考慮する。衝突荷重を表 3-2 に示す。

### 3.4.3 H形鋼

H形鋼の許容限界は、「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）」に基づき，表 3-8 に示す短期許容応力度とする。

表 3-8 H形鋼の許容限界

種別	許容せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	H形鋼 (SM490)	許容せん断応力度 $\tau_{Ha}$	105

注記\*：短期許容応力度は、「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）」に基づく許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

### 3.4.4 MMR

MMR の施設・地盤の健全性評価に用いる許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原管地発第 1306196 号）」を準用し，表 3-9 のとおり許容限界を設定する。

表 3-9 MMR の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

### 3.4.5 改良地盤

改良地盤⑥の施設・地盤の健全性評価に用いる許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成 25 年 6 月 19 日原管地発第 1306196 号）」を準用し，表 3-10 のとおり許容限界を設定する。

表 3-10 改良地盤⑥の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

c. 解析モデル

評価対象断面のうち②-②断面，③-③断面及び④-④断面の地震応答解析モデルは，VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示した解析モデルを用いる。

(a) 解析領域

解析領域は，「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）」に基づき，境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう，十分広い領域とする。

(b) 境界条件

常時応力解析時の境界条件は底面固定とし，側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

また，津波時の2次元有限要素法における境界条件は底面固定及び水平固定とする。

(c) 構造物のモデル化

重力擁壁は，線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。

ケーソンは，構造部材を線形の平面ひずみ要素でモデル化し，3次元構造解析モデルとの変位を整合させるためのヤング係数の調整を行い，3次元構造モデルと等価な剛性となるようモデル化する。

機器・配管及び漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）はモデル化せず，その重量を考慮する。

(d) 地盤のモデル化

イ 有効応力解析

岩盤及びMMRは線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

地盤はマルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化する。

消波ブロック，基礎捨石及び被覆ブロックはモデル化しない。

ロ 全応力解析

岩盤及びMMRは線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

地盤はマルチスプリング要素にてモデル化する。

消波ブロック，基礎捨石及び被覆ブロックはモデル化しない。

(e) 海水のモデル化

イ 有効応力解析

海水は液体要素でモデル化する。なお，遡上津波荷重は別途考慮する。

ロ 全応力解析

海水はモデル化しない。

(f) ジョイント要素

津波時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、「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）」及び「港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）」を参考に，これらの接合面にジョイント要素を設定する。

d. 使用材料及び材料の物性値

強度評価に用いる材料定数は，適用基準類を参考に設定する。構造物の使用材料を表3-13に，材料の物性値を表3-14に示す。

表3-13 使用材料

材料		仕様
コンクリート	重力擁壁 (基部コンクリート)	設計基準強度 18N/mm <sup>2</sup>
	重力擁壁 ケーソン	設計基準強度 24N/mm <sup>2</sup>
鉄筋		SD345
H形鋼		SM490

表3-14 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0 <sup>*1</sup>	2.5×10 <sup>4</sup> <sup>*1</sup>	0.2 <sup>*1</sup>
無筋コンクリート	22.6 <sup>*2</sup>	2.2×10 <sup>4</sup> <sup>*1</sup>	0.2 <sup>*1</sup>

注記\*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：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）



## 6.4 強度計算

### 6.4.1 強度計算方法

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の強度計算は、VI-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「6.3 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が「6.4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

### 6.4.2 荷重及び荷重の組合せ

#### (1) 荷重

##### a. 固定荷重（G）

固定荷重として、漂流対策工（鉄筋コンクリート版）を構成する部材の自重を考慮する。

##### b. 遡上津波荷重（P<sub>t</sub>）

敷地高以上については、朝倉式により、各施設の設置位置における設置高さを考慮し、津波の水位と各施設の設置高さの差分の 1/2 倍を浸水深として、浸水深の 3 倍で作用する水圧として算定する。

敷地高以深については、「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局，平成 27 年 12 月一部改訂）」を参考に、谷本式により、各施設の設置位置における設置高さを考慮し、津波高さの 1/2 を入射津波高さとして定義し、静水面上の波圧作用高さは入射津波高さの 3 倍とし、静水面における波圧は入射津波高さに相当する静水圧の 2.2 倍として算定する。

##### c. 衝突荷重（P<sub>c</sub>）

浸水防護施設の機能に対する影響評価により選定された漂流物として船舶（総トン数 19 トン）による衝突荷重が局所的に作用するものとし、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の強度計算に用いる衝突荷重を表 6-6 に示す。

表 6-6 強度計算に用いる衝突荷重

衝突荷重 (kN)
1200

### 3.4 許容限界

許容限界は、「3.2 評価対象断面及び部位」にて設定した評価対象部位の応力や変形の状態を考慮し、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

#### 3.4.1 逆T擁壁

逆T擁壁の許容限界は、「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3-4に示す短期許容応力度とする。

表 3-4 逆T擁壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	コンクリート (f' <sub>ck</sub> =24N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	9.0
許容せん断応力度 $\tau_{a1}$		0.45	0.67
支圧応力度 $\sigma_{ba}$ (グラウンドアンカ)		12	18
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 $\sigma_{sa}$	196	294

注記\*：短期許容応力度は、「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）」より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

#### 3.4.2 グラウンドアンカ

グラウンドアンカの許容限界は、「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（（社）地盤工学会，2012年）」により、許容アンカー力を表3-5のとおり設定する。

表 3-5 グラウンドアンカの許容限界

許容値 (kN)		
①-①断面	④-④断面	⑤-⑤断面
1764	1453	2076

### 3.5.2 解析モデル及び諸元

#### (1) 解析モデル

評価対象断面のうち①－①断面，④－④断面及び⑤－⑤断面の解析モデルは，VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」に示した解析モデルを用いる。

##### a. 解析領域

解析領域は，「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）」に基づき，境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう，十分広い領域とする。

##### b. 境界条件

常時応力解析時の境界条件は底面固定とし，側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

また，津波時の2次元有限要素法における境界条件は底面固定及び水平固定とする。

##### c. 構造物のモデル化

逆T擁壁は，鉄筋コンクリート造であり，線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。

グラウンドアンカは，非線形ばねでモデル化し，定着部分を多点拘束（MPC）とする。

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）は，モデル化せず，その重量を考慮する。

##### d. 地盤のモデル化

地盤は，マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化する。

消波ブロックはモデル化しない。

##### e. 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。なお，遡上津波荷重は別途考慮する。

##### f. ジョイント要素の設定

津波時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため，「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）」及び「港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）」を参考に，これらの接合面にジョイント要素を設定する。

(2) 使用材料及び材料の物性値

強度評価に用いる材料定数は、適用基準類を参考に設定する。使用材料を表 3-10 に、材料の物性値を表 3-11 及び表 3-12 に示す。また、グラウンドアンカにおける非線形ばねモデルの概念図を図 3-10 に示す。

表 3-10 使用材料

材料		諸元
逆 T 擁壁	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度：24N/mm <sup>2</sup>
グラウンドアンカ		アンカー長：17.5m～30.0m, 極限引張力：2800kN, 降伏引張力：2400kN

表 3-11 材料の物性値（逆 T 擁壁）

材料		単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
逆 T 擁壁	鉄筋コンクリート	24.0*	2.5×10 <sup>4</sup> *	0.2*

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）

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

#### 3.3.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 常時作用する荷重 (G, P)

常時作用する荷重は持続的に生じる荷重であり、固定荷重及び積載荷重とする。

(2) 遡上津波荷重 (P<sub>t</sub>)

敷地高以上については、朝倉式により、各施設の設置位置における設置高さを考慮し、津波の水位と各施設の設置高さの差分の 1/2 倍を浸水深として、浸水深の 3 倍で作用する水圧として算定する。

敷地高以深については、「防波堤の耐津波設計ガイドライン(国土交通省港湾局, 平成 27 年 12 月一部改訂)」を参考に、谷本式により、各施設の設置位置における設置高さを考慮し、津波高さの 1/2 を入射津波高さとして定義し、静水面上の波圧作用高さは入射津波高さの 3 倍とし、静水面における波圧は入射津波高さに相当する静水圧の 2.2 倍として算定する。

(3) 余震荷重 (K S<sub>d</sub>)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D による地震力及び動水圧を考慮する。

(4) 衝突荷重 (P<sub>c</sub>)

衝突荷重は、漂流物による衝突荷重を選定し、施設の延長に応じて設定する。

施設に作用させる際は、漂流物対策工(鉄筋コンクリート版)による荷重分散を考慮する。衝突荷重は表 3-2 に示す。

表 3-2 衝突荷重

評価対象断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面
衝突荷重 (kN/m <sup>2</sup> )	210	180	149

### 3.4 許容限界

許容限界は、「3.2 評価対象断面及び部位」にて設定した評価対象部位の応力や変形の状態を考慮し、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

#### 3.4.1 鋼管杭

鋼管杭の許容限界は「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」及び「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）」により算出した降伏モーメント及び短期許容せん断力とする。表3-4に鋼管杭の許容限界を示す。

降伏モーメントは次式により算定する。

$$M_y = \sum (f_{yi} - \frac{|N_i|}{A_i}) Z_{ei}$$

ここで、

$M_y$  : 多重鋼管杭の降伏モーメント (kN・m)

$f_{yi}$  : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の降伏基準点 (N/mm<sup>2</sup>)

$Z_{ei}$  : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$N_i$  : 多重鋼管杭を構成する各鋼管に発生する軸力 (kN)

$A_i$  : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面積 (mm<sup>2</sup>)

短期許容せん断力は次式により算定する。

$$Q_a = \sum \tau_{ai} A_i$$

ここで、

$Q_a$  : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の短期許容せん断力 (kN)

$\tau_{ai}$  : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の短期許容応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_i$  : 多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面積 (mm<sup>2</sup>)

b. 施設

鋼管杭は、線形はり要素（ビーム要素）によりモデル化する。

c. 解析モデル

評価対象断面のうち②-②断面，③-③断面，④-④断面及び⑦-⑦断面の解析モデルは，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」に示した解析モデルを用いる。

(a) 解析領域

解析領域は，「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）」に基づき，境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう，十分広い領域とする。

(b) 境界条件

常時応力解析時の境界条件は底面固定とし，側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

また，津波時の2次元静的有限要素法における境界条件は，底面固定及び水平固定とする。

(c) 構造物のモデル化

鋼管杭は，線形はり要素（ビーム要素）によりモデル化する。

被覆コンクリート壁は，横断方向の断面においては，モデル化せず，鋼管杭をモデル化したはりの単位体積重量に被覆コンクリート壁の重量を考慮し，縦断方向の断面においては，線形の平面ひずみ要素によりモデル化する。

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）は，モデル化せず，その重量を考慮する。

(d) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。地盤は，マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化する。

消波ブロックはモデル化しない。

(e) 海水のモデル化

海水は液体要素でモデル化する。なお，遡上津波荷重は別途考慮する。

(f) ジョイント要素の設定

津波時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため，「港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007）」及び「港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）」を参考に，これらの接合面にジョイント要素を設定する。

d. 使用材料及び材料の物性値

強度評価に用いる材料定数は、適用基準類を参考に設定する。鋼管杭の使用材料を表 3-10 に、材料の物性値を表 3-11 に示す。

表 3-10 使用材料

材料		諸元
鋼管杭		φ 2200mm (SKK490, SM490Y) t=25mm*
		φ 2000mm (SKK490) t=25mm
		φ 1800mm (SKK490) t=25mm
		φ 1600mm (SKK490) t=25mm
被覆コンクリート壁	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度：24N/mm <sup>2</sup>

注記\*：「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）」に基づき，腐食代 1mm を考慮する。

表 3-11 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鋼管杭	77.0*	2.0×10 <sup>5</sup> *	0.3
被覆コンクリート壁	24.0*	2.5×10 <sup>4</sup> *	0.2*

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）

e. 地盤の物性値

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。

地盤のうち改良地盤④及び改良地盤⑤の残留強度及び引張強度を表 3-12 のとおり設定する。

表 3-12 改良地盤④及び改良地盤⑤の残留強度及び引張強度

地盤	残留強度		引張強度 σ <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
	c' (N/mm <sup>2</sup> )	φ' (°)	
改良地盤④	0.0	43.03	0.109
改良地盤⑤	0.0	35.60	1.160



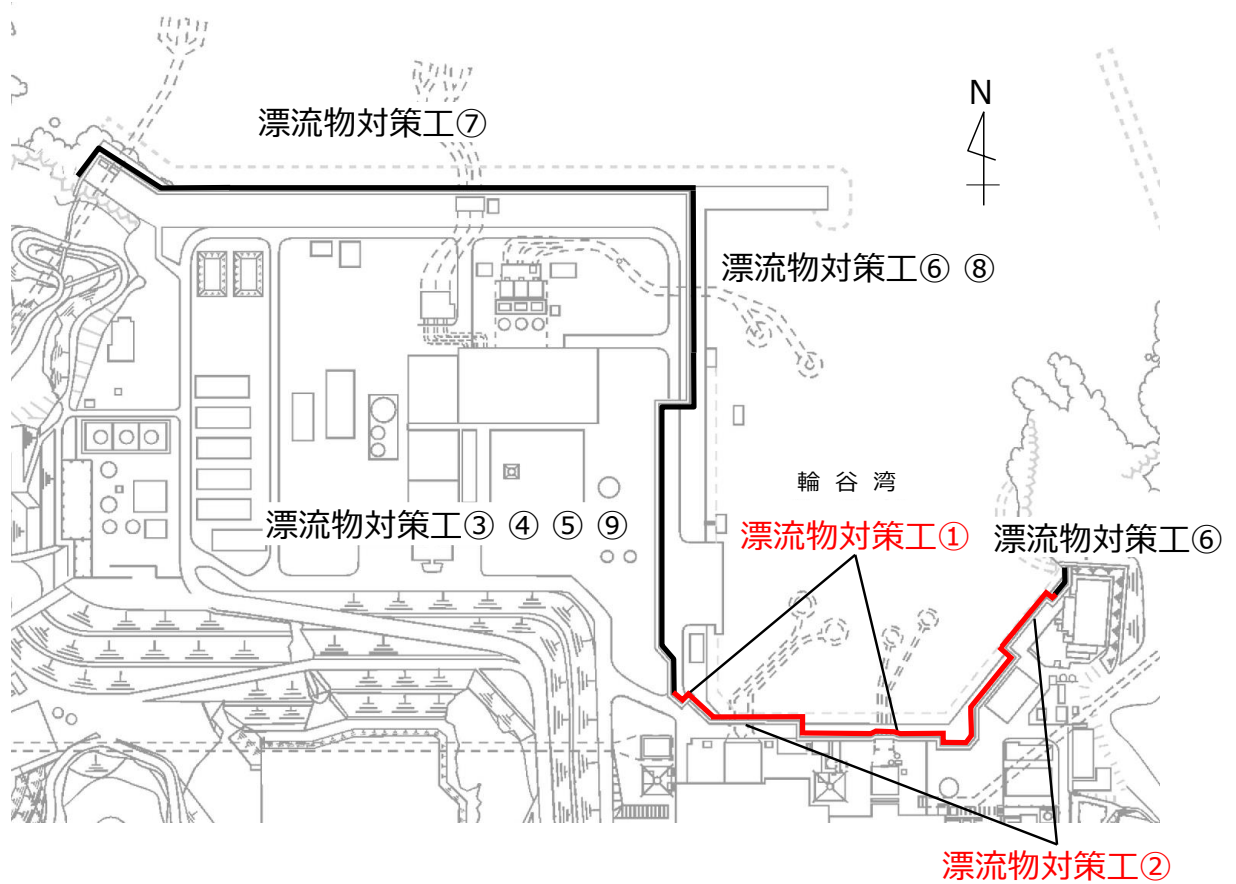


図 6-2 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造区分図

表 6-1 漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の構造区分一覧

名称	高さ	種別	設置箇所
漂流物対策工①	6.6m (EL 15.0m～EL 8.4m)	鉄筋コンクリート版	施設護岸の背面に 設置されている 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）
漂流物対策工②	12.8m (EL 15.0m～EL 2.2m)	鉄筋コンクリート版	施設護岸の前面に 設置されている 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

## 6.4 強度計算

### 6.4.1 強度計算方法

漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の強度計算は、VI-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「6.3 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が「6.4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

### 6.4.2 荷重及び荷重の組合せ

#### (1) 荷重

##### a. 固定荷重（G）

固定荷重として、漂流対策工（鉄筋コンクリート版）を構成する部材の自重を考慮する。

##### b. 遡上津波荷重（P<sub>t</sub>）

敷地高以上については、朝倉式により、各施設の設置位置における設置高さを考慮し、津波の水位と各施設の設置高さの差分の 1/2 倍を浸水深として、浸水深の 3 倍で作用する水圧として算定する。

敷地高以深については、「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局、平成 27 年 12 月一部改訂）」を参考に、谷本式により、各施設の設置位置における設置高さを考慮し、津波高さの 1/2 を入射津波高さとして定義し、静水面上の波圧作用高さは入射津波高さの 3 倍とし、静水面における波圧は入射津波高さに相当する静水圧の 2.2 倍として算定する。

##### c. 衝突荷重（P<sub>c</sub>）

浸水防護施設の機能に対する影響評価により選定された漂流物として船舶（総トン数 19 トン）による衝突荷重が局所的に作用するものとし、漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）の強度計算に用いる衝突荷重を表 6-6 に示す。

表 6-6 強度計算に用いる衝突荷重

衝突荷重 (kN)
1200

### 3.3 解析方法

防波扉（荷揚場南）の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

津波時に発生する応答値は、「3.4 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて、応力算定式又は2次元有限要素法により算定する。なお、衝突荷重は入力津波高さ EL 11.9m に余裕を考慮した EL 12.6m の位置に作用させる。

2次元有限要素法に用いる解析コードは「FLIP」を使用する。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。

### 3.4 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

#### 3.4.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 常時作用する荷重（G）

常時作用する荷重は持続的に生じる荷重であり、固定荷重及び土圧を考慮する。

(2) 遡上津波荷重（P<sub>t</sub>）

遡上津波荷重について、朝倉式により、防波扉（荷揚場南）の設置高さを考慮し、津波の水位と防波扉（荷揚場南）の設置高さの差分の1/2倍を浸水深として、浸水深の3倍で作用する水圧として算定する。

(3) 衝突荷重（P<sub>c</sub>）

衝突荷重については、漂流物対策工により、防波扉に漁船等の漂流物が直接衝突しない構造とすることから、漂流物対策工の強度評価において考慮する。

衝突荷重については、漂流物対策工を構成する部材の構造的特徴を踏まえて、「施設の延長に応じた衝突荷重」、「局所的な衝突荷重」又は「船首衝突による衝突荷重」から評価が厳しくなるよう設定する。

(4) 風荷重（P<sub>k</sub>）

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、「建築基準法・同施行令」に基づき算定する。

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

防波扉（荷揚場南）の解析モデルを図 3-4 に示す。

##### (1) 解析領域

解析領域は、「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）」に基づき、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

##### (2) 境界条件

常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

また、津波時の 2 次元有限要素法における境界条件は底面固定及び水平固定とする。

##### (3) 構造物のモデル化

防波扉基礎スラブ及び防波扉（鋼管杭）は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、防波扉（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

また、漂流物対策工戸当り（RC 支柱）は線形はり要素（ビーム要素）で、漂流物対策工基礎スラブは、線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

##### (4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化する。

##### (5) ジョイント要素の設定

津波時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、「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）」及び「港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成 19 年 3 月）」を参考に、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

強度評価に用いる材料定数は、適用基準類を参考に設定する。使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4(1) 使用材料（防波扉）

材料		諸元
防波扉戸当り（RC支柱） 防波扉基礎スラブ	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度：24N/mm <sup>2</sup>
防波扉（鋼製扉体）		SM490, SS400
防波扉（鋼管杭）*		φ1200mm（SKK490）t=25mm

注記\*：「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）」に基づき腐食代 1mm を考慮する。

表 3-4(2) 使用材料（漂流物対策工）

材料		諸元
漂流物対策工戸当り（RC支柱） 漂流物対策工基礎スラブ	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度：40N/mm <sup>2</sup>
漂流物対策工（鋼製扉体）		SBHS700, SM570

表 3-5(1) 材料の物性値（防波扉）

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0* <sup>1</sup>	2.5×10 <sup>4</sup> * <sup>1</sup>	0.2* <sup>1</sup>
鋼管杭	77.0* <sup>2</sup>	2.0×10 <sup>5</sup> * <sup>2</sup>	0.3* <sup>2</sup>

注記\*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（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）

表 3-5(2) 材料の物性値（漂流物対策工）

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0*	3.1×10 <sup>4</sup> *	0.2*

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）

### 3.7 許容限界

許容限界は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき設定する。

#### 3.7.1 防波扉

##### (1) 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の許容限界は、「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）」により，表 3-8 に示す短期許容応力度とする。

表 3-8 防波扉（鋼製扉体）の許容限界

部材	材質	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
スキンプレート	SM490	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	160	240
主横桁	SM490	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	160	240
		許容せん断応力度 $\tau_a$	90	135
補助縦桁	SS400	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	120	180
		許容せん断応力度 $\tau_a$	70	105
端縦桁	SM490	許容圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	160	240
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 $\sigma_{pa}$	150	225
戸当り (底面フランジ)	SS400	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	120	180
戸当り (コンクリート)	$f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 $\sigma_{cba}$	5.9	8.8
		許容せん断応力度 $\tau_{ca}$	0.40	0.60

### 3.7.2 漂流物対策工

#### (1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界は、「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）」により，表 3-13 に示す短期許容応力度とする。

表 3-13 漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界

部材	材質	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
主横桁	SBHS700	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	350 <sup>*1</sup>	525
	SM570	許容せん断応力度 $\tau_a$	129 <sup>*1</sup>	193
張出桁	SBHS700	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	350 <sup>*1</sup>	525
		許容せん断応力度 $\tau_a$	202 <sup>*1</sup>	303
補助縦桁	SM570	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	207 <sup>*1, *2</sup>	310
		許容せん断応力度 $\tau_a$	129 <sup>*1</sup>	193
端縦桁	SM570	許容圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	225 <sup>*1</sup>	337
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 $\sigma_{pa}$	150	225
戸当り (腹板)	SM400	許容支圧応力度 $\sigma_{ba}$	180	270
戸当り (底面フランジ)	SBHS700	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	350 <sup>*1</sup>	525
戸当り (コンクリート)	$f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 $\sigma_{cba}$	5.9	8.8
		許容せん断応力度 $\tau_{ca}$	0.40	0.60

注記\*1：「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）」により，許容曲げ応力度は，降伏点の応力度を安全率 2.0 で除して算出する。また，許容せん断応力度は，許容曲げ応力度を $\sqrt{3}$ で除して算出する。

\*2：補助縦桁に用いる構造用鋼材（SM570）の許容曲げ応力度は，「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）」及び「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）」により，横倒れ座屈を考慮する。

### 3.3 解析方法

防波壁（3号機東側）の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

津波時に発生する応答値は、「3.4 荷重及び荷重の組合せ」に基づく荷重を作用させて、応力算定式又は2次元有限要素法により算定する。なお、衝突荷重は入力津波高さ EL 11.9m に余裕を考慮した EL 12.6m の位置に作用させる。

2次元有限要素法に用いる解析コードは「FLIP」を使用する。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。

### 3.4 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

#### 3.4.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

##### (1) 常時作用する荷重（G）

常時作用する荷重は持続的に生じる荷重であり、固定荷重及び土圧を考慮する。また、グラウンドアンカの初期緊張力を考慮する。

##### (2) 遡上津波荷重（P<sub>t</sub>）

遡上津波荷重については、朝倉式により、防波壁（3号機東側）の設置高さを考慮し、津波の水位と防波扉（3号機東側）の設置高さの差分の1/2倍を浸水深として、浸水深の3倍で作用する水圧として算定する。

##### (3) 衝突荷重（P<sub>c</sub>）

衝突荷重については、漂流物対策工により、防波扉に漁船等の漂流物が直接衝突しない構造とすることから、漂流物対策工の強度評価において考慮する。

衝突荷重については、漂流物対策工を構成する部材の構造的特徴を踏まえて、「施設の延長に応じた衝突荷重」、「局所的な衝突荷重」又は「船首衝突による衝突荷重」から評価が厳しくなるよう設定する。

##### (4) 風荷重（P<sub>k</sub>）

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、「建築基準法・同施行令」に基づき算定する。



### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

防波扉（3号機東側）の解析モデルを図3-4に示す。

##### (1) 解析領域

解析領域は、「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）」に基づき、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

##### (2) 境界条件

常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。

また、津波時の2次元有限要素法における境界条件は底面固定及び水平固定とする。

##### (3) 構造物のモデル化

防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブは線形はり要素（ビーム要素）、グラウンドアンカは非線形ばね要素でモデル化し、防波扉（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

また、漂流物対策工戸当り（RC支柱）は線形はり要素（ビーム要素）で、漂流物対策工基礎スラブは線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

##### (4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化する。

##### (5) ジョイント要素の設定

津波時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、「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）」及び「港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）」を参考に、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

### 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

強度評価に用いる材料定数は、適用基準類を参考に設定する。使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に、グラウンドアンカの非線形ばねモデルの概念図を図 3-5 に示す。

表 3-4(1) 使用材料 (防波扉)

材料		諸元
防波扉戸当り (RC 支柱) 防波扉基礎スラブ	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度 : 24N/mm <sup>2</sup>
防波扉 (鋼製扉体)		SM490, SS400, SUS304
グラウンドアンカ		アンカー長 : 27.5m~29.5m 極限引張力 : 2800kN 降伏引張力 : 2400kN

表 3-4(2) 使用材料 (漂流物対策工)

材料		諸元
漂流物対策工戸当り (RC 支柱) 漂流物対策工基礎スラブ	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度 : 40N/mm <sup>2</sup>
漂流物対策工 (鋼製扉体)		SBHS700, SM570

表 3-5(1) 材料の物性値 (防波扉)

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0*	$2.5 \times 10^4$ *	0.2*

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)

表 3-5(2) 材料の物性値 (漂流物対策工)

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0*	$3.1 \times 10^4$ *	0.2*

注記\* : 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)

### 3.7 許容限界

許容限界は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき設定する。

#### 3.7.1 防波扉

##### (1) 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の許容限界は、「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）」により，表 3-8 に示す短期許容応力度とする。

表 3-8 防波扉（鋼製扉体）の許容限界

部材	材質	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
スキンプレート	SM490	許容曲げ応力度 $\sigma_a$	160	240
主横桁	SM490	許容曲げ応力度 $\sigma_a$	160	240
		許容せん断応力度 $\tau_a$	90	135
補助縦桁	SS400	許容曲げ応力度 $\sigma_a$	120	180
		許容せん断応力度 $\tau_a$	70	105
端縦桁	SM490	許容圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	160	240
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 $\sigma_a$	150	225
戸当り (底面フランジ)	SM490	許容曲げ応力度 $\sigma_a$	160	240
戸当り (コンクリート)	$f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 $\sigma_a$	5.9	8.8
		許容せん断応力度 $\tau_a$	0.40	0.60

## (2) 防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブ

防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表3-9に示す短期許容応力度とする。

表3-9 防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブの許容限界

種別	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	コンクリート ( $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$ )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	9.0
許容せん断応力度 $\tau_{a1}$		0.45	0.67
許容支圧応力度 $\sigma_{ba}$		12.0	18.0
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 $\sigma_{sa}$	196	294

注記\*：短期許容応力度は、「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）」より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

## (3) グラウンドアンカ

グラウンドアンカの許容限界は、「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（（社）地盤工学会，2012年）」により，許容アンカー力を表3-10のとおり設定する。

表3-10 グラウンドアンカの許容限界

許容アンカー力 $T_a$ (kN)
2076

## (4) 改良地盤

改良地盤の施設・地盤の健全評価に用いる許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成25年6月19日原管地発第1306196号）」を準用し，表3-11に改良地盤の許容限界を示す。

表3-11 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2以上

### 3.7.2 漂流物対策工

#### (1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界は、「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）」により，表 3-13 に示す短期許容応力度とする。

表 3-13 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の許容限界

部材	材質	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
主横桁	SBHS700	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	350 <sup>*1</sup>	525
	SM570	許容せん断応力度 $\tau_a$	129 <sup>*1</sup>	193
張出桁	SBHS700	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	350 <sup>*1</sup>	525
		許容せん断応力度 $\tau_a$	202 <sup>*1</sup>	303
補助縦桁	SM570	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	204 <sup>*1, *2</sup>	306
		許容せん断応力度 $\tau_a$	129 <sup>*1</sup>	193
端縦桁	SM570	許容圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	225 <sup>*1</sup>	337
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 $\sigma_{pa}$	150	225
戸当り（腹板）	SM400	許容支圧応力度 $\sigma_{ba}$	180	270
戸当り （底面フランジ）	SBHS700	許容曲げ応力度 $\sigma_{ca}$	350 <sup>*1</sup>	525
戸当り （コンクリート）	$f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$	許容支圧応力度 $\sigma_{cba}$	5.9	8.8
		許容せん断応力度 $\tau_{ca}$	0.40	0.60

注記\*1：「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）」により，許容曲げ応力度は，降伏点の応力度を安全率 2.0 で除して算出する。また，許容せん断応力度は，許容曲げ応力度を $\sqrt{3}$ で除して算出する。

\*2：補助縦桁に用いる構造用鋼材（SM570）の許容曲げ応力度は，「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）」及び「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）」により，横倒れ座屈を考慮する。

c. 摩擦による推力

摩擦による推力は「水門鉄管技術基準 水圧鉄管・鉄鋼構造物編（（社）水門鉄管協会，2007年）」を参考に，以下の式により算定する。

$$P_{ht} = \frac{2fQ^2}{g \pi D^3} \times L$$

ここで，

$P_{ht}$  : 摩擦による推力 (kN)

$f$  : 流水の摩擦抵抗係数 ( $=0.2 \cdot D^{-1/3}$ )

$D$  : 貫通部直径 (m)

$L$  : 貫通部長さ (m)

$Q$  : 流量 ( $=v \times A'$ ) ( $m^3/s$ )

$A'$  : 貫通部内空断面積 ( $=\pi \times D^2/4$ ) ( $m^2$ )

$v$  : 流速 (m/s)

$g$  : 重力加速度 ( $=9.80665m/s^2$ )

(3) 余震荷重 (K S d)

余震荷重として，VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，弾性設計用地震動 S d - D に伴う慣性力及び動水圧を考慮する。

なお，余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弾性設計用地震動 S d - D による設計水平震度を乗じた次式により算出する。

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

ここで，

$P_{ih}$  : 水平慣性力 (kN)

$W$  : 重量 (kN)

$K_h$  : 弾性設計用地震動 S d - D による設計水平震度

### 3.7 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-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

#### 3.7.1 使用材料

流路縮小工を構成する各部材の使用材料を表 3-9 に示す。

表 3-9 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) *

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 として考慮し、板厚を  $44 - 4 = 40$  (mm) と設定する。また、取水管 (フランジ部) についても、余裕厚を 4mm として考慮し、取水管 (フランジ部) の板厚を  $50 - 4 = 46$  (mm) と設定する。

#### 3.7.2 許容限界

許容限界は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき設定する。

流路縮小工を構成する各部材の許容限界のうち、縮小板及び取水管 (フランジ部) 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」を参考に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 3-10 に示す。

表 3-10 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 <sup>2</sup> )		
		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	—

### 2.3 評価方針

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

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

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

強度評価に用いる津波荷重としては、日本海東縁部に想定される地震による津波（津波高さ EL 12.6m）の津波荷重が、海域活断層から想定される地震による津波（津波高さ EL 4.9m）の津波荷重と余震との重畳を考慮した荷重を包含することから、日本海東縁部の入力津波高さによる津波荷重とする。



## 4. 構造強度評価

### 4.1 構造強度評価方法

屋外排水路逆止弁の強度評価は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位に作用する応力等が「4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

### 4.2 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

#### 4.2.1 荷重の設定

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

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

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、扉体自重を考慮する。

(2) 津波荷重 (P h)

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

(3) 余震荷重 (K S d)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S d - D に伴う慣性力及び動水圧を考慮する。

#### 4.2.2 荷重の組合せ

屋外排水路逆止弁の設計に考慮する荷重の組合せを表 4-1 に示す。

なお、強度評価に用いる津波荷重としては、日本海東縁部に想定される地震による津波（津波高さ EL 12.6m）の津波荷重が、海域活断層から想定される地震による津波（津波高さ EL 4.9m）の津波荷重と余震との重畳を考慮した荷重を包含することから、日本海東縁部の入力津波高さによる津波荷重（表 4-1(1)の「津波時」）とする。

表 4-1(1) 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P h^{*1}$
重畳時	$G + P h^{*2} + K S d$

注記\*1：日本海東縁部に想定される地震による津波

\*2：海域活断層から想定される地震による津波

G : 固定荷重

P h : 津波荷重

K S d : 余震荷重

表 4-1(2) 荷重の組合せ（詳細）

種別		荷重		算定方法
永久 荷重	常時考 慮荷重	逆止弁自重	○	設計図書に基づいて、逆止弁の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	—	対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	—	土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	—	積載荷重は考慮しない。
		静止土圧	—	静止土圧は考慮しない。
		外水圧	—	外水圧は考慮しない。
		内水圧	—	内水はないため考慮しない。
		積雪荷重	—	積雪荷重は考慮しない。
		風荷重	—	風荷重は考慮しない。
偶発 荷重		静水圧	○	津波時の浸水深さによる静水圧を考慮する。
		衝突荷重	—	漂流物の衝突は考慮しない。
	余震 荷重	慣性力	○	弾性設計用地震動 S d - D による水平及び鉛直同時加振を考慮する。 逆止弁の慣性力を考慮する。
		動水圧	○	重畳時の浸水深さによる動水圧を考慮する。

## 4.3 許容限界

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

屋外排水路逆止弁の許容限界を表 4-2 に示す。

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

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

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

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

\*2：主桁及び補助縦桁に用いる構造用鋼材の許容曲げ圧縮応力度は「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 28 年 3 月）」により，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。

## (3) 補助縦桁

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

補助縦桁のモデル図を図 4-3 に示す。

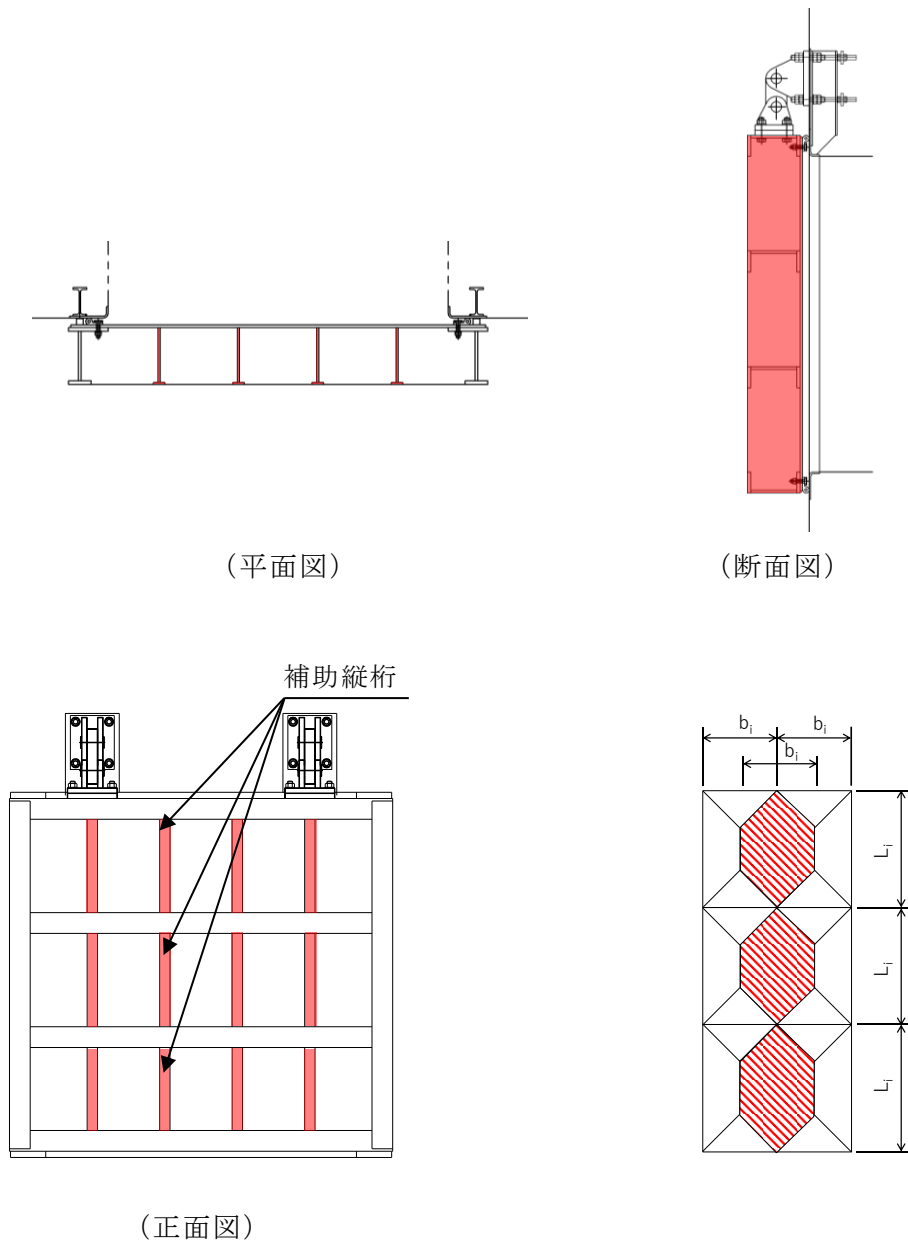


図 4-3 補助縦桁のモデル図

## 6.2 評価方針

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

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

### 6.2.1 集水樹（防波壁部）

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

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

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

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

集水樹（防波壁部）の強度評価フローを図 6-3 に示す。

## 7. 集水桝の強度評価方法

### 7.1 評価対象部位

#### 7.1.1 集水桝（防波壁部）

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

#### 7.1.2 集水桝（改良地盤部）

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

### 7.2 荷重及び荷重の組合せ

#### 7.2.1 荷重

集水桝の強度評価には、以下の荷重を用いる。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重（P）

積載荷重として、屋外排水路逆止弁及び集水桝蓋の荷重を考慮する。

(3) 津波荷重（P<sub>h</sub>）

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

(4) 余震荷重（K S<sub>d</sub>）

余震荷重として、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D に伴う慣性力及び動水圧を考慮する。

### 7.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 7-1 に示す。

なお、強度評価に用いる津波荷重としては、日本海東縁部に想定される地震による津波（津波高さ EL 12.6m）の津波荷重が、海域活断層から想定される地震による津波（津波高さ EL 4.9m）の津波荷重と余震との重畳を考慮した荷重を包含することから、日本海東縁部の入力津波高さによる津波荷重（表 7-1(1)の「津波時」）とする。

表 7-1(1) 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P + P h^{*1}$
重畳時	$G + P + P h^{*2} + K S d$

注記\*1：日本海東縁部に想定される地震による津波

\*2：海域活断層から想定される地震による津波

G：固定荷重

P：積載荷重

P h：津波荷重

K S d：余震荷重

表 7-1(2) 荷重の組合せ（詳細）

種別	荷重		算定方法
永久荷重	常時考慮荷重	躯体自重	○ 設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	○ 屋外排水路逆止弁及び集水柵蓋の荷重を考慮する。
		土被り荷重	－ 土被りはないため考慮しない。
		積載荷重	－ 積載荷重は考慮しない。
		静止土圧	－ 津波による静水圧と反対方向の荷重のため考慮しない。
		外水圧	－ 外水圧は考慮しない。
		内水圧	－ 内水はないため考慮しない。
		積雪荷重	－ 集水柵蓋に作用する水圧と反対方向の荷重のため考慮しない。
		風荷重	－ 風荷重は考慮しない。
偶発荷重		静水圧	○ 津波時の浸水深さによる静水圧を考慮する。
		衝突荷重	－ 漂流物の衝突は考慮しない。
	余震荷重	慣性力	○ 弾性設計用地震動 S d - D による水平及び鉛直同時加振を考慮する。 躯体の慣性力を考慮する。
		動水圧	○ 重畳時の浸水深さによる動水圧を考慮する。

### 7.3 許容限界

#### 7.3.1 集水桝

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

表7-2 鉄筋コンクリートの許容限界

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

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

#### 7.3.2 アンカー筋

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

表7-3 アンカー筋の許容限界

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



## 7.3.5 集水桝蓋

集水桝に設置する集水桝蓋の許容限界は、「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）」により，表 7-6 に示す曲げ応力度及びせん断応力度とする。

表 7-6 集水桝蓋（鋼板）の許容限界

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

## 7.3.6 アンカーボルト（集水桝蓋）

集水桝と集水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 7-7 に示す許容引張力とする。

表 7-7 アンカーボルト（集水桝蓋）の許容限界

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

表 3-4 動水圧荷重の算出結果

部位	動水圧荷重 P (kN/m <sup>2</sup> )
防水壁	17.50

## 3.1.4 許容限界

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

## (1) 使用材料

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

表 3-5 使用材料

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

## (2) 許容限界

## a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）」（以下「S規準」という。）に基づき表 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 <sup>2</sup> )			
	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。）に基づき表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

## 4.1.4 許容限界

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

## (1) 使用材料

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

表 4-5 使用材料

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

## (2) 許容限界

## a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「S 規準」に基づき表 4-6 の値とする。

表 4-6 鋼材の許容限界

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

注記\*1：t は板厚を示す。

\*2：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき表4-7の値とする。

なお、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 4-7 アンカーボルトの許容限界

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

## (2) 許容限界

## a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」に基づき表5-6の値とする。

表5-6 鋼材の許容限界

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

注記\*1: tは板厚を示す。

\*2: 上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

## b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき表5-7の値とする。

なお、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表5-7 アンカーボルトの許容限界

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

#### 6.1.4 許容限界

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

##### (1) 使用材料

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

表 6-5 使用材料

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

##### (2) 許容限界

###### a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「S 規準」に基づき表 6-6 の値とする。

表 6-6 鋼材の許容限界

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

注釈\*1: t は板厚を示す。

\*2: 上限値であり, 座屈長さ等を勘案して設定する。

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき表6-7の値とする。

なお、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 6-7 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN)	
	引張	せん断
SS400	71	49



## 7.1.4 許容限界

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

## (1) 使用材料

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

表 7-4 使用材料

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

## (2) 許容限界

## a. 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」に基づき表 7-5 の値とする。

表 7-5 鋼材の許容限界

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )			
	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」に基づき表7-6の値とする。

なお、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 7-6 アンカーボルトの許容限界

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

表 3-2 水圧作用高さ及び水の密度（パネル部）

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

(2) 余震荷重 (K S d)

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

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

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

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

- P<sub>d</sub> : 扉下端に作用する動水圧荷重 (kN/m<sup>2</sup>)
- β : 浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 (1.0)
- α<sub>H</sub> : 水平方向の余震震度
- ρ<sub>o</sub> : 水の密度 (t/m<sup>3</sup>)
- g : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)
- H : 浸水深さ (mm)
- h : 水圧作用高さ (mm)

### 3.1.3.2 許容限界

#### (1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）」（以下「S規準」という。）に基づき表3-8の値とする。

表3-8 (1/2) 鋼材の許容限界（水密扉）

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

注記\*：tは板厚を示す。

表3-8 (2/2) 鋼材の許容限界（パネル部）

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

注記\*<sup>1</sup>：tは板厚を示す。

\*<sup>2</sup>：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

#### (2) アンカーボルト

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

なお，評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる耐力および付着力により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

### 3.2.3.2 許容限界

#### (1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」に基づき表3-15の値とする。

表3-15 鋼材の許容限界

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

注記\* : t は板厚を示す。

#### (2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は、「3.2.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算出した表3-16の値とする。

なお、評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表3-16 アンカーボルトの許容限界の算定値

水密扉 No.	扉名称	許容耐力 (kN/本)	
		引張	せん断
5	取水槽除じん機エリア水密扉 (東)	90	51

### 3.3.3 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.3.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

#### 3.3.3.1 使用材料

水密扉を構成する扉板，水密扉戸当り用支柱及びアンカーボルトの使用材料を表 3-21 に示す。

表 3-21 扉板，水密扉戸当り用支柱，アンカーボルトの使用材料

評価対象部位	材質	仕様
扉板	SS400	PL-12
水密扉戸当り用 支柱	SS400	H-350×350×12×19
アンカーボルト	SUS304	M24

#### 3.3.3.2 許容限界

##### (1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S 規準」に基づき表 3-22 の値とする。

表 3-22 鋼材の許容限界

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

注記\* : t は板厚を示す。

表 4-7 電路貫通部金属ボックスの許容限界算出結果

許容引張応力 $f_{t o}$ (MPa)	許容せん断応力 $f_{s b}$ (MPa)
129	99

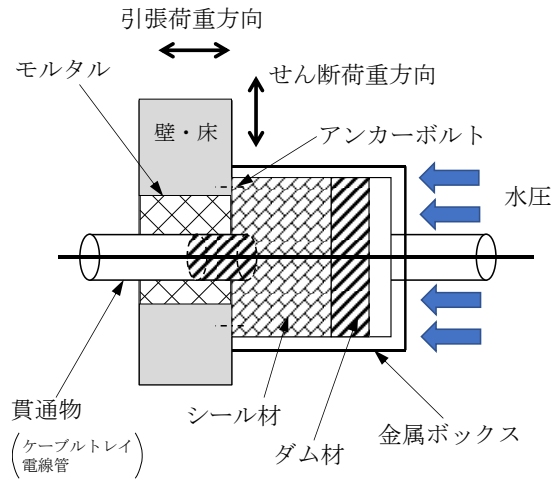


図 4-7 電路貫通部金属ボックスの施工例

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

#### 3.2.1 荷重

強度評価には、以下の荷重を用いる。

##### (1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、漂流防止装置 (係船柱) の自重を考慮する。

##### (2) 係留力 (P<sub>p</sub>)

係留力は、海域活断層に想定される地震による津波 (基準津波 4) により燃料等輸送船に作用する流圧力に対する係留索の耐力として算定する。

漂流防止装置 (係船柱) に対して、 $\theta$  の角度で作用する場合の係留力は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計 (案) (運輸省港湾技術研究所, 1970 年)」により算定する。

係留力の作用イメージを図 3-2 に示す。

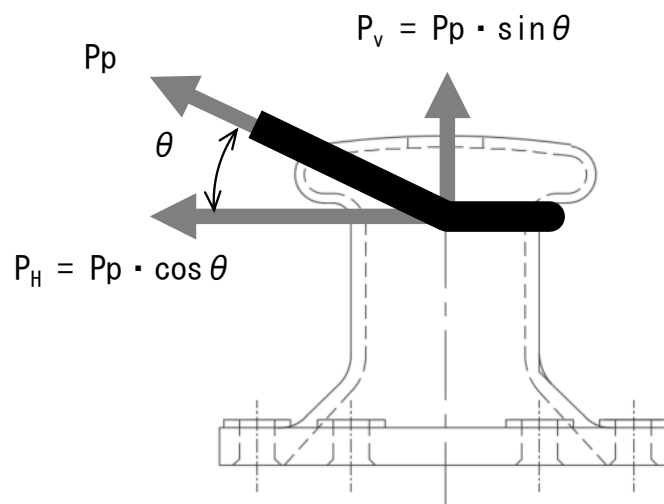


図 3-2 係留力の作用イメージ

##### (3) 余震荷重 (S<sub>d</sub>)

弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D による荷重を考慮する。



### 3.3 許容限界

漂流防止装置（係船柱）の許容限界は、「3.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

#### 3.3.1 使用材料

漂流防止措置（係船柱）を構成する各部材の使用材料を表 3-2 に示す。

表 3-2 使用材料

材料	諸元
係船柱	SC450, $\phi$ 350
アンカーボルト	SS400, M56×1150
アンカー板	SS400, 225×t45
コンクリート	設計基準強度 24N/mm <sup>2</sup>

#### 3.3.2 許容限界

許容限界は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき設定する。

##### (1) 係船柱

係船柱の許容限界は、「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）」及び「J I S G 5 1 0 1 炭素鋼鋳鋼品」に基づき表 3-3 のとおり設定する。

表 3-3 係船柱の許容限界

材質	長期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断
SC450	137	—

## (2) コンクリート（係船柱底板）の支圧応力度

コンクリート（係船柱底板）に生じる支圧応力度は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970 年）」を参考に，コンクリートの偏心荷重を心外に受ける円形梁として次式により算出し，コンクリートの許容限界以下であることを確認する。

コンクリート（係船柱底板）のモデル図を図 3-4 に示す。

$$\sigma_{c1} = P_v \cdot (R_1 - y) / (n \cdot G_s - G_c)$$

ここで，

$\sigma_{c1}$  : コンクリート（係船柱底板）の支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 係留力の鉛直成分 (N)

$R_1$  : 中心軸から係船柱底板端までの距離 (mm)

$y$  : 中心軸と中立軸の距離 (mm)

$n$  : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

$G_s$  : アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm<sup>3</sup>)

$G_c$  : コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm<sup>3</sup>)

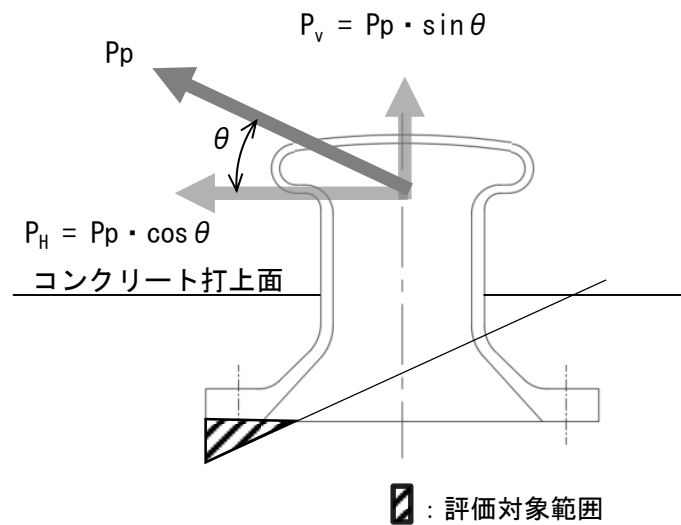


図 3-4 コンクリート（係船柱底板）のモデル図

### 3.4.2 アンカーボルト

#### (1) アンカーボルトの引張応力度

アンカーボルトに生じる引張応力度は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）」を参考に，コンクリートの偏心荷重を心外に受ける円形梁として次式により算出し，アンカーボルトの許容限界以下であることを確認する。

アンカーボルトのモデル図を図 3-6 に示す。

$$\sigma_{s2} = P_v \cdot (R_1' + y) / (G_s - G_c / n)$$

ここで，

$\sigma_{s2}$  : アンカーボルトに生じる引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 係留力の鉛直成分 (N)

$R_1'$  : 中心軸からアンカーボルト位置までの距離 (mm)

$y$  : 中心軸と中立軸の距離 (mm)

$G_s$  : アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm<sup>3</sup>)

$G_c$  : コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm<sup>3</sup>)

$n$  : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

#### (2) アンカーボルトのせん断応力度

アンカーボルトに生じるせん断応力度は，次式より算出し，アンカーボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\tau_s = (P_H / N) / (\pi / 4 \cdot \phi_b^2)$$

ここで，

$\tau_s$  : アンカーボルトに生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_H$  : 係留力の水平成分 (N)

$N$  : アンカーボルトの本数 (本)

$\phi_b$  : アンカーボルトの谷径 (mm)

### 3.4.3 アンカー板

#### (1) アンカー板の曲げ応力度

アンカー板に生じる曲げ応力度は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）」及び「機械工学便覧 改訂第6版（（社）日本機械学会編，1977年）」を参考に，アンカー板に等分布荷重が作用するとして次式により算出し，アンカー板の許容限界以下であることを確認する。

アンカー板のモデル図を図3-7に示す。

$$p = P_v / \{ \pi / 4 \cdot (4 \cdot \phi_a)^2 - (\pi / 4 \times \phi_a) \}$$

$$\sigma_{s t} = \beta \cdot p \cdot (a / 2)^2 / t^2$$

ここで，

$p$  : 等分布荷重 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$P_v$  : 係留力の鉛直成分 ( $\text{N}$ )

$\phi_a$  : アンカーボルトの呼び径 ( $\text{mm}$ )

$\sigma_{s t}$  : アンカー板に生じる曲げ応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$\beta$  : 最大応力係数 ( $= b / a$ )

$b$  : ナット二面幅 ( $\text{mm}$ )

$a$  : アンカー板幅 ( $\text{mm}$ )

$t$  : アンカー板厚 ( $\text{mm}$ )

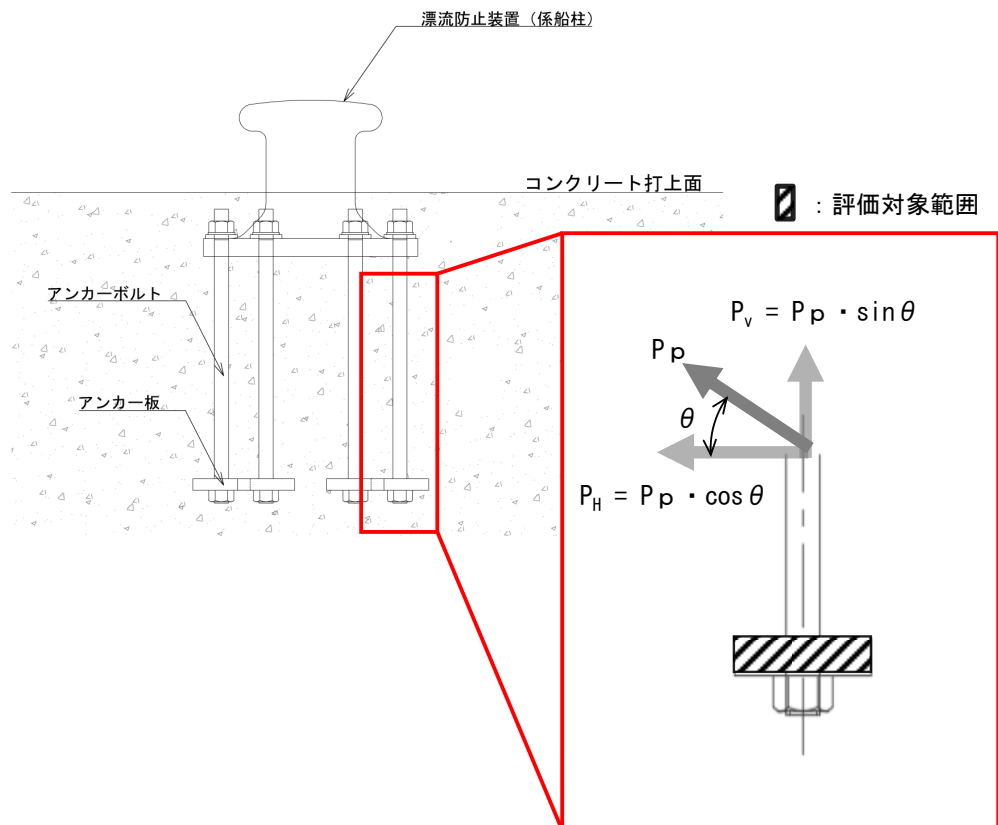


図3-7 アンカー板のモデル図

## (2) コンクリート（アンカー板上面）の支圧応力度

コンクリート（アンカー板上面）に生じる支圧応力度は、「港湾技研資料 No. 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）」を参考に次式により算出し、コンクリートの許容限界以下であることを確認する。

コンクリート（アンカー板上面）のモデル図を図 3-8 に示す。

$$\sigma_c = P_v \cdot (\pi/4) \cdot a^2$$

ここで、

$\sigma_c$  : コンクリート（アンカー板上面）の支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_v$  : 係留力の鉛直成分 (N)

$a$  : アンカー板幅 (mm)

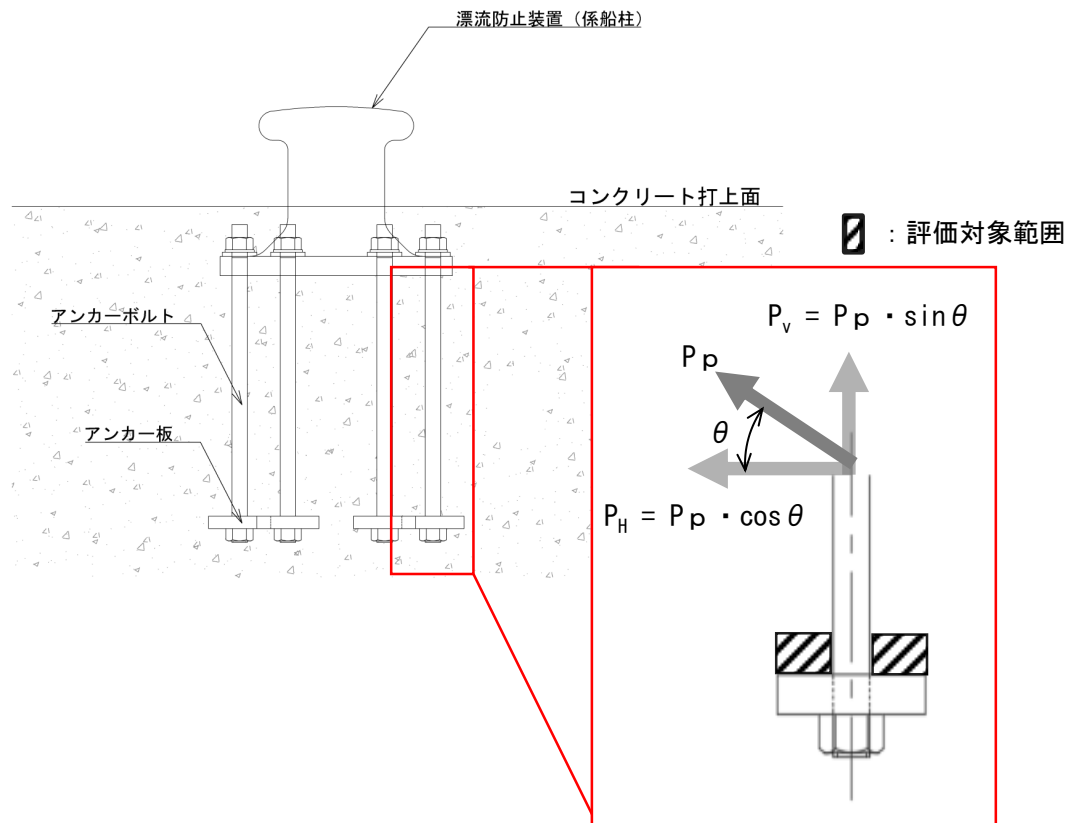


図 3-8 コンクリート（アンカー板上面）のモデル図

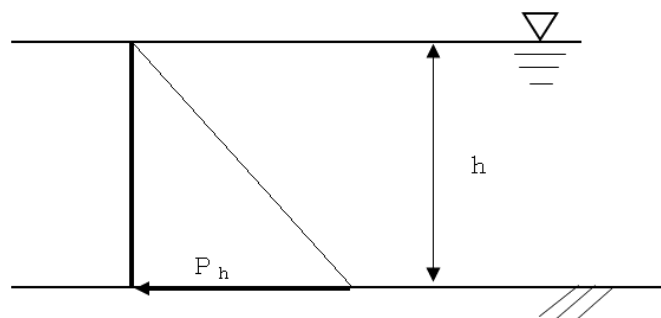


図 4-1 溢水による静水圧荷重の説明図

表 4-2 強度評価に用いる溢水の密度

溢水の性状	溢水の密度 (kg/m <sup>3</sup> )
純水	1000
海水	1030

#### 4.2 許容限界

許容限界は、溢水による静水圧荷重を考慮した施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえて、評価部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、施設ごとの評価部位における許容限界を表 4-3 に示す。

各施設の許容限界の詳細は、各計算書で評価部位の機能損傷モードを踏まえ評価項目を選定し、評価部位ごとに許容限界を設定する。

##### 4.2.1 施設ごとの評価部位における許容限界

###### (1) 溢水用水密扉及び管理区域水密扉

溢水用水密扉及び管理区域水密扉の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

###### a. 扉板、芯材及びカンヌキ部

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を維持する設計とするために、扉板、芯材及びカンヌキ部が、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会, 2005年改定)」に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

###### b. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を維持する設計とするために、アンカーボルトが、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「各種合成構造設計指針・同解説 ((社)日本建築学会, 2010年改定)」に基づき算定し、許容限界として設定する。

(2) 溢水用堰及び管理区域堰

溢水用堰及び管理区域堰の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 鋼板、はり材及び柱材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を維持する設計とするために、鋼板、はり材及び柱材がおおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会, 2005年改定)」に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. コンクリート、アンカー筋及び主筋

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を維持する設計とするために、コンクリート、アンカー筋及び主筋が、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、コンクリートについては「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-((社)日本建築学会, 1999年改定)」に基づく短期許容応力度を許容限界とし、アンカー筋及び主筋については「各種合成構造設計指針・同解説((社)日本建築学会, 2010年改定)」に基づき算定し、許容限界として設定する。

c. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を維持する設計とするために、アンカーボルトが、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「各種合成構造設計指針・同解説((社)日本建築学会, 2010年改定)」に基づき算定し、許容限界として設定する。

(3) 溢水用防水板及び管理区域防水板

溢水用防水板及び管理区域防水板の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 鋼板及び芯材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を維持する設計とするために、鋼板及び芯材が、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会, 2005年改定)」に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を維持する設計とするために、アンカーボルトが、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「各種合成構造設計指針・同解説((社)日本建築学会, 2010年改定)」に基づき算定し、許容限界として設定する。

(4) 溢水用防水壁

溢水用防水壁の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 鋼板，柱，はり，ブレース及びベースプレート

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，鋼板，柱，はり，ブレース及びベースプレートが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会，2005年改定)」に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることから，「各種合成構造設計指針・同解説 ((社)日本建築学会，2010年改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

(5) 床ドレン逆止弁

床ドレン逆止弁の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 弁本体，フロートガイド及び取付部

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の構造健全性を維持する設計とするために弁本体，フロートガイド及び取付部が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S ME S N C 1-2005/2007 ((社)日本機械学会)」(以下「設計・建設規格」という。)に準じた供用状態Cの許容応力状態ⅢA Sを許容限界として設定する。

b. フロート

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の構造健全性を維持する設計とするためにフロートがおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

(6) 貫通部止水処置

貫通部止水処置の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. シール材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するシール材から有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としているため，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

b. ブーツ

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するブーツから有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としているため，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

c. モルタル

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するモル



表 4-3 施設ごとの評価部位の許容限界(1/3)

施設名	荷重の 組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界	
			応力等 の状態	限界状態		
溢水用水 密扉及び 管理区域 水密扉	P <sub>h</sub>	扉板	曲げ	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会, 2005年改定)」に基づく短期許容応力度以下とする。	
		芯材	曲げ せん断			
		カンヌキ部	曲げ せん断		「各種合成構造設計指針・同解説 ((社)日本建築学会, 2010年改定)」に基づき算定した, 許容耐力以下とする。	
		アンカーボルト	引張 せん断			
溢水用堰 及び管理 区域堰	P <sub>h</sub>	鋼板	曲げ	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会, 2005年改定)」に基づく短期許容応力度以下とする。	
		はり材, 柱材	曲げ せん断			
		アンカーボルト	引張 せん断		「各種合成構造設計指針・同解説 ((社)日本建築学会, 2010年改定)」に基づき算定した, 許容耐力以下とする。	
		コンクリート	圧縮 せん断			「鉄筋コンクリート構造計算規 準・同解説-許容応力度設計法- ((社)日本建築学会, 1999年改定)」 に基づく短期許容応力度以下とす る。
		アンカー筋, 主 筋	引張 せん断			「各種合成構造設計指針・同解説 ((社)日本建築学会, 2010年改 定)」に基づき算定した, 許容耐力 以下とする。

表 4-3 施設ごとの評価部位の許容限界(2/3)

施設名	荷重の 組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等 の状態	限界状態	
溢水用防水 板及び管理 区域防水板	P <sub>h</sub>	鋼板	曲げ	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	「鋼構造設計規準-許容応力 度設計法-((社) 日本建築学 会, 2005年改定)」に基づく 短期許容応力度以下とする。 「各種合成構造設計指針・同 解説((社) 日本建築学会, 2010 年改定)」に基づき算定した, 許容耐力以下とする。
		芯材	曲げ せん断		
		アンカーボルト	せん断		
溢水用防水 壁	P <sub>h</sub>	鋼板	曲げ	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	「鋼構造設計規準-許容応力 度設計法-((社) 日本建築学 会, 2005年改定)」に基づく 短期許容応力度以下とする。 「各種合成構造設計指針・同 解説((社) 日本建築学会, 2010 年改定)」に基づき算定した, 許容耐力以下とする。
		はり	曲げ せん断		
		柱	曲げ せん断		
		ブレース	引張		
		ベースプレート	曲げ せん断		
		アンカーボルト	引張 せん断		

#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・規準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）
- ・ 日本産業規格（J I S）

### 3.1.3.2 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。）に基づき表3.1-4の値とする。

表 3.1-4 鋼材の許容限界

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

注記\*：tは板厚を示す。

#### (2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は、「3.1.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した，表3.1-5の値とする。

なお，評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3.1-5 アンカーボルトの許容限界

水密扉 No.	扉名称	許容耐力 (kN/本)	
		引張	せん断
9	原子炉建物地下2階 A-DG 制御盤室南側水密扉	17	25

(2) 芯材

芯材に生じる応力は，等分布荷重を受ける両端単純支持のはりとして算定する。なお，芯材の取付け方向は，水平・鉛直の2方向であり，両者とも扉下端に作用する静水圧荷重に，芯材の支配幅を乗じた荷重が等分布に作用するものとして，安全側に評価する。芯材に作用する荷重の例を図 3.1-4 に示す。

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

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

ここで，

$$w_2 = P_h \cdot b_2 \cdot 10^{-3}$$

$w_2$  : 芯材に作用する等分布荷重 (kN/m)

$M_2$  : 芯材の曲げモーメント (kN・m)

$Q_2$  : 芯材のせん断力 (kN)

$L_2$  : 芯材の支持スパン (mm)

$b_2$  : 芯材に作用する荷重の負担幅 (mm)

$P_h$  : 扉下端に作用する静水圧荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

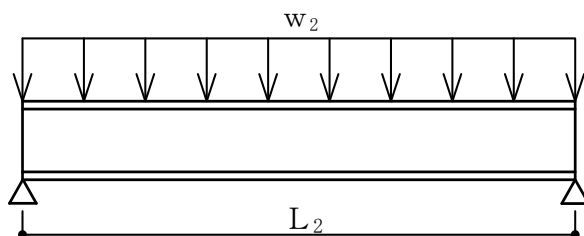


図 3.1-4 芯材に作用する荷重の例

### 3.2.3.2 許容限界

#### (1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」に基づき表 3.2-4 の値とする。

表 3.2-4 鋼材の許容限界

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断
SS400 ( t ≤ 40 ) *	235	135

注記\* : t は板厚を示す。

#### (2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は、「3.2.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した、表 3.2-5 の値とする。

なお、評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 3.2-5 アンカーボルトの許容限界の算定値

水密扉 No.	扉名称	許容耐力 (kN/本)	
		引張	せん断
1	原子炉建物地下 2 階 A-DG 制御盤室北側水密扉	25	19

### 3.3.3.2 許容限界

#### (1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」に基づき表 3.3-3 の値とする。

表 3.3-3 鋼材の許容限界

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断
SS400 ( t ≤ 40 ) *	235	135

注記\* : t は板厚を示す。

### 3.4.3.2 許容限界

#### (1) 鋼材

鋼材の許容限界は、「S規準」に基づき表 3.4-4 の値とする。

表 3.4-4 鋼材の許容限界

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

注記\*1： t は板厚を示す。

\*2： 上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

#### (2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は、「3.4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した，表 3.4-5 の値とする。

なお，評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3.4-5 アンカーボルトの許容限界

水密扉 No.	扉名称	許容耐力 (kN/本)	
		引張	せん断
30	制御室建物 2 階チェックポイント連絡水密扉	28	25



### 3.6 評価条件

強度評価に用いる入力値を表 3-7 に示す。

表 3-7(1) 強度評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.		
				1	2	3
共通	h	mm	当該防水板の水圧作用高さ	8000	3580	3040
	$\rho_o$	t/m <sup>3</sup>	水の密度	1.03	1.03	1.03
	g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度	9.80665	9.80665	9.80665
鋼板	L <sub>1</sub>	mm	芯材間距離	532	585	545
	t	mm	鋼板の板厚	22	16	16
	Z	mm <sup>3</sup> /m	鋼板の断面係数	80670	42670	42670
芯材	L <sub>1</sub> '	mm	芯材 1 本当たりが負担する鋼板の幅	526	565	545
	L <sub>2</sub>	mm	芯材の長さ	965	2230	2129
	Z <sub>f</sub>	mm <sup>3</sup>	芯材の断面係数	249000	334000	334000
	A <sub>f</sub>	mm <sup>2</sup>	芯材のせん断断面積	1384	2016	2016
アンカー ボルト	L <sub>3</sub>	mm	防水板の高さ	2092	2390	2296
	L <sub>4</sub>	mm	防水板の幅	965	2455	2245
	N	本	片側* (左右若しくは上下) のアンカーボルトの本数	8	24	18

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

#### 4. 評価結果

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

表 4-1(1) 防水板の強度評価結果

防水板 No.	評価対象部位		発生値		許容限界		検定比
			(応力度又は荷重)				
1	鋼板	曲げ	36	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.16 < 1.0
	芯材	曲げ	20	N/mm <sup>2</sup>	233	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
		せん断	15	N/mm <sup>2</sup>	135	N/mm <sup>2</sup>	0.12 < 1.0
		組合せ	33	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.15 < 1.0
	アンカー ボルト	せん断	10.2	kN	25.8	kN	0.40 < 1.0
2	鋼板	曲げ	37	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.16 < 1.0
	芯材	曲げ	39	N/mm <sup>2</sup>	232	N/mm <sup>2</sup>	0.17 < 1.0
		せん断	12	N/mm <sup>2</sup>	135	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
		組合せ	45	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.20 < 1.0
	アンカー ボルト	せん断	4.5	kN	25.8	kN	0.18 < 1.0
3	鋼板	曲げ	27	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.12 < 1.0
	芯材	曲げ	29	N/mm <sup>2</sup>	232	N/mm <sup>2</sup>	0.13 < 1.0
		せん断	9	N/mm <sup>2</sup>	135	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
		組合せ	33	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.15 < 1.0
	アンカー ボルト	せん断	4.4	kN	25.8	kN	0.18 < 1.0
4	鋼板	曲げ	61	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.26 < 1.0
	芯材	曲げ	42	N/mm <sup>2</sup>	228	N/mm <sup>2</sup>	0.19 < 1.0
		せん断	16	N/mm <sup>2</sup>	135	N/mm <sup>2</sup>	0.12 < 1.0
		組合せ	51	N/mm <sup>2</sup>	235	N/mm <sup>2</sup>	0.22 < 1.0
	アンカー ボルト	せん断	-	kN	-	kN	-

## 1. 概要

本資料は、VI-1-9-1-1「非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」にて、「発電用火力設備の技術基準を定める省令」を引用している「可搬型発電設備技術基準（NEGA C 3 3 1-2005）」（以下「可搬型発電設備技術基準」という。）の準用を確認した可搬型の非常用発電装置の内燃機関が、十分な強度を有することを確認するための強度評価方針、強度評価方法について説明するものである。

## 2. 強度評価の基本方針

非常用発電装置（可搬型）の内燃機関の強度評価は、常設の非常用発電装置の内燃機関と同様に耐圧部の強度評価を行う。ただし、可搬型発電設備技術基準には耐圧部の強度に関連する事項がないため、完成品として一般産業品の規格及び基準により、耐圧部が要求される強度を有していることを確認する。

### 2.1 評価対象設備

強度評価を行う非常用発電装置（可搬型）の内燃機関を表 2—1 に示す。

表 2—1 強度評価の対象設備

施設 分類	強度評価の対象設備
その他発電機用原子炉の附属設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高圧発電機用ディーゼル機関</li> <li>・ 可搬式窒素供給装置用発電設備用ディーゼル機関</li> <li>・ 緊急時対策所用発電機用ディーゼル機関</li> </ul>

### 2.2 評価方法の選定

強度評価については、内燃機関等を含めた一体構造品の完成品として製作されている非常用発電装置（可搬型）が重大事故等時に給電で要求される強度を有することを確認するため、日本電機工業会規格「JEM 1354」（以下「JEM 1354」という。）又は日本電機工業会規格「JEM 1398」（以下「JEM 1398」という。）に規定される温度試験により、非常用発電装置（可搬型）が内燃機関等を含めた一体構造品として、定格負荷状態において安定した運転が維持されることの確認による評価を実施する。

温度依存性を考慮する。

なお、常温は 20℃とする。

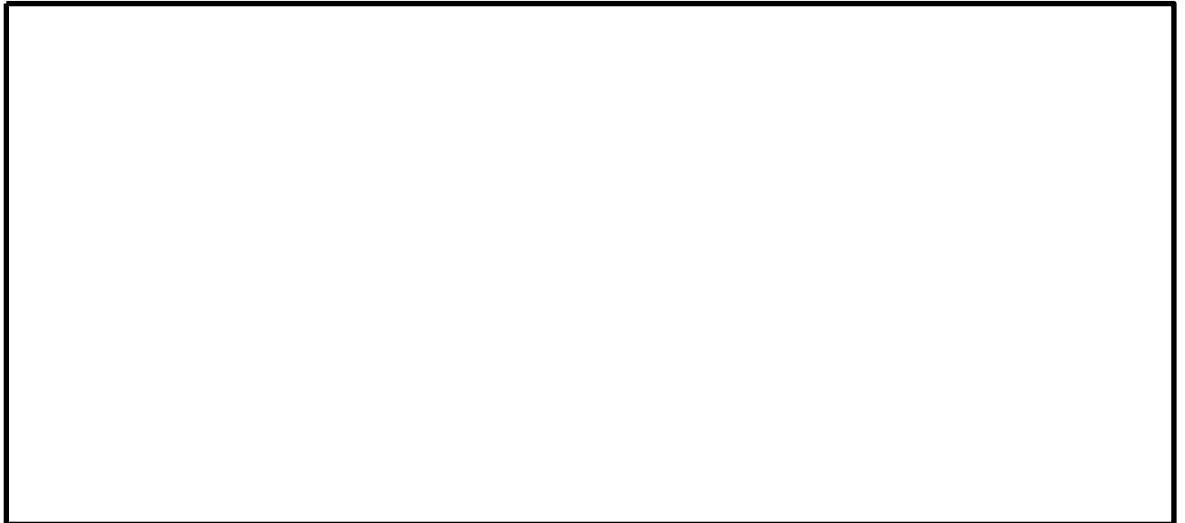
- c. 繰返し荷重の評価に使用する物性値は、運転温度（℃：定格出力運転時の蒸気温度）に対する値を用いる。
- d. 主な温度における材料の物性値を表5-4 に示す。  
繰返し荷重の評価に使用する物性値を表5-5 に示す。

## (2) 流体の物性値

温度分布計算に使用する流体の物性値は、引用文献(2)（改訂第4版）の表に定められたものによる。主な温度における物性値を表5-6 に示す。

### 5.8.6 解析モデルの物性値補正

シュラウドサポートの応力計算には、軸対称モデルを用い、次の部位については、解析モデルにおいて物性値補正を行い、その剛性を考慮する。



### 5.8.7 荷重の組合せ及び供用状態

荷重の組合せ及び供用状態を表5-7 に示す。

なお、本章において、設計・建設規格 GNR-2120(1)の規定による最高使用圧力（供用状態Aを定義する運転状態において機器が受ける最高の圧力以上の圧力であって、設計上定めるものをいう。）を「設計差圧」と呼び、設計差圧と設計機械的荷重を組み合わせた条件を「設計条件」という。

## 5.9 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

応力解析の概要を図 5-2 に示す。

### 5.9.1 温度分布計算

#### (1) 境界の熱伝達率

温度分布計算に使用する容器内面，容器外面及びシュラウドサポート外面の熱伝達率の計算条件と計算結果を表 5-13 に示す。

#### (2) 温度分布の計算

##### a. 荷重条件

参照図書(1)a.に定める運転条件に基づいて計算する。

##### b. 計算方法

温度分布計算は，二次元軸対称の有限要素でモデル化し，計算機コード「TACF」により行う。なお，評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

温度分布計算のモデルを図 5-3 に示す。

境界における熱伝達率は，5.9.1 (1)項の計算結果を用いる。

##### c. 温度遷移図

温度分布計算を行った運転条件について，評価断面における熱応力が厳しくなる時点を検出するため，あらかじめ指定した数点の温度の時間的変化を図 5-4 に示す。

シュラウドサポート，下部胴及び下鏡内に指定した 2 点間の温度差が極値となる時点を図 5-4 に記号で示す。

なお，同図において，その差が極値をとった時点を熱応力が厳しくなるものとする。

##### d. 温度分布図

5.9.1 項(2)c.で選定した 2 点間の温度差が極値となる時点の温度分布を図 5-5 に示す。

### 5.13 引用文献

文献番号は、本章において共通である。

- (1) ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE SEC. II PART D, MATERIALS (2015 Edition)
- (2) 伝熱工学資料 (日本機械学会 改訂第3版及び改訂第4版)
- (3) Journal of Engineering for Industry, 「Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates With Square and Triangular Penetration Patterns」 (T. SLOT, W. J. O' DONNELL)
- (4) 機械工学便覧 基礎編  $\alpha 3$  (日本機械学会)
- (5) 「伝熱概論」 甲藤好郎著, 養賢堂発行
- (6) WARREN H. GIEDT 「基礎伝熱工学」 横堀進, 久我修共訳, 丸善
- (7) March 1979 Revision of WRC Bulletin 107/August 1965 「Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings」

### 5.14 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類
  - a. IV-2-2-3(1) 炉心支持構造物の応力解析の方針
  - b. IV-2-2-3(2)b シュラウドサポートの応力計算書
  - c. IV-3-1-1-1 原子炉圧力容器の応力解析の方針

表5-14 応力集中係数

応力評価点	データ				K <sub>n</sub> (引張)	K <sub>b</sub> (曲げ)
	T (mm)	t (mm)	r (mm)	θ (°)		
P01, P01'					1.4	1.2
P02, P02'					2.0	1.6
P03, P03'					1.3	1.1
P04, P04'					1.3	1.1
P05, P05'					1.3	1.1
P06, P06'					1.3	1.1
P08, P08'					2.3	1.8
P10, P10'					2.3	1.8
P11, P11'					1.8	1.5
P12, P12'					1.8	1.5
P13, P13'					3.0 <sup>*2</sup>	3.0 <sup>*2</sup>
P14, P14'					3.0 <sup>*2</sup>	3.0 <sup>*2</sup>
P15, P15'					1.8	1.5
P16, P16'					1.8	1.5
P17, P17'					2.0 <sup>*3</sup>	2.0 <sup>*3</sup>
P18, P18'					2.0 <sup>*3</sup>	2.0 <sup>*3</sup>

注：計算方法及び記号の説明は、添付2による。

注記\*1：Tを無限大として計算した。

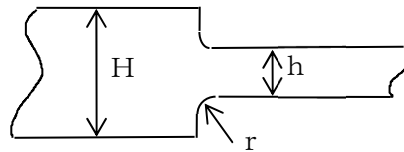
\*2：西田正孝著「応力集中」による。

\*3：設計・建設規格 CSS-3140 の完全溶け込み溶接部に対する値

添付 2 応力集中係数の計算

1. 応力集中係数の計算式

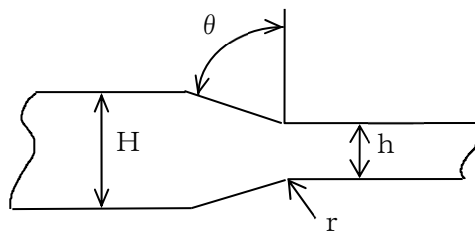
- (1) 板厚が変化する部分の応力集中係数は、5.13 節の引用文献(7)の Appendix B に示された手法によって求める。
- (2) この手法の概要は、次のとおりである。
- a. 以下のような、ステップ状のはりの応力集中係数を求める実験式 (Heywood による。) を用いる。



$$K_n = 1 + \left\{ \frac{\frac{H}{h} - 1}{4 \cdot \left( 1.4 \cdot \frac{H}{h} - 1 \right)} \cdot \frac{h}{r} \right\}^{0.65} \dots \dots \dots (1)$$

$$K_b = 1 + \left\{ \frac{\frac{H}{h} - 1}{2 \cdot \left( 5.37 \cdot \frac{H}{h} - 4.8 \right)} \cdot \frac{h}{r} \right\}^{0.85} \dots \dots \dots (2)$$

- b. 隅部にテーパのあるときは、次のように補正する。



(1)式, (2)式で求めた応力集中係数を  $K_0$ , 補正した係数を  $K'$  として

$$2 \cdot r \leq H - h \text{ のとき} \quad \frac{K' - 1}{K_0 - 1} = 1 - \left( \frac{\theta}{90} \right)^n$$

$$2 \cdot r > H - h \text{ のとき} \quad \frac{K' - 1}{K_0 - 1} = 1 - \left( \frac{\theta - \alpha}{90 - \alpha} \right)^n$$

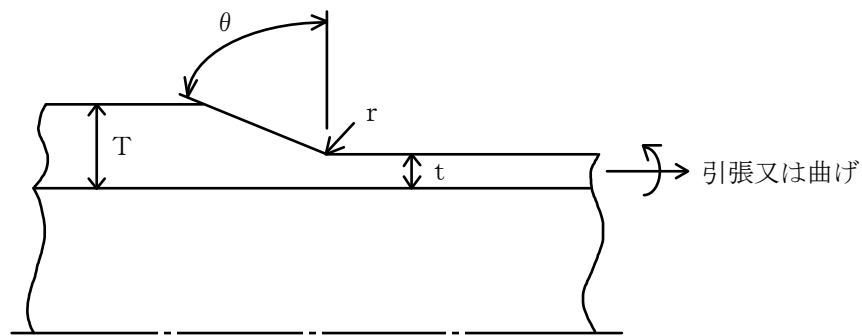


ただし,

$$n = 1 + 2.4 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot r}{H - h}}$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left( 1 - \frac{H - h}{2 \cdot r} \right)$$

- c. 円筒部については, a 項及び b 項の式の  $H$ ,  $h$  を  $H = 2 \cdot T$ ,  $h = 2 \cdot t$  とする。  
 なお,  $T$  及び  $t$  は, 下図に示す寸法を用いるものとする。



## 2. 計算方法

応力集中係数の計算は,  $T$ ,  $t$ ,  $r$  及び  $\theta$  を用いて行う。  
 応力集中係数の表においては, 次のものを記載する。

- $T$  : 大きい方の板厚 ( $= H/2$ )  
 $t$  : 小さい方の板厚 ( $= h/2$ )  
 $r$  : 隅部の半径  
 $\theta$  : テーパー角度  
 $K_n$  : 引張に対する応力集中係数  
 $K_b$  : 曲げに対する応力集中係数

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（10/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
VI-2-8-3-1-1	管の耐震性についての計算書(中央制御室空調換気系)	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-8-3-2-1	管の耐震性についての計算書(中央制御室空気供給系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-8-3-3-1	管の耐震性についての計算書(緊急時対策所換気空調系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-8-4-3	中央制御室遮蔽(1, 2号機共用)の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-26					
		コード名	FINAL					
VI-2-8-4-4	中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-2-2	サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-2-3	サブプレッションチェンバサポートの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-2-8	サブプレッションチェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-2-10	配管貫通部の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-2-11	電気配線貫通部の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-3-1	原子炉建物原子炉棟(二次格納施設)の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-39					
		コード名	fappase					
VI-2-9-3-1-2	原子炉建物主蒸気管トンネル室ブローアウトパネルの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-13	排気筒の地震応答計算書	Ver. 6. 0. 0. 4
VI-2-2-14	排気筒の耐震性についての計算書	Ver. 6. 0. 0. 4

1. はじめに

本資料は、VI-3-別添 2-6「タービン建物の強度計算書」等において使用した計算機プログラム(解析コード) SD について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	STAAD. Pro
使用目的	3次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による固有値解析
開発機関	株式会社ベントレー・システムズ
開発時期	1972年
使用したバージョン	Ver. 20. 07. 11. 33
コードの概要	<p>STAAD. Pro（以下「本解析コード」という。）は、3次元架構構造モデルの構造解析を目的に、任意形状の3次元モデルの静的解析及び動的解析を有限要素法にて行うものである。</p> <p>引張・圧縮・せん断等の一般的な静解析から、地震等の動解析までサポートしており、本解析コードは、プラント設計、建築・土木工学等の分野で世界的に広く実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般知見により解を求めることができる体系について、解析の結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発元から提示された要件を満足していることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、有限要素法を用いた汎用構造解析プログラムであり、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による固有値解析に、本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、原子力分野では、工事計画認可申請における応力解析等、これまで構造解析に対し使用実績があることを確認している。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

1. はじめに

本資料は、VI-2-2-19「取水槽の耐震性についての計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）FINAS/STAR について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-19	取水槽の耐震性についての計算書	Ver. 2020
VI-2-2-21	屋外配管ダクト（タービン建屋～排気筒）の耐震性についての計算書	Ver. 2020
VI-2-10-2-3-1	防波壁（波返重力擁壁）の耐震性についての計算書	Ver. 2020
VI-2-10-2-3-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性についての計算書	Ver. 2020
VI-3-別添 3-2-1-1	防波壁（波返重力擁壁）の強度計算書	Ver. 2020
VI-3-別添 3-2-1-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度計算書	Ver. 2020

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FINAS/STAR
使用目的	3次元構造解析による断面力及び応力度の計算
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	2009年
使用したバージョン	Ver. 2020
コードの概要	<p>本解析プログラムは、伊藤忠テクノソリューションズ（株）が独自に開発し、保守されている汎用市販有限要素法解析プログラムであり、3次元有限要素法（シェル要素、ソリッド要素及びばね要素）による応力解析（鉄筋コンクリートの非線形性を考慮した静的応力解析、熱応力解析及び地震応答解析）に使用している。</p> <p>有限要素法による構造物と地盤の連成モデルの解析用プログラムであり、固有値解析、静的解析、動的解析、熱伝導解析、熱応力解析、非線形解析（材料非線形、幾何学的非線形）が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析プログラムの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・線形要素を用いた解析の適用性は、片持ちばりの集中荷重作用時の変形量について、本解析コードによる解析結果と理論解がおおむね一致することを確認した。</li> <li>・非線形要素を用いた解析の適用性は、単純ばりの荷重－変位関係に対して、本解析コードによる解析結果と実験結果及び多数の実績のある解析コード COM3 による解析結果がおおむね一致することを確認した。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析プログラムの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析プログラムは、原子力、土木及び建築分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、3次元有限要素法（シェル要素、ソリッド要素及びばね要素）による鉄筋コンクリートの非線形性を考慮した静的応力解析、熱応力解析及び地震応答解析に、本解析プログラムが適用できることを確認している。</li> </ul>



<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・線形シェル要素及び線形ソリッド要素を用いた実績としては、原子力規制委員会において、「原子炉施設の建屋三次元地震時挙動の精緻な推定に資する影響因子の分析とそのモデル化に関する検討（令和3年3月）」で、原子炉建屋の地震応答解析に本解析プログラムが使用されている。</li> <li>・非線形シェル要素を用いた実績としては、「高温を受けたRC造耐震壁の耐震性に関する検討（日本建築学会大会学術講演梗概集、2016年8月）」において、鉄筋コンクリートの耐震壁の評価に本解析プログラムが使用されている。</li> <li>・非線形ソリッド要素を用いた実績としては、「高温を受ける鋼板コンクリート部材の力学的性状に関する実験及び解析的研究（第10回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム、2013年）」において、鋼板コンクリートの剛性及び耐力の評価に本解析プログラムが使用されている。</li> <li>・本工認申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>
--	--

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本資料は、解析コード FINAS/STAR（以下「本解析コード」という。）の概要である。

本解析コードは、固有値解析、静的解析、動的解析、熱伝導解析、熱応力解析、非線形解析（材料非線形、幾何学的非線形）が可能な汎用コードである。有限要素法による構造物と地盤の連成モデルの解析プログラムであり、津波防護施設及び屋外重要土木構造物に対する 3次元構造解析に使用している。

#### 3.2 解析コードの特徴

本解析コードは、コンクリートに発生するひび割れによって鉄筋とコンクリートに生じる局所的な応力分布を、鉄筋コンクリート部材としての平均的な応力と平均ひずみの関係として表現する構成則を用いて、ひび割れ発生に伴う非線形挙動を解析するコードである。主な特徴を以下に示す。

- ・鉄筋コンクリート構造物の挙動は、コンクリート及び鉄筋の各応力と剛性を「平均応力－平均ひずみ」の関係で与えられる材料構成則から求め、それらを足し合わせるにより表現している（分散ひび割れ法）。
- ・コンクリート及び鉄筋のそれぞれの材料非線形モデルを基に、有限要素法を用いて非線形方程式を解くことにより、鉄筋コンクリート構造物全体の挙動を求めている。
- ・多方向のひび割れを考慮できる。
- ・コンクリート及び鉄筋は完全固着としている（ひずみが同一の値となる）。

### 3.3 解析手法

#### 3.3.1 有限要素法の考え方

有限要素法では図 3-1 に示すように解析領域を複数の部分領域（要素 element）に分割し、その領域内において関数を重ね合わせることで未知量を近似する。

それぞれの要素は、これを構成する節点（node）において結合されている。要素の結合によって組み立てられる近似モデルのことを全体モデルと呼ぶ。

要素内の変位  $\mathbf{u}_e$  はその要素  $e$  に属している節点の変位（要素節点変位ベクトル）

$\mathbf{d}_e$  を用いて、以下のように近似される。

$$\mathbf{u}_e = \mathbf{N}_e \mathbf{d}_e \quad (3.1)$$

ここで、 $\mathbf{N}_e$  は形状関数であり要素内の変位を補間する関数である。

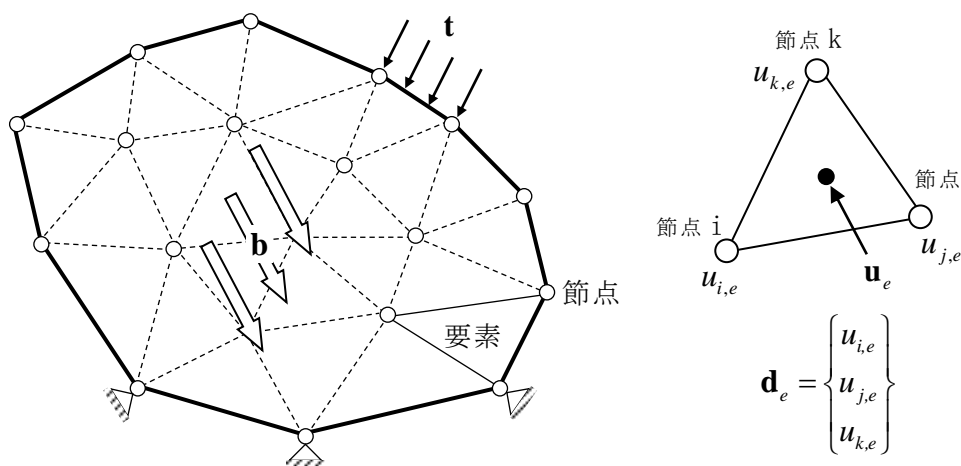


図 3-1 有限要素モデル

有限要素法の基礎となる仮想仕事の原理は、次式で与えられる。

$$\delta U = \delta W \quad (3.2)$$

$\delta U$  は内部の応力の仮想仕事、 $\delta W$  は変形に対する外力による仮想仕事である。

$$\delta U = \int_V \delta \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\sigma} dV \quad (3.3)$$

$$\delta W = \int_V \delta \mathbf{u}^T \mathbf{b} dV + \int_S \delta \mathbf{u}^T \mathbf{t} dS \quad (3.4)$$

ここで、 $\sigma$ と $\varepsilon$ は応力とひずみを表わし、 $\delta$ は変分である。 $\mathbf{u}$ は物体点の変位、 $\mathbf{b}$ と $\mathbf{t}$ は単位体積当たり作用する物体力と単位面積当りに作用する表面力をそれぞれ表わす。また $V$ と $S$ は離散化した全体モデルの体積と表面積を表わす。

式(3.3)及び式(3.4)は全体モデルについての積分を意味するが、個々の要素の寄与の総和を取ることにより、次式のように表わせる。

$$\delta U = \sum_m \delta U_m \quad (3.5)$$

$$\delta W = \sum_m \delta W_m \quad (3.6)$$

ここで、添字 $m$ は $m$ 番目の要素の意味である。

$$\delta U_m = \int_{V_m} \delta \boldsymbol{\varepsilon}_m^T \boldsymbol{\sigma}_m dV \quad (3.7)$$

$$\delta W_m = \int_{V_m} \delta \mathbf{u}_m^T \mathbf{b} dV + \int_{S_m} \delta \mathbf{u}_m^T \mathbf{t} dS \quad (3.8)$$

式(3.7)及び式(3.8)において $V_m$ は要素 $m$ の体積を表わし、 $S_m$ は要素 $m$ が表面 $S$ の一部を構成する場合の表面を意味している。

### 3.3.2 要素剛性方程式の導入

ここでは任意の要素  $m$  について着目し、その力学的関係及び要素剛性方程式の導出について説明する。

要素内の変位  $\mathbf{u}_m$  と要素節点変位ベクトル  $\mathbf{d}_m$  の関係式は、式(3.1)より次式で近似される。

$$\mathbf{u}_m \approx \mathbf{N}_m \mathbf{d}_m \quad (3.9)$$

要素内のひずみ  $\boldsymbol{\varepsilon}_m$  と要素節点変位ベクトル  $\mathbf{d}_m$  の関係は次式で近似される。

$$\boldsymbol{\varepsilon}_m = \partial \mathbf{u}_m \approx \partial \mathbf{N}_m \mathbf{d}_m = \mathbf{B}_m \mathbf{d}_m \quad (3.10)$$

また、応力  $\boldsymbol{\sigma}_m$  とひずみ  $\boldsymbol{\varepsilon}_m$  の関係を表す構成式は次式で与えられる。

$$\boldsymbol{\sigma}_m = \mathbf{D}_m \boldsymbol{\varepsilon}_m \quad (3.11)$$

ここで、 $\mathbf{B}_m$  はひずみ-節点変位マトリックス、 $\mathbf{D}_m$  は応力-ひずみマトリックスである。要素  $m$  に対する仮想仕事の原理は、次式となる。

$$\delta U_m = \delta W_m \quad (3.12)$$

式(3.12)に式(3.7)及び式(3.8)を代入すると次式を得る。

$$\int_{V_m} \delta \boldsymbol{\varepsilon}_m^T \boldsymbol{\sigma}_m dV = \int_{V_m} \delta \mathbf{u}_m^T \mathbf{b} dV + \int_{S_m} \delta \mathbf{u}_m^T \mathbf{t} dS \quad (3.13)$$

次に、式(3.13)に式(3.9)～式(3.11)を代入すると次式を得る。

$$\delta \mathbf{d}_m^T \int_{V_m} \mathbf{B}_m^T \mathbf{D}_m \mathbf{B}_m dV \mathbf{d}_m = \delta \mathbf{d}_m^T \int_{V_m} \mathbf{N}_m^T \mathbf{b} dV + \delta \mathbf{d}_m^T \int_{S_m} \mathbf{N}_m^T \mathbf{t} dS \quad (3.14)$$

式(3.14)は  $\delta \mathbf{d}_m$  の任意性が成立することから、次の要素剛性方程式が得られる。

$$\mathbf{K}_m \mathbf{d}_m = \mathbf{F}_m \quad (3.15)$$

ここで、 $\mathbf{K}_m$  は要素剛性マトリックス、 $\mathbf{F}_m$  は等価節点荷重ベクトルであり、それぞれ次式で与えられる。

$$\mathbf{K}_m = \int_{V_m} \mathbf{B}_m^T \mathbf{D}_m \mathbf{B}_m dV \quad (3.16)$$

$$\mathbf{F}_m = \mathbf{F}_m^b + \mathbf{F}_m^t = \int_{V_m} \mathbf{N}_m^T \mathbf{b} dV + \int_{S_m} \mathbf{N}_m^T \mathbf{t} dS \quad (3.17)$$

### 3.3.3 全体モデルの剛性方程式

前項で示した要素剛性マトリックスと等価節点荷重ベクトルについて、要素結合情報を用いて重ね合わせると全体系の剛性方程式が得られる。

$$\mathbf{Kd} = \mathbf{F} \quad (3.18)$$

ここで、 $\mathbf{K}$  は剛性マトリックス、 $\mathbf{d}$  は変位ベクトル、 $\mathbf{F}$  は荷重ベクトルである。なお、剛性マトリックスには変位境界（拘束）条件を与える必要がある。

### 3.3.4 非線形解析手法

非線形解析手法である Newton-Raphson 法について以下に示す。

時刻  $t$  における内力ベクトルを  ${}^t\mathbf{Q}$ ，外力ベクトルを  ${}^t\mathbf{F}$  とすれば，非線形方程式は，

$${}^t\mathbf{Q} = {}^t\mathbf{F} \quad (3.19)$$

と書くことができる。ここで簡単にするため， ${}^t\mathbf{Q}$  は時刻  $t$  における一般化変位ベクトル  ${}^t\mathbf{U}$  の関数， ${}^t\mathbf{F}$  は構造物の変形に依存しないものとする。

式(3.19)の時間微分を取れば

$${}^t\dot{\mathbf{Q}}dt = {}^t\dot{\mathbf{F}}dt \quad (3.20)$$

となる。現実の数値計算では，式(3.20)の両辺は，ある有限な微小時間における増分として取り扱う。したがって，

$${}^t\dot{\mathbf{Q}}dt = (\partial^t\mathbf{Q}/\partial^t\mathbf{U}){}^t\dot{\mathbf{U}}dt \approx {}^t\mathbf{K}\Delta\mathbf{U} \quad (3.21)$$

$${}^t\dot{\mathbf{F}}dt \approx {}^{t+\Delta t}\mathbf{F} - {}^t\mathbf{F} = \Delta\mathbf{F} \quad (3.22)$$

と近似して式(3.20)に代入すれば，

$${}^t\mathbf{K}\Delta\mathbf{U} \approx \Delta\mathbf{F} \quad (3.23)$$

となり，時刻  $t$  から  $t' = t + \Delta t$  までの間の線形化された方程式が得られる。 ${}^t\mathbf{K}$  は時刻  $t$  における接線剛性マトリックス， $\Delta\mathbf{U}$ ， $\Delta\mathbf{F}$  はそれぞれ時刻  $t$  から  $t' = t + \Delta t$  までの間の一般化変位増分ベクトル及び一般化荷重増分ベクトルである。

式(3.23)は，時刻  $t$  における平衡解が得られているときに，次の時刻の外力に対する変位が

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{U} = {}^t\mathbf{U} + \Delta\mathbf{U} \quad (3.24)$$

$$\Delta\mathbf{U} \approx {}^t\mathbf{K}^{-1}\Delta\mathbf{F} \quad (3.25)$$

により近似できることを示している。非線形の場合，この解は一般的に時刻  $t' = t + \Delta t$  における平衡方程式を満たさないため，反復による解の補正が必要になる。

ここで、式(3.25)により得られる  $\Delta\mathbf{U}$  を反復 1 回目の変位修正ベクトル  $\Delta\mathbf{U}^{(1)}$  として変位の更新し、平衡方程式に代入すれば、

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{U}^{(1)} = {}^t\mathbf{U} + \Delta\mathbf{U}^{(1)} \quad (3.26)$$

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{R}^{(1)} = {}^{t+\Delta t}\mathbf{F} - {}^{t+\Delta t}\mathbf{Q}^{(1)}({}^{t+\Delta t}\mathbf{U}^{(1)}) \quad (3.27)$$

となる。 ${}^{t+\Delta t}\mathbf{R}$  は一般に残差荷重ベクトルと呼ばれており、 ${}^{t+\Delta t}\mathbf{R} = \mathbf{0}$  を満たすものが平衡解となる。

式(3.27)を  $\Delta\mathbf{U}$  に関して線形化し、残差が減少するように変位を修正するものとすれば、第  $i$  回目の反復における変位修正ベクトルは、式(3.21)を参照して、

$$\Delta\mathbf{U}^{(i)} = {}^t\mathbf{K}^{(i-1)-1} {}^{t+\Delta t}\mathbf{R}^{(i-1)} \quad (3.28)$$

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{R}^{(i-1)} = {}^{t+\Delta t}\mathbf{F} - {}^{t+\Delta t}\mathbf{Q}^{(i-1)}({}^{t+\Delta t}\mathbf{U}^{(i-1)}) \quad (3.29)$$

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{U}^{(i)} = {}^{t+\Delta t}\mathbf{U}^{(i-1)} + \Delta\mathbf{U}^{(i)} \quad (3.30)$$

と書くことができる。ここで、第 0 回目の反復時における値を時刻  $t$  における収束解、すなわち、

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{U}^{(0)} = {}^t\mathbf{U} \quad (3.31)$$

$${}^t\mathbf{K}^{(0)} = {}^t\mathbf{K} \quad (3.32)$$

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{Q}^{(0)} = {}^t\mathbf{R} (= {}^t\mathbf{F}) \quad (3.33)$$

のように定義する。

Newton-Rapson 法は、残差が十分小さくなるまで式(3.28)～式(3.30)の手順を反復し、収束解を得る方法である。式(3.28)からもわかるように、Newton-Rapson 法では反復ごとに接線剛性マトリックス  ${}^t\mathbf{K}^{(i-1)}$  の更新を行う。



## 3.3.5 分割ひび割れ鉄筋コンクリートモデル

非線形シェル要素は、鉄筋コンクリート構造の材料モデルとして、精度の高い構成則の一つとして知られている前川・福浦らによる弾塑性破壊モデルを導入する。なお、この鉄筋コンクリート構造の材料モデルを導入した要素は、分散ひび割れモデルとして取り扱うことから、ひび割れの発生や進展が有限要素内で平均的に考慮される。

以下に、前川、福浦らによる二軸構成則材料モデルの概要を示す。図 3-2 に示すようにコンクリートの引張・圧縮挙動モデル、せん断伝達モデル及び鉄筋モデルを組み合わせて、直交 2 方向にひび割れた鉄筋コンクリートの挙動を表す要素が構成される。

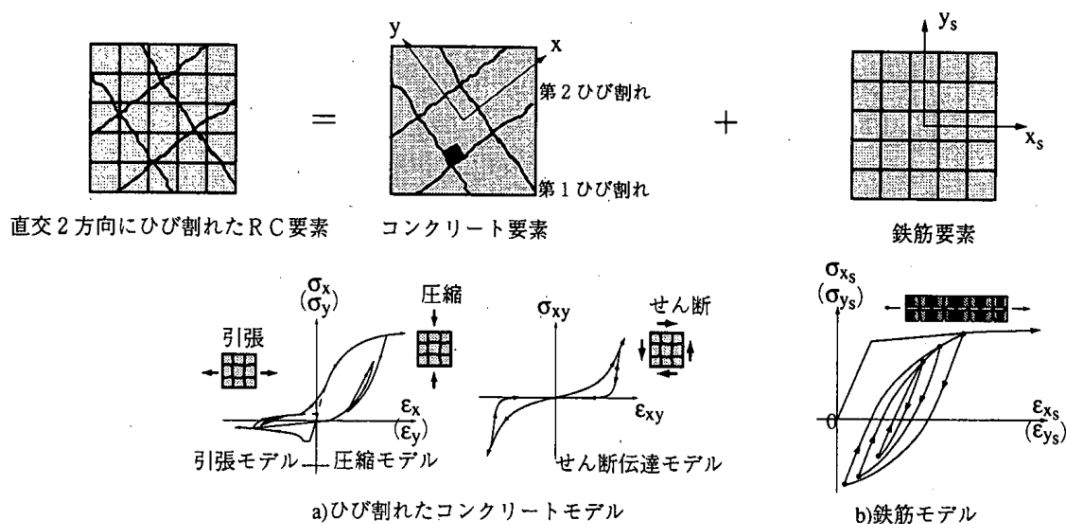


図 3-2 直交 2 方向にひび割れた鉄筋コンクリート要素

ひび割れは、分散ひび割れ（ひび割れが要素内で一様に発生すると仮定したモデル）として扱い、第1ひび割れ、第2ひび割れに関する直交座標系をそれぞれ定義し、アクティブクラックに関する座標系で、応力、ひずみの更新を進める疑似直交座標系を用いる。

なお、本検討では、図3-3に示す疑似直交2方向ひび割れモデルを複合させた4方向ひび割れモデルを用いている。

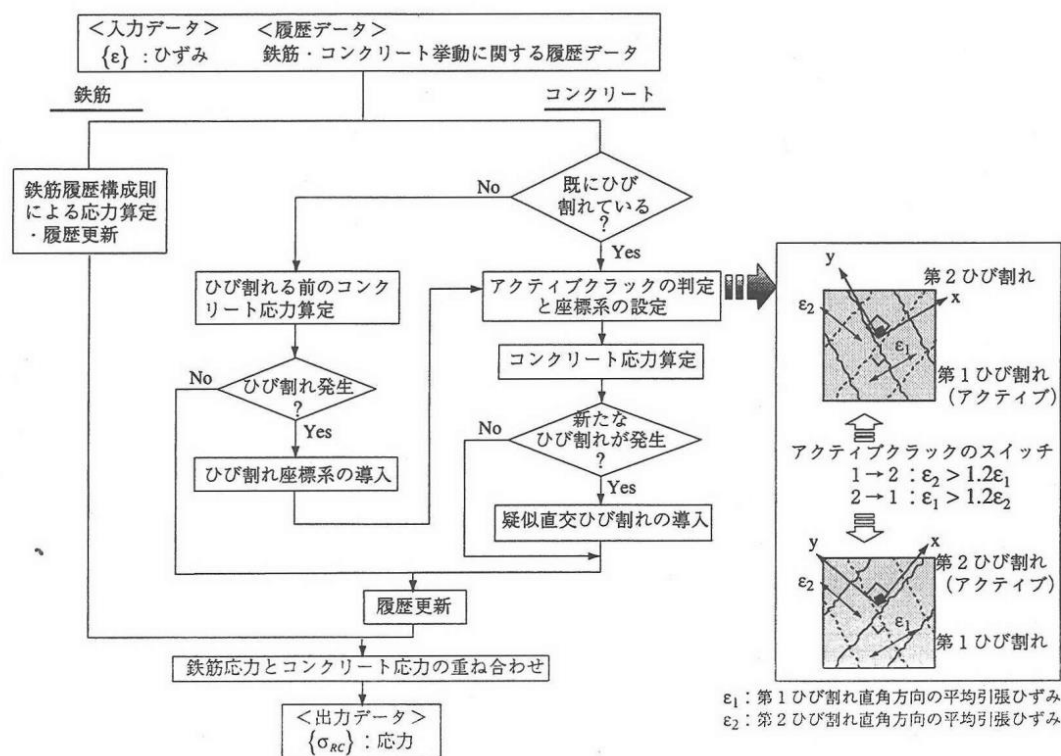
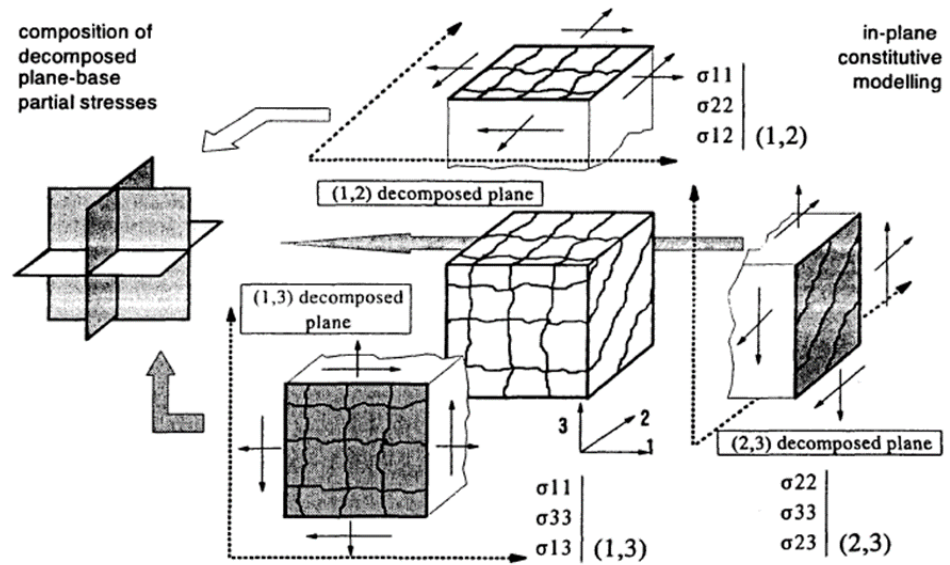


図3-3 疑似直交2方向にひび割れる鉄筋コンクリート要素の応力算定

出典：前川宏一，福浦尚之：疑似直交2方向ひび割れを有する平面RC要素の空間平均化構成モデルの再構築，土木学会論文集，No. 634/V-45，pp157-176，1999.11

非線形ソリッド要素は，図 3-4 に示すように，ひび割れが最も大きい面に平行な平面及び直交する 2 平面からなる 3 つの 2 次元平面において，それぞれ 2 次元の基本構成則を適用し，これらを合算することによって 3 次元応力場へ拡張している。



出典：Bernhard HAUKE, Koichi MAEKAWA : Three-dimensional modelling of reinforced concrete with multi-directional cracking, Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements, JSCE, No. 634/V-45, pp. 349-368, 1999. 11

図 3-4 投影法による 3 次元応力場への拡張

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-5 に示す。

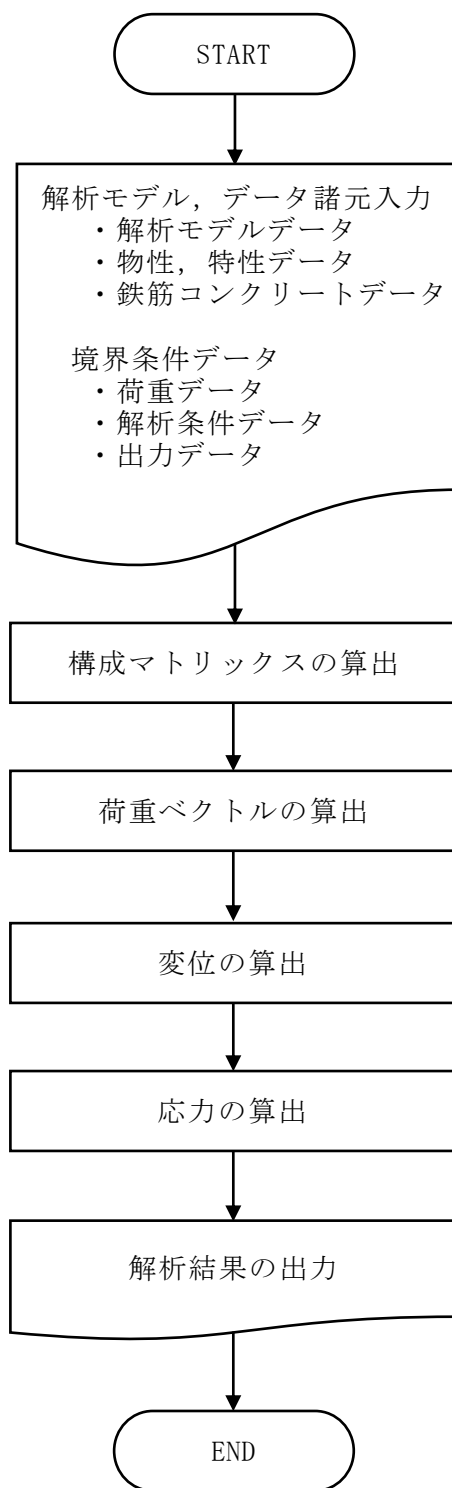


図 3-5 解析フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

#### 3.5.1 検証

有限要素法では図 3-1 に示すように解析領域を複数の部分領域 (要素 element) に分割し、その領域内において関数を重ね合わせることで未知量を近似する。

##### (1) 線形シェル要素

線形シェル要素を用いた解析の適用性は、片持ちばりの集中荷重作用時の変形量に対して、本解析コードと理論解を比較することで検証する。

##### a. 解析モデル

解析モデルは、図 3-6 に基づき鉄筋コンクリートはりを用いた線形シェル要素でモデル化する。

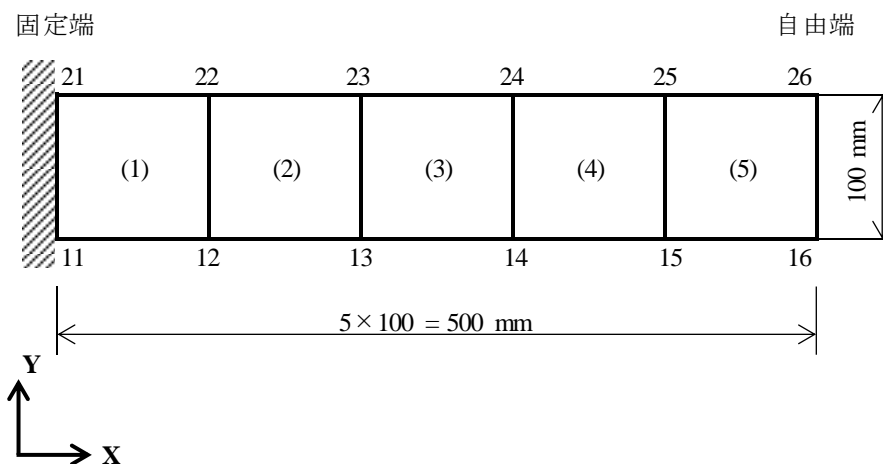


図 3-6 解析モデル図

##### b. 解析用物性値

解析用物性値を表 3-1 に示す。

表 3-1 解析用物性値 (鉄筋コンクリートはり)

項目	記号	値	単位
部材長	L	500	mm
部材幅	b	100	mm
断面 2 次モーメント	$I_y$	8333.3	$\text{mm}^4$
ヤング率	E	200000	MPa
ポアソン比	$\nu$	0.3	—

c. 解析条件

図 3-6 に示す自由端位置に軸直交方向 (図 3-6 の -Y 方向) に集中荷重 (1000kN) を載荷し, 自由端位置における変位量を算出する。

d. 結果の検証

解析結果と理論解との比較結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 解析結果と理論解との比較結果

自由端変位 [mm]	
解析解 FINAS/STAR	理論解
-24.73	$\delta_z = \frac{-PL^3}{3EI} = \frac{-1000 \times 500^3}{3 \times 200000 \times 8333.3} = -25$

解析結果と理論解の変位はおおむね一致していることから, 線形シェル要素を用いた解析の適用性を確認した。

## (2) 非線形シェル要素

非線形シェル要素は、鉄筋コンクリート部材をコンクリート及び鉄筋の非線形性を考慮した層の集合体としてモデル化する要素である。非線形シェル要素を用いた解析の適用性は、単純ばりの荷重－変位関係に対して、本解析コードによる解析結果と実験結果を比較することで検証する。

## a. 実験概要

比較対象とする実験概要図を図 3-7 に示す。実験では鉄筋コンクリートはりの試験体に対し、試験体天端 2 点に荷重を作用させ、試験体中央位置での鉛直変位と載荷荷重の関係を確認する。

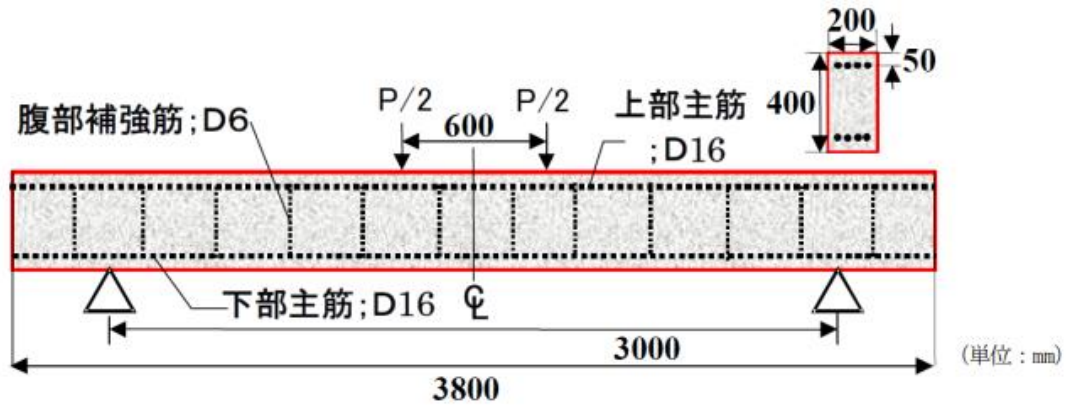


図 3-7 実験概要図

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(技術資料)(2005年)より引用)

b. 解析モデル

解析モデルは、図 3-7 に基づき、図 3-8 に示す鉄筋コンクリートはりを用いた非線形シェル要素でモデル化する。非線形シェル要素は 4 層とし、コンクリート部分のうち上端及び下端は鉄筋との付着を考慮した鉄筋コンクリート層（RC 層）、中央 2 層は無筋コンクリート層でモデル化する。

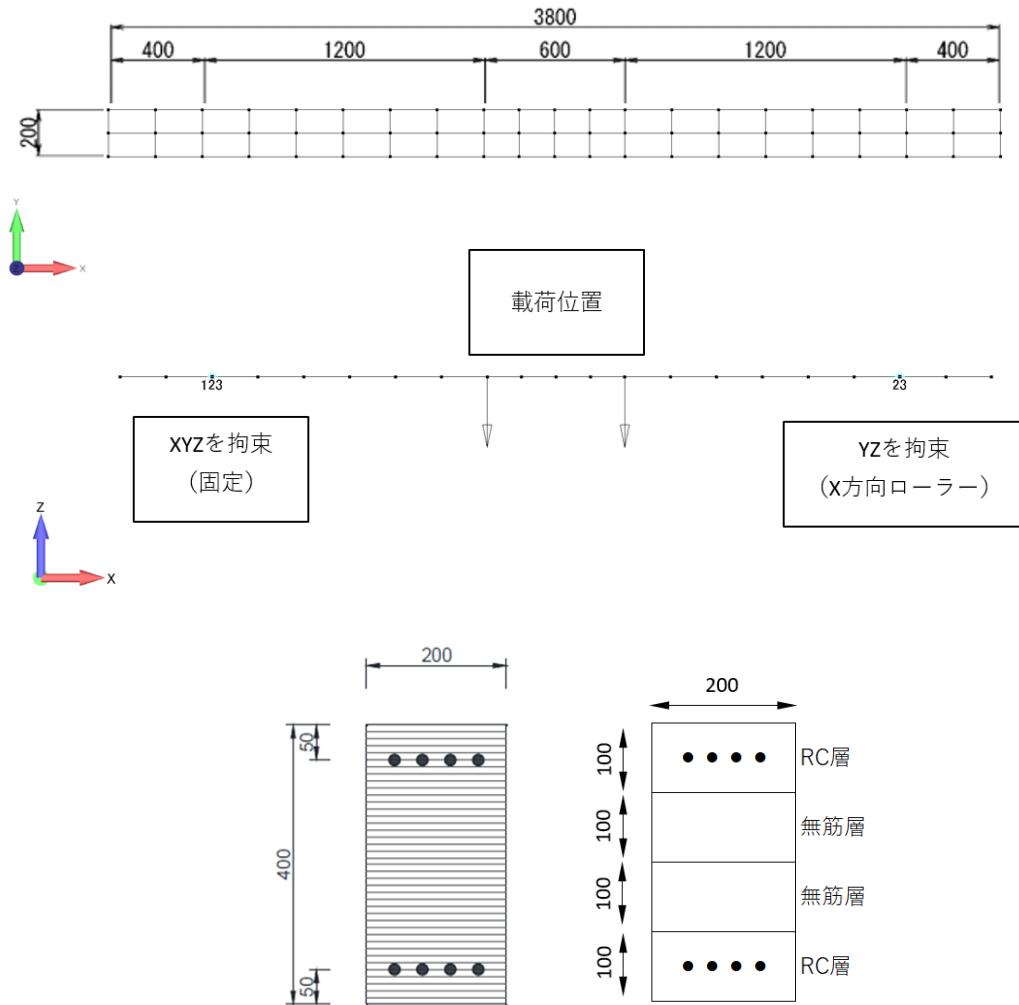


図 3-8 解析モデル図



c. 解析用物性値

解析用物性値を表 3-3 に示す。

表 3-3 解析用物性値（鉄筋コンクリートはり）

コンクリート	圧縮強度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	45.3
	引張強度 $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.7
	ヤング係数 $E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$3.06 \times 10^4$
鉄筋	降伏強度 $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	344
	ヤング係数 $E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$1.94 \times 10^5$

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(技術資料)(2005年)より引用)

d. 解析条件

図 3-7 の載荷位置と同様に、図 3-8 に示す載荷位置に載荷し、モデル中央位置における荷重-変位関係を算出する。

e. 解析条件

実験結果と解析結果の荷重-変位関係の比較を図 3-9 に示す。

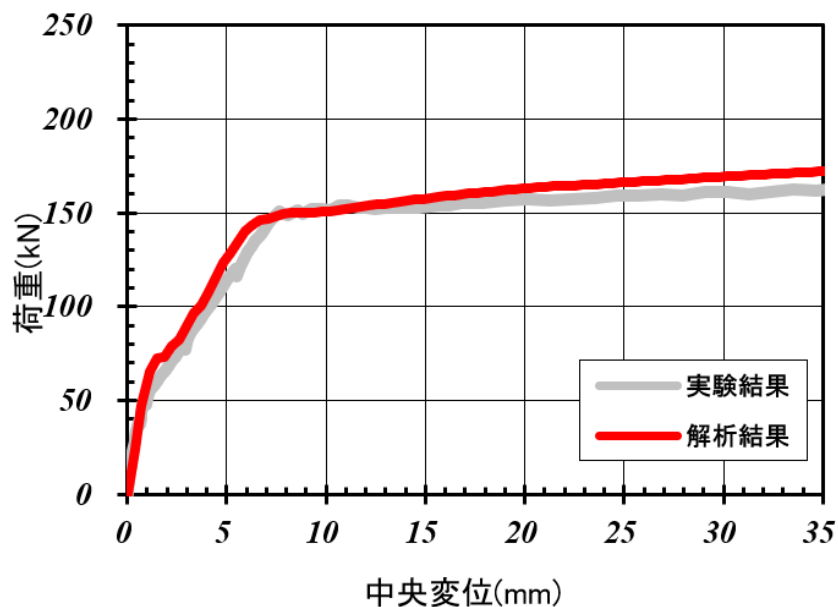


図 3-9 荷重-変位関係の比較

解析結果と実験結果の荷重-変位関係はおおむね一致しており、鉄筋降伏時の荷重もおおむね同等である。以上より、非線形シェル要素を用いた解析の適用性を確認した。

## (3) 線形ソリッド要素

線形ソリッド要素を用いた解析の適用性は、片持ちばりの集中荷重作用時の変形量に対して、本解析コードと理論解を比較することで検証する。

## a. 解析モデル

解析モデルは、図 3-10 に基づき鉄筋コンクリートはりを線形ソリッド要素でモデル化する。

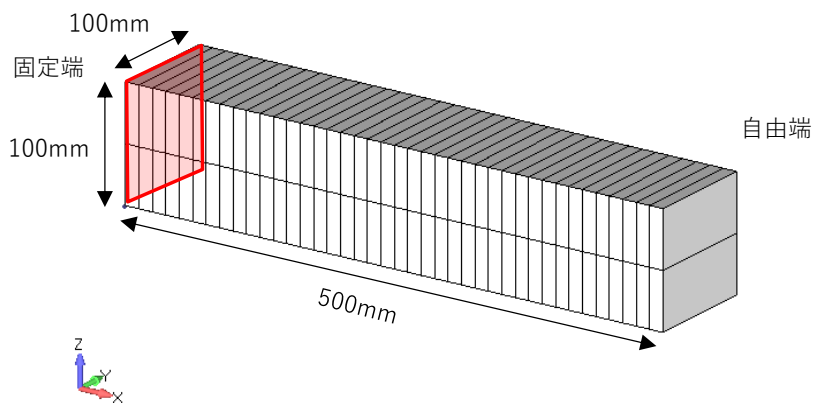


図 3-10 解析モデル図

## b. 解析用物性値

解析用物性値を表 3-4 に示す。

表 3-4 解析用物性値（鉄筋コンクリートはり）

項目	記号	値	単位
部材長	L	500	mm
部材幅	b	100	mm
部材厚	t	100	mm
断面 2 次モーメント	$I_y$	8333333.3	$\text{mm}^4$
ヤング率	E	200000	MPa
ポアソン比	$\nu$	0.3	—

c. 解析条件

図 3-10 に示す自由端位置に軸直交方向（図 3-10 の-Z 方向）に集中荷重（1000kN）を載荷し，自由端位置における変位量を算出する。

d. 結果の検証

解析結果と理論解との比較結果を表 3-5 に示す。

表 3-5 解析結果と理論解との比較結果

自由端変位 [mm]	
解析解 FINAS/STAR	理論解
$-2.4 \times 10^{-2}$	$\delta_z = \frac{-PL^3}{3EI} = \frac{-1000 \times 500^3}{3 \times 200000 \times 8333333.3} = -2.5 \times 10^{-2}$

解析結果と理論解の変位はおおむね一致していることから，線形ソリッド要素を用いた解析の適用性を確認した。

## (3) 非線形ソリッド要素

非線形ソリッド要素は、鉄筋コンクリート部材をコンクリート及び鉄筋の非線形性を考慮し、立体としてモデル化する要素である。非線形ソリッド要素を用いた解析の適用性は、単純ばりの荷重－変位関係に対して、本解析コードによる解析結果と実験結果を比較する。併せて、多数の適用実績のある解析コード COM3 を用いた解析結果を比較する。

## a. 実験概要

比較対象とする実験概要図を図 3-11 に示す。実験では鉄筋コンクリートはりの試験体に対し、試験体天端 2 点に荷重を作用させ、試験体中央位置での鉛直変位と載荷荷重の関係を確認する。

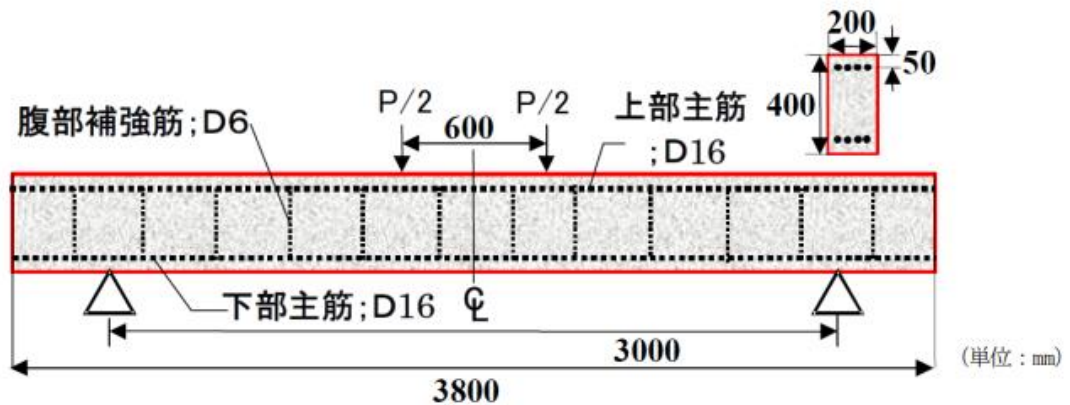
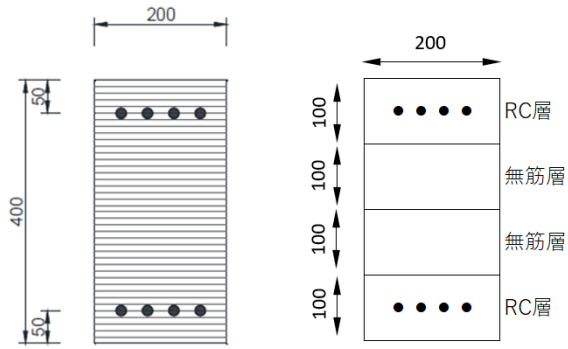
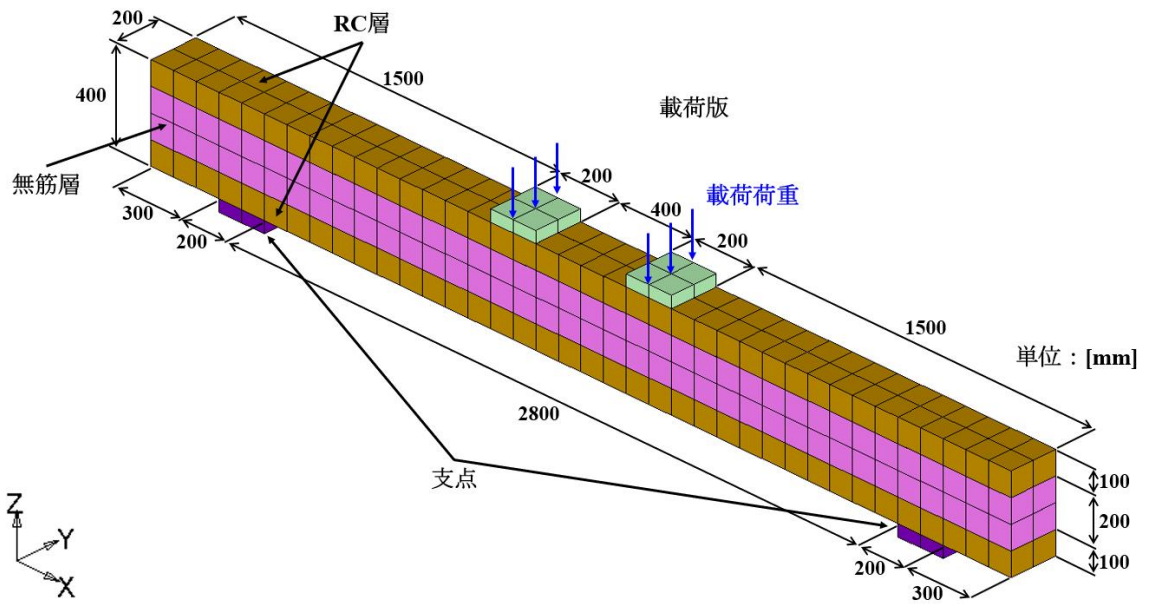


図 3-11 実験概要図

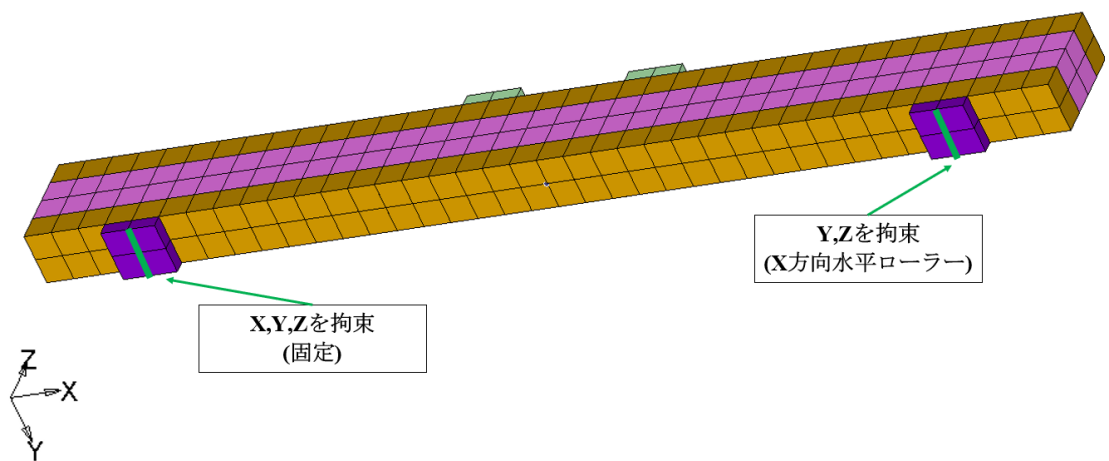
(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(技術資料)(2005年)より引用)

## b. 解析モデル

本解析コード及び解析コード COM3 の解析に用いる解析モデルは、図 3-11 に基づき、図 3-12 に示す鉄筋コンクリートはりを非線形ソリッド要素でモデル化する。非線形ソリッド要素は 4 層とし、コンクリート部分のうち上端及び下端は鉄筋との付着を考慮した鉄筋コンクリート層 (RC 層)、中央 2 層は無筋コンクリート層でモデル化する。



(モデル概要)



(境界条件)

図 3-12 解析モデル図

c. 解析用物性値

本解析コード及び解析コード COM3 の解析に用いる解析用物性値を表 3-6 に示す。

表 3-6 解析用物性値（鉄筋コンクリートはり）

コンクリート	圧縮強度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	45.3
	引張強度 $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.7
	ヤング係数 $E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$3.06 \times 10^4$
鉄筋	降伏強度 $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	344
	ヤング係数 $E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$1.94 \times 10^5$

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(技術資料)(2005年)より引用)

d. 解析条件

図 3-11 の載荷位置と同様に、図 3-12 に示す載荷位置に載荷し、モデル中央位置における荷重-変位関係を算出する。

e. 実験結果との比較

実験結果と解析結果の荷重-変位関係の比較を図 3-13 に示す。

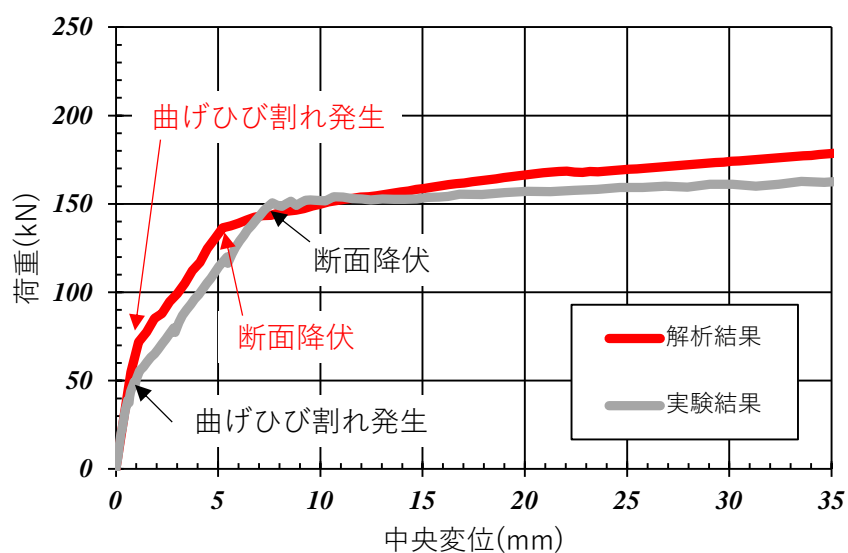


図 3-13 荷重-変位関係の比較（実験結果）

実験結果と本解析コードによる解析結果を比較すると、荷重-変位関係はおおむね一致しており、曲げひび割れ発生時の荷重に差異はあるが、載荷開始から断面降伏に至るまでの剛性は、解析結果が実験結果を再現できていることを確認した。

曲げひび割れ発生時の荷重の差異については、本解析のモデル化に用いた要素として1次要素を用いていることから、部材の変形が生じにくく、耐力が大きくなる傾向にあるためと考えられる。

また、「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)」に示されている部材係数設定用モデルに用いる引張強度は、引張強度試験より求めた表3-6に示す引張強度と異なり、「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)」の算定式(3.34)に基づき、圧縮強度から算定している。算定式(3.34)に基づく引張強度は $2.92\text{N/mm}^2$ であり、引張強度の差が曲げひび割れ発生時の荷重の差異に影響していると考えられる。

$$f_{tk} = 0.23f'_{ck}{}^{2/3} \quad (3.34)$$

ここに、

$$f_{tk} : \text{引張強度 (N/mm}^2\text{)} \quad (2.92\text{N/mm}^2)$$

$$f'_{ck} : \text{設計基準強度 (N/mm}^2\text{)} \quad (45.3\text{N/mm}^2)$$

#### f. 解析コード COM3 による解析結果との比較

本解析コードの検証のために、非線形ソリッド要素を用いた解析のうち、多数の適用実績のある解析コード COM3 を用いた解析結果との比較を行う。本解析コードによる解析結果と1次要素を用いた解析コード COM3 による解析結果の荷重-変位関係の比較を図3-14に示す。

本解析コードによる解析結果と COM3 による解析結果はおおむね一致していることを確認した。

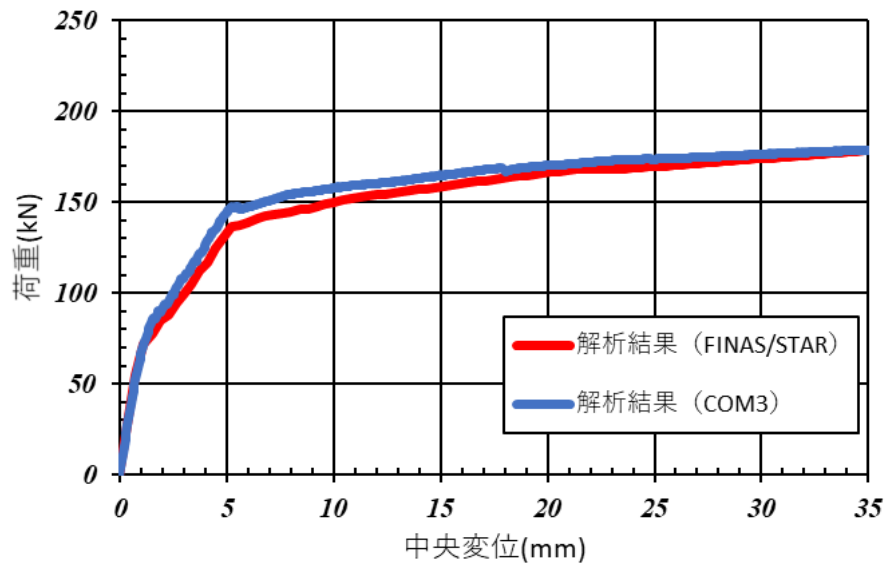


図 3-14 荷重－変位関係の比較（解析結果）

g. 検証結果

実験結果と解析結果の比較においては、解析結果が実験結果をおおむね再現できているが、曲げひび割れ発生時の荷重に差が生じていることを確認した。そのため、多数の適用実績のある解析コード COM3 による解析を行い、本解析コードによる解析結果と比較した結果、両者の解析結果は、おおむね一致していることを確認した。

以上より、非線形ソリッド要素を用いた解析の適用性を確認した。



### 3.5.2 妥当性確認

本解析プログラムの妥当性について、以下のとおり確認した。

- ・ 本解析コードは、国内の土木・建築分野における使用実績を有しており、十分に妥当性が確認されている。
- ・ 検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、検証の結果をもって、解析機能の妥当性も確認できる。
- ・ 本工事計画で使用する地震応答解析及び応力解析の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

### 3.5.3 評価結果

以上の検証結果及び妥当性確認結果により、本解析コードを、津波防護施設及び屋外重要土木構造物の応力解析に使用することは妥当である。

ここで,

$A_s$  : 鉄筋量 (1192 mm<sup>2</sup>)

$k$  : 0.355

$j$  : 0.882

解析コードの検証結果を図3-4に、理論式による手計算結果と解析コードの結果の比較を表3-2に示す。検証の結果、手計算結果と解析コード結果がおおむね一致することを確認した。

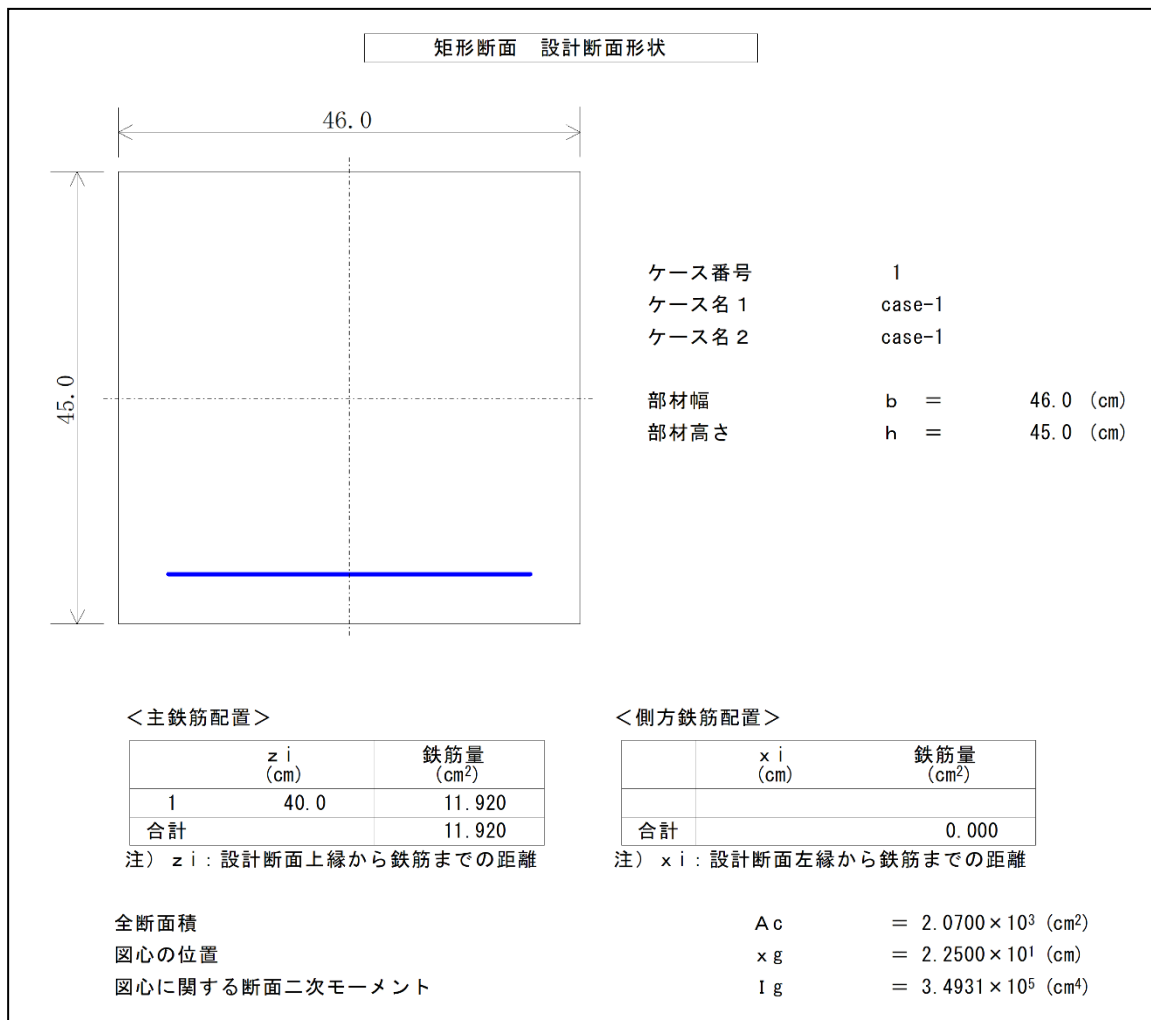


図3-4 (1) 解析コードの検証結果

表3-2 理論式による手計算結果と解析コードの結果の比較

項目	理論値 (N/mm <sup>2</sup> )	解析コード結果 (N/mm <sup>2</sup> )
鉄筋曲げ $\sigma_s$	114.14	114.15
コンクリート圧縮 $\sigma'_c$	4.17	4.18

### 3.5.2 妥当性確認

以上に述べた様に、本解析コードは、材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）について理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解とおおむね一致することを確認した。

また、上記以外にも、開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工認申請で使用する矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）に、本解析コードが適用できることを確認している。

### 3.5.3 評価結果

以上から本解析コードを今回の解析に使用することは妥当である。

第 7-2-3-2-1~2 図 換気設備に係る主配管の配置を明示した図面（緊急時対策所換気空調系）  
別紙 2

工事計画記載の公称値の許容範囲

[緊急時対策所換気空調系の主配管]

管NO.1\*1

主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
外径	60.5	±1%	J I S G 3 4 5 9による材料公差
厚さ	3.9	<input type="text"/> % -0.5mm	【プラス側公差】 製造能力，製造実績を考慮したメーカー基準 【マイナス側公差】 J I S G 3 4 5 9による材料公差

管NO.1\*1 - 管継手

主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
外径	60.5	+1.6mm -0.8mm	J I S B 2 3 1 2による材料公差
厚さ	3.9	+規定しない -12.5%	同上

管NO.2\*1 - 管継手

主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
外径	61.1*2	+0.3mm 0mm	J I S B 2 3 1 6による材料公差
厚さ	6.1*3	最小 6.1mm	同上

管NO.3\*1

主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
外径	76.3	±1%	J I S G 3 4 5 9による材料公差
厚さ	5.2	<input type="text"/> % -12.5%	【プラス側公差】 製造能力，製造実績を考慮したメーカー基準 【マイナス側公差】 J I S G 3 4 5 9による材料公差

工事計画記載の公称値の許容範囲（続き）

[緊急時対策所換気空調系の主配管（続き）]

管NO.3\*1 - 管継手

主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
外径	76.3	+1.6mm -0.8mm	J I S B 2 3 1 2による材料公差
厚さ	5.2	+規定しない -12.5%	同上

管NO.4\*1 - 管継手

主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
外径	114.3	±1.6mm	J I S B 2 3 1 2による材料公差
厚さ	6.0	+規定しない -12.5%	同上

管NO.5\*1

主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
外径	318.5	±1%	J I S G 3 4 5 9による材料公差
厚さ	10.3	<input type="text"/> % -12.5%	【プラス側公差】 製造能力，製造実績を考慮したメーカ基準 【マイナス側公差】 J I S G 3 4 5 9による材料公差

管NO.5\*1 - 管継手

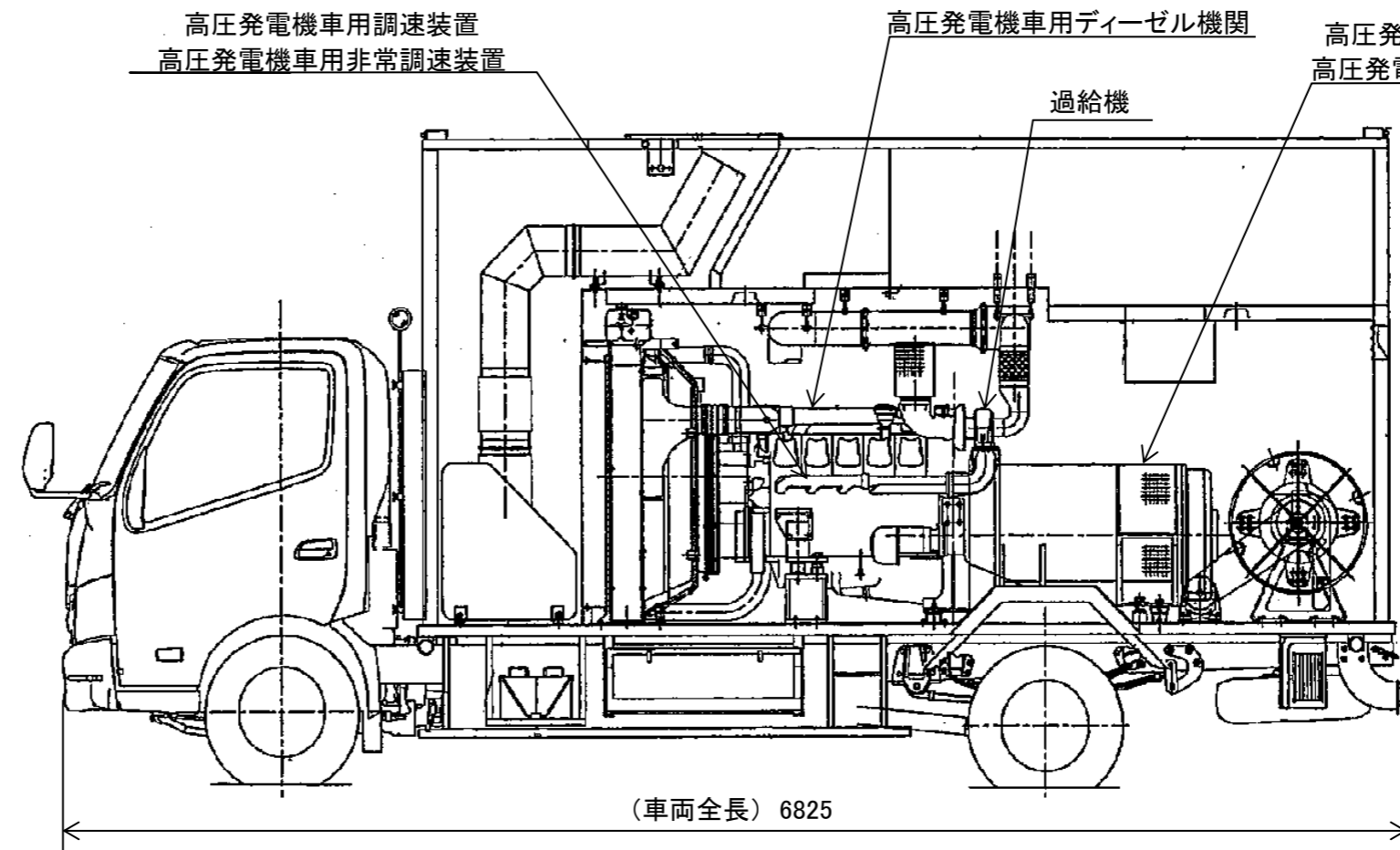
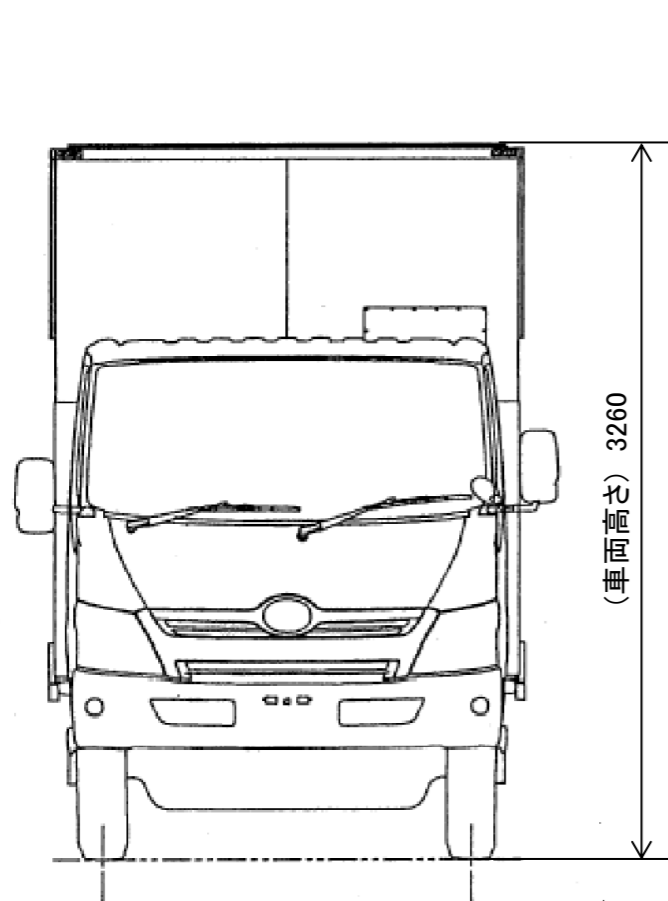
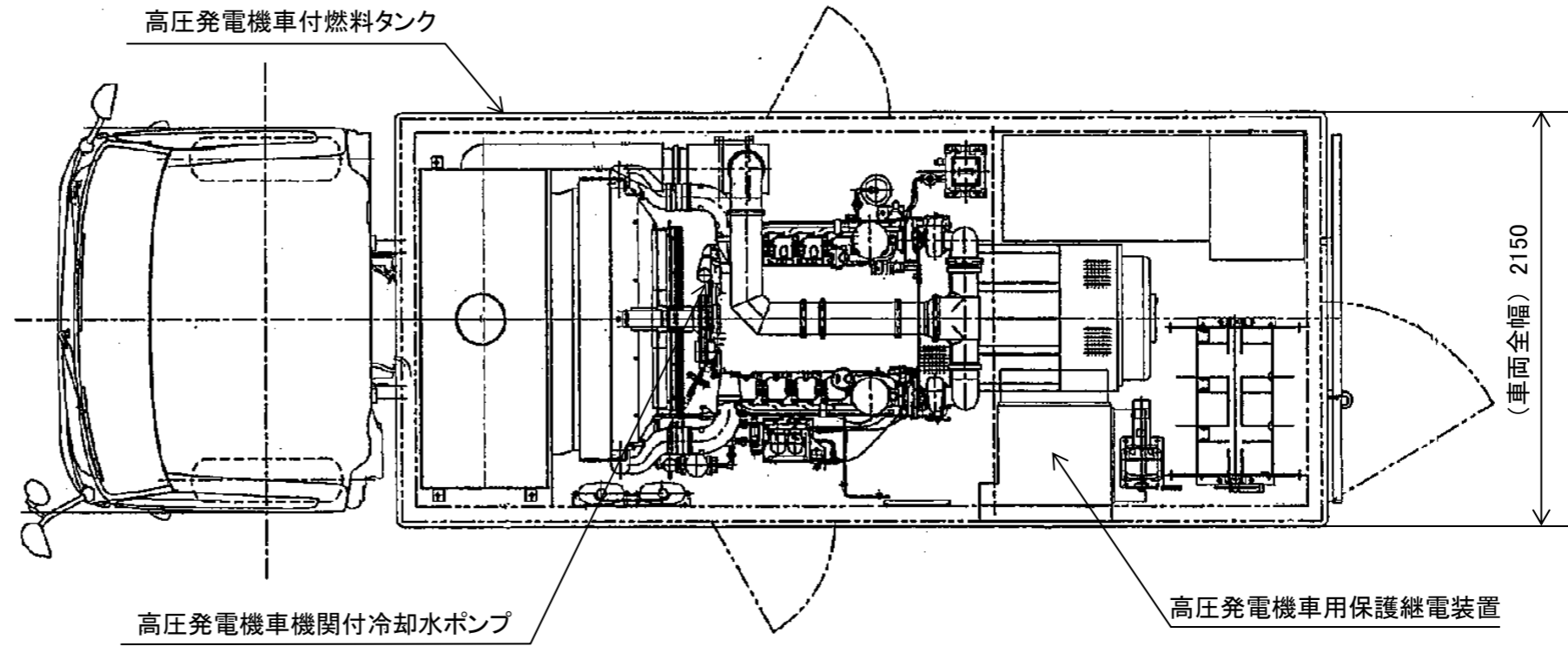
主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
外径	318.5	+4.0mm -3.2mm	J I S B 2 3 1 2による材料公差
厚さ	10.3	+規定しない -12.5%	同上

注：主要寸法は，工事計画記載の公称値

注記\*1：管の基本板厚計算書のNO.を示す。

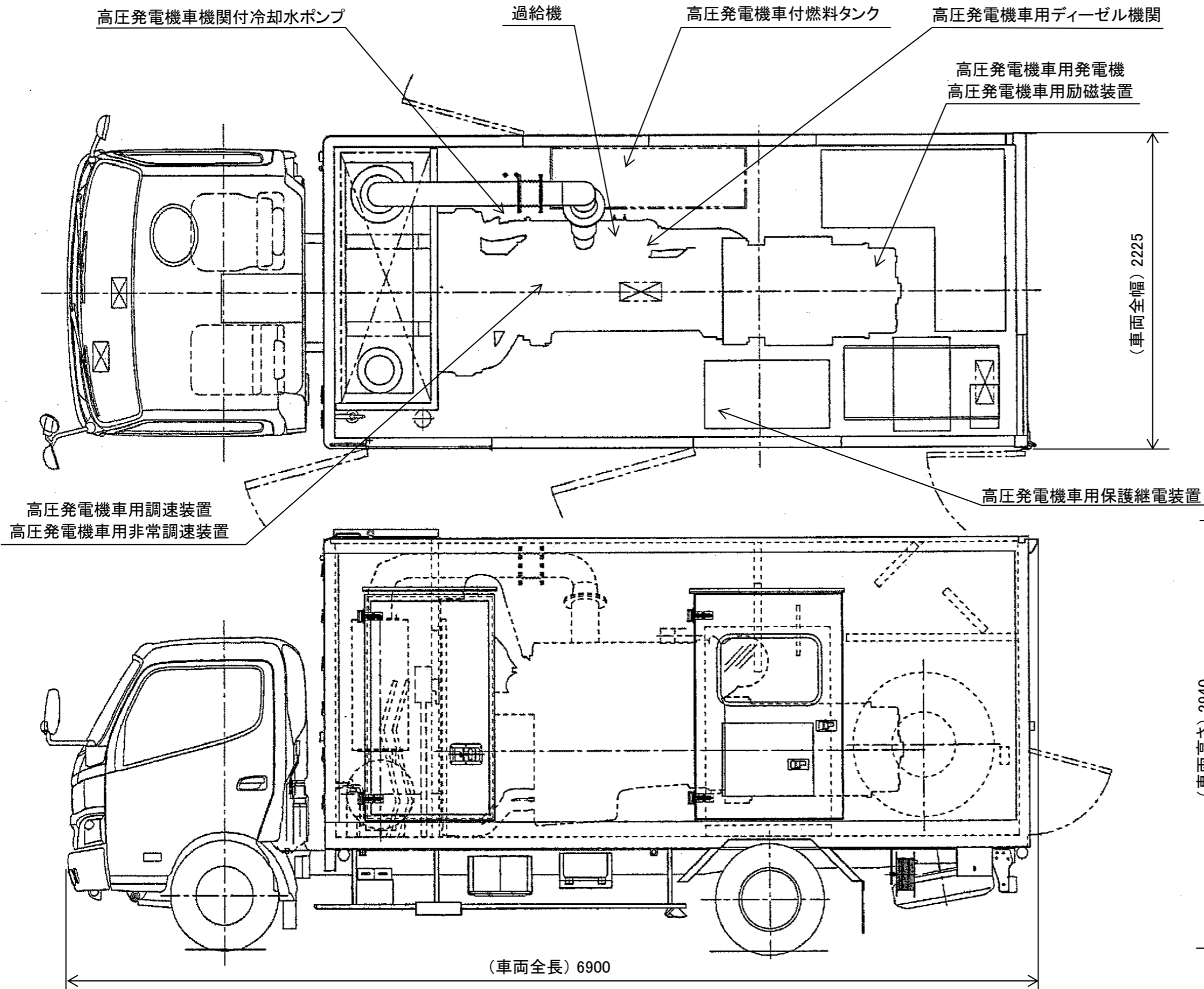
\*2：差込み継手の差込み部内径を示す。

\*3：差込み継手の差込み部最小厚さを示す。



注1: 寸法はmmを示す。  
 注2: 特記なき寸法は公称値を示す。  
 注3: 本図は機関出力440kW/個の高圧  
 発電機車を示す。

工事計画認可申請	第9-1-1-4-3-1図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	高圧発電機車構造図(その1)
中国電力株式会社	

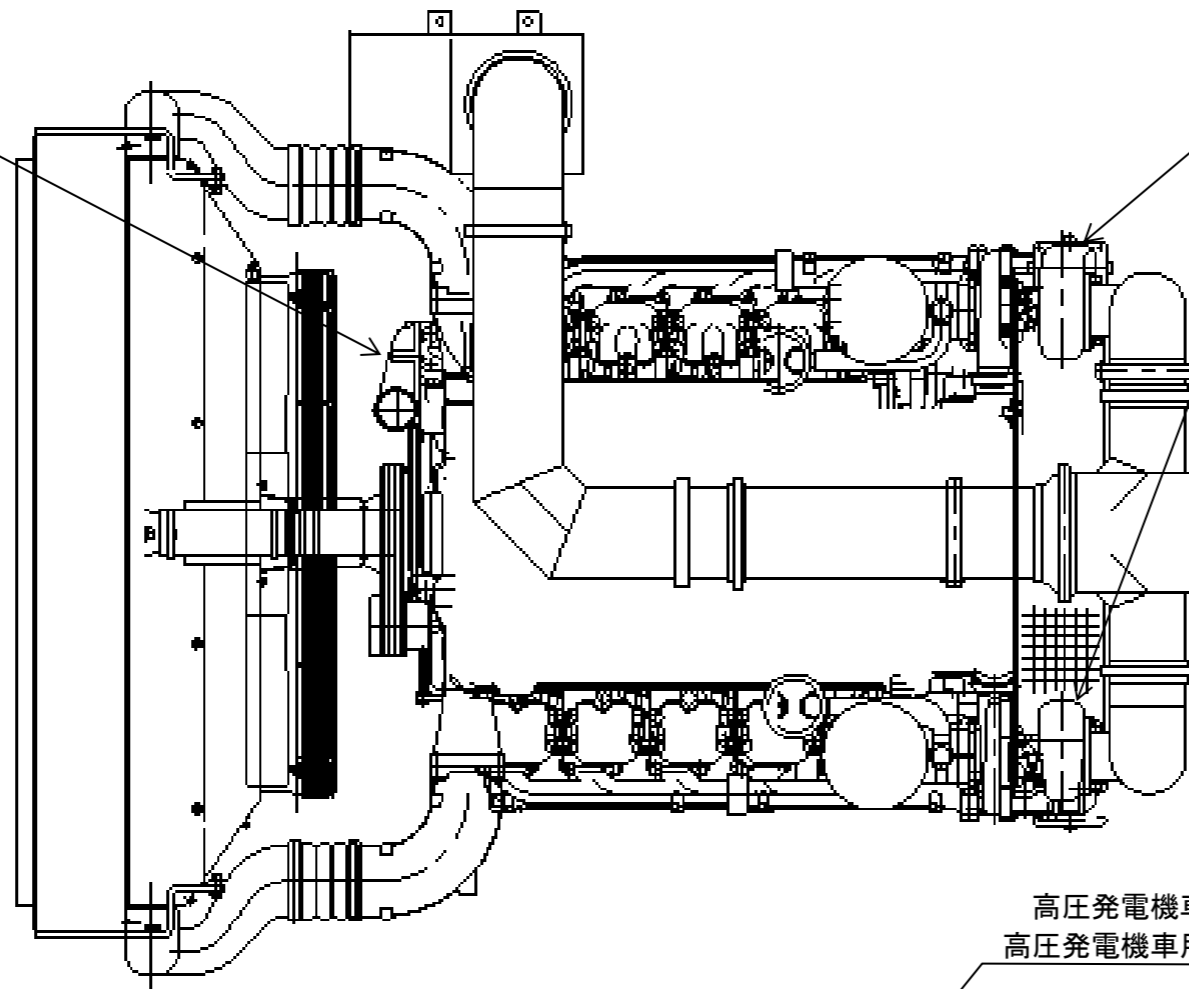


注1: 寸法はmmを示す。  
 注2: 特記なき寸法は公称値を示す。  
 注3: 本図は機関出力485kW/個の高圧発電機車を示す。

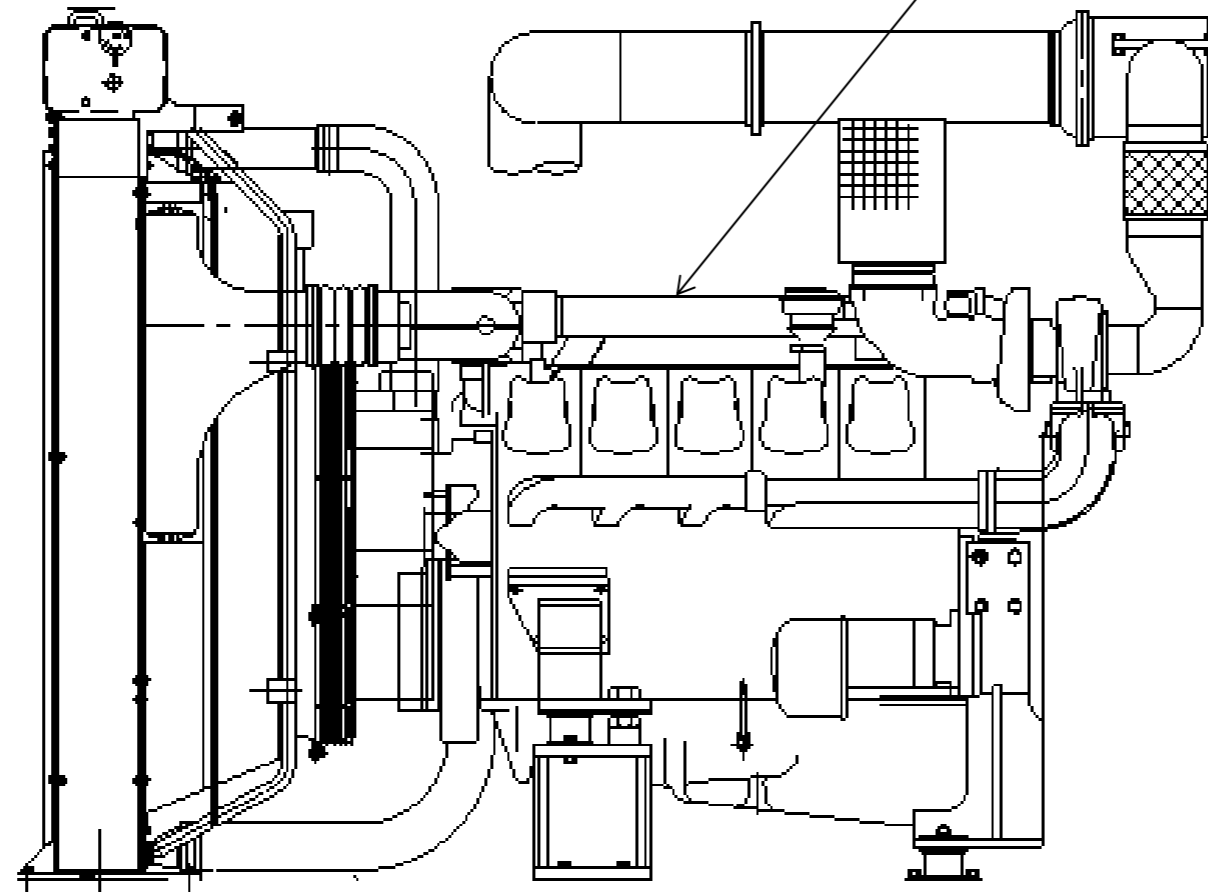
工事計画認可申請	第9-1-1-4-3-2図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	高圧発電機車構造図(その2)
中国電力株式会社	

高圧発電機車機関付冷却水ポンプ

過給機



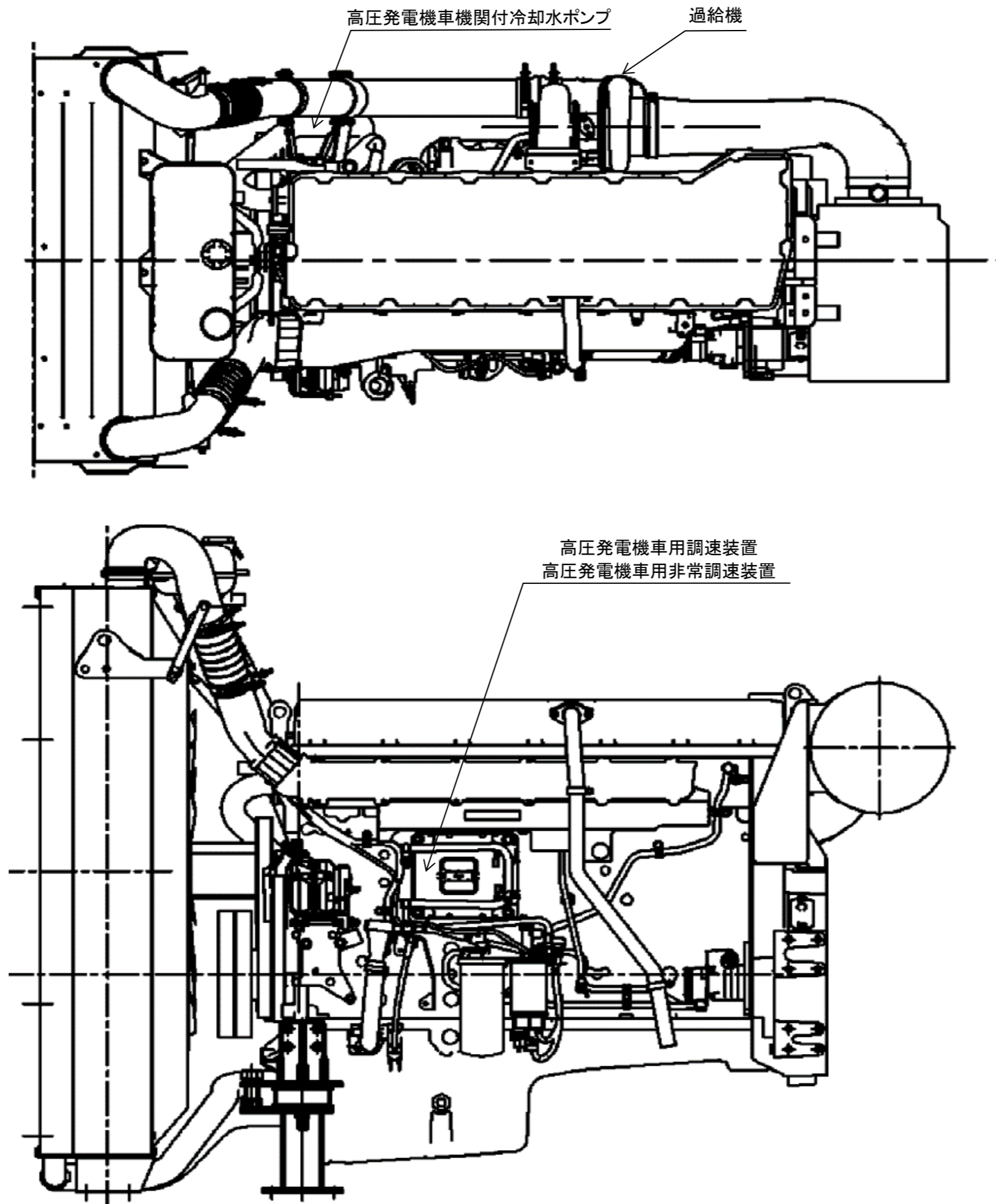
高圧発電機車用调速装置  
高圧発電機車用非常调速装置



注1:本図は機関出力440kW/個の高圧発電機車に使用する高圧発電機車ディーゼル機関を示す。

工事計画認可申請	第9-1-1-4-3-3図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	高圧発電機車用 ディーゼル機関構造図 (その1)
中国電力株式会社	

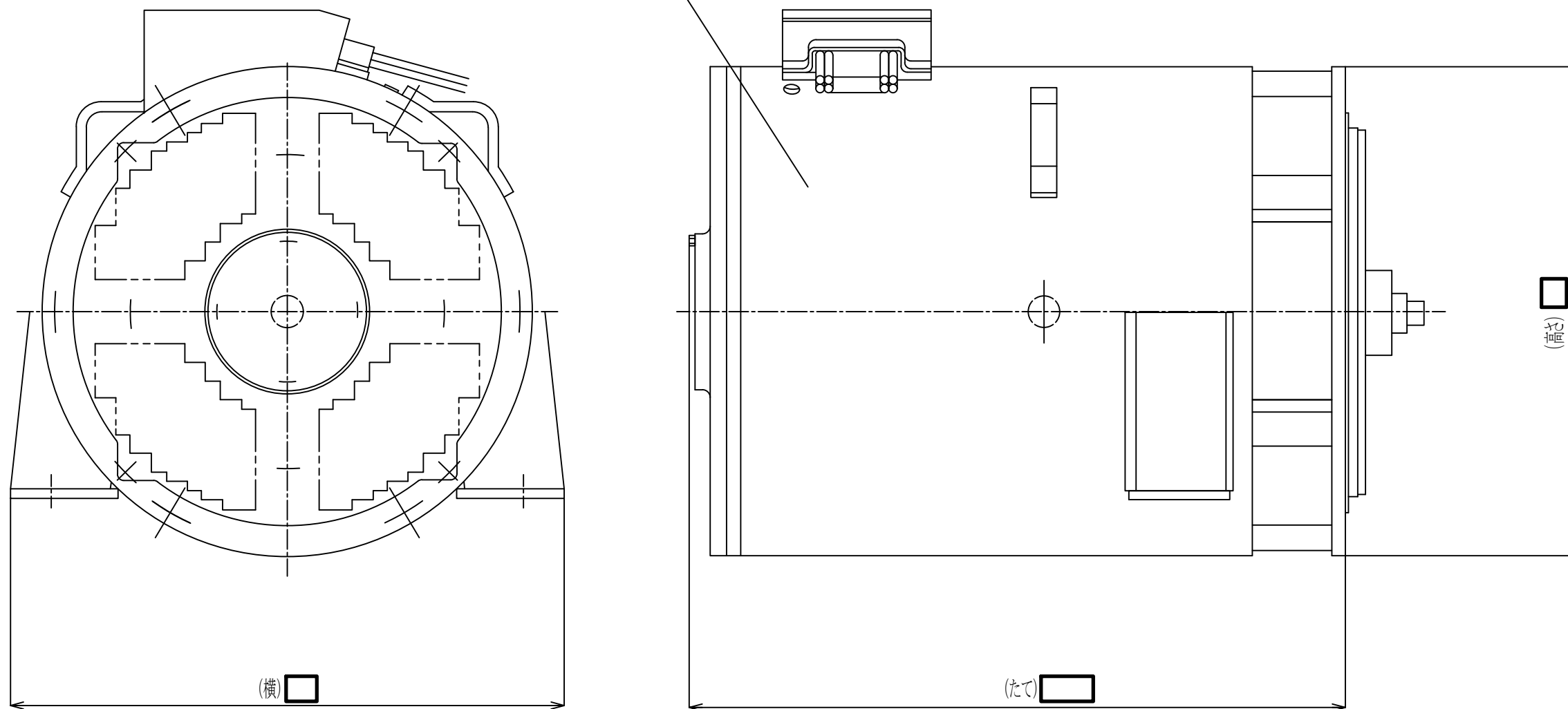




注1: 本図は機関出力485kW/個の高圧発電機車に使用する高圧発電機車ディーゼル機関を示す。

工事計画認可申請	第9-1-1-4-3-4図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	高圧発電機車用 ディーゼル機関構造図 (その2)
中国電力株式会社	

緊急時対策所用発電機用励磁装置





注1:寸法はmmを示す。  
 注2:特記なき寸法は公称値を示す。

工事計画認可申請	第9-1-1-6-3-7図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	緊急時対策所用発電機用発電機構造図
中国電力株式会社	

第 9-1-1-6-3-7 図 緊急時対策所用発電機用発電機構造図 別紙

工事計画記載の公称値の許容範囲







[緊急時対策所用発電機用発電機]

主要寸法 (mm)	許容範囲	根拠
たて 	 mm	製造能力，製造実績を考慮したメーカー基準
横 	 mm	同上
高さ 	 mm	同上

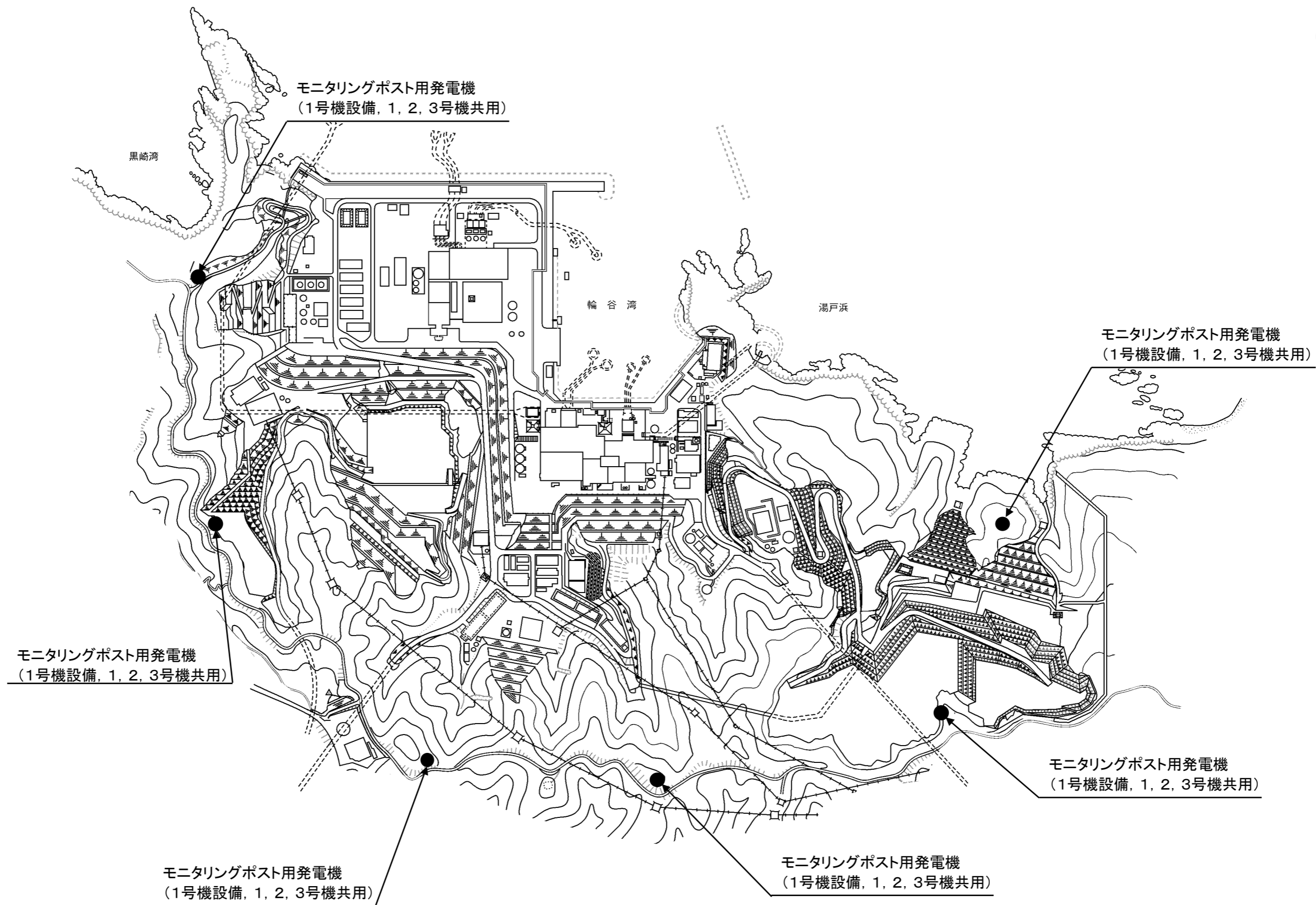
注：主要寸法は，工事計画記載の公称値

第 9-1-2-2-2-10 図 主蒸気逃がし安全弁用蓄電池（補助盤室）構造図 別紙  
 工事計画記載の公称値の許容範囲

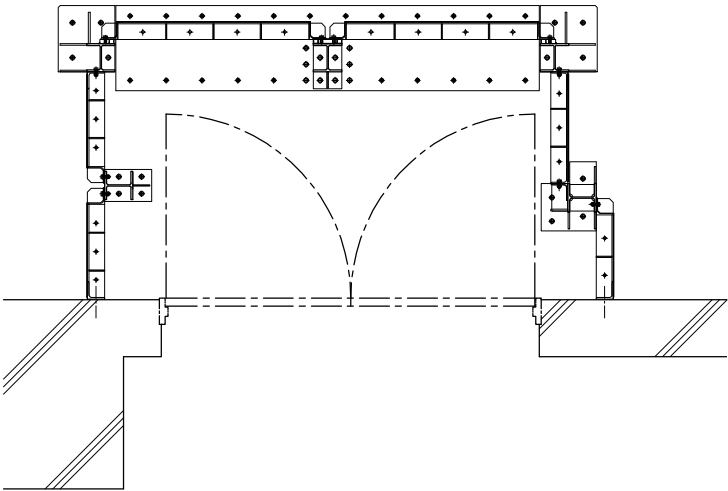
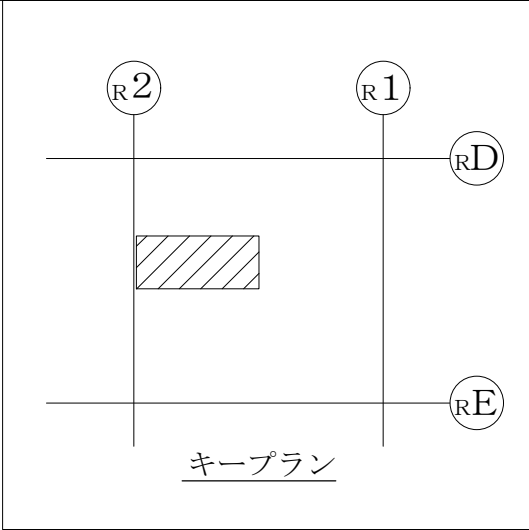
[主蒸気逃がし安全弁用蓄電池（補助盤室）]

主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
たて		 mm	製造能力，製造実績を考慮したメーカー基準
横		 mm	同上
高さ		 mm	同上

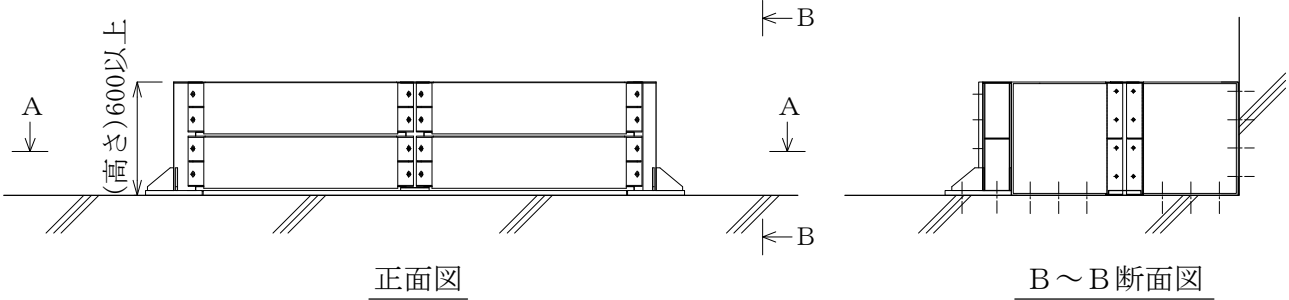
注：主要寸法は，工事計画記載の公称値



工事計画認可申請		第9-2-1-1図
島根原子力発電所 第2号機		
名称	常用電源設備に係る機器の配置を明示した図面(その1)	
中国電力株式会社		



A~A断面図

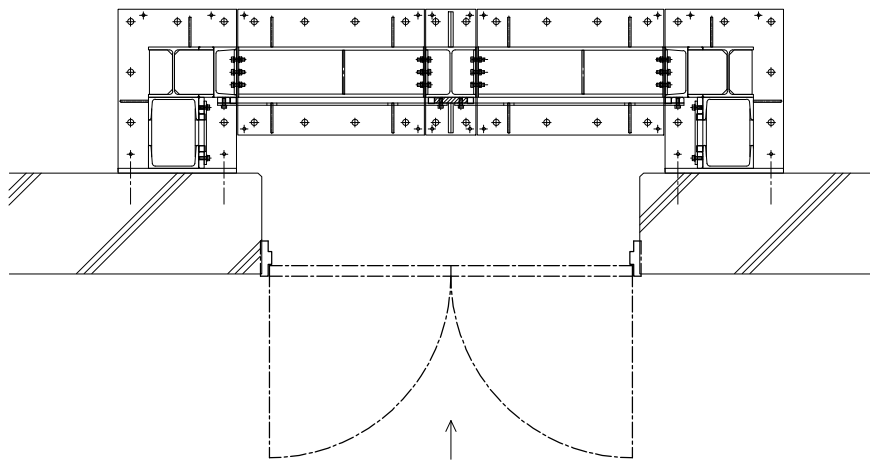
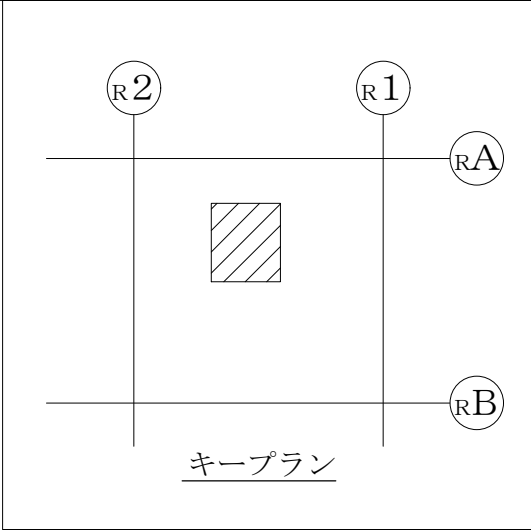


正面図

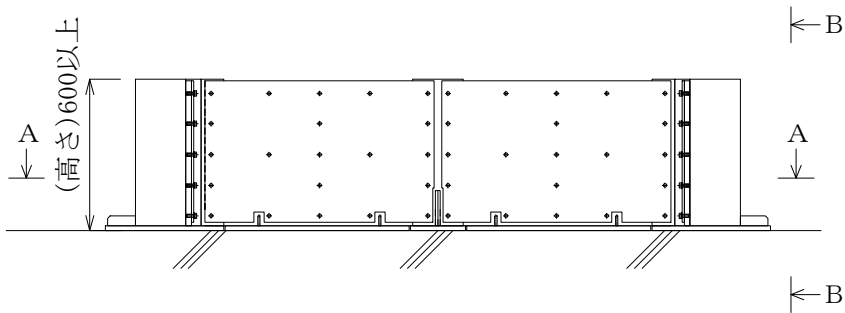
B~B断面図

注：寸法はmmを示す。

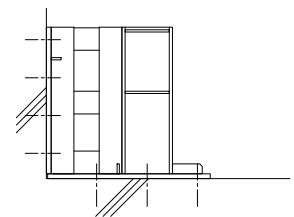
工事計画認可申請	第9-4-2-2-3-20 図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	原子炉建物 2階 A-非常用 電気室南側浸水防止堰構造図
中国電力株式会社	



A~A断面図



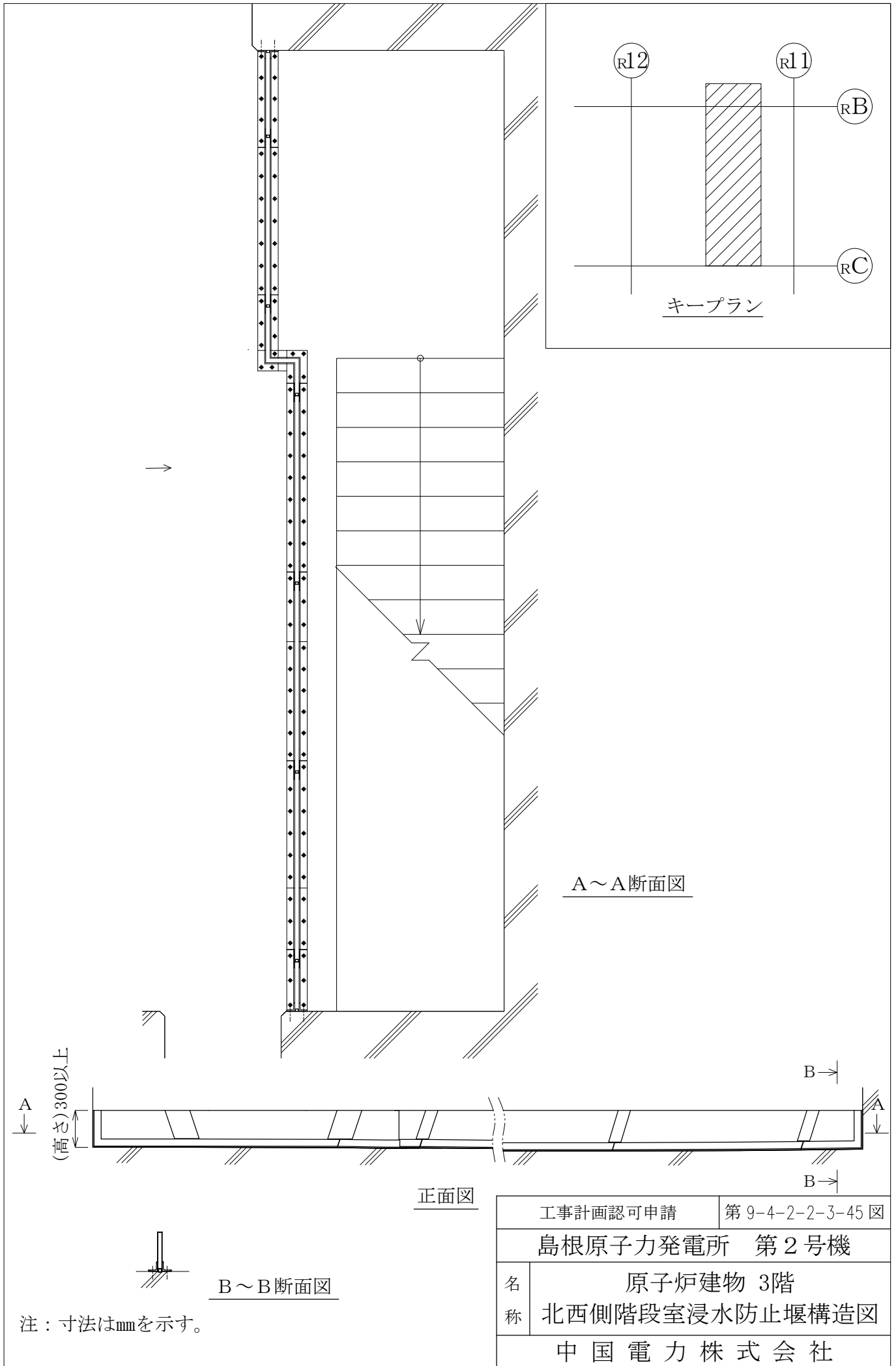
正面図



B~B断面図

注：寸法はmmを示す。

工事計画認可申請	第9-4-2-2-3-28図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	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構造図
中国電力株式会社	



A～A断面図

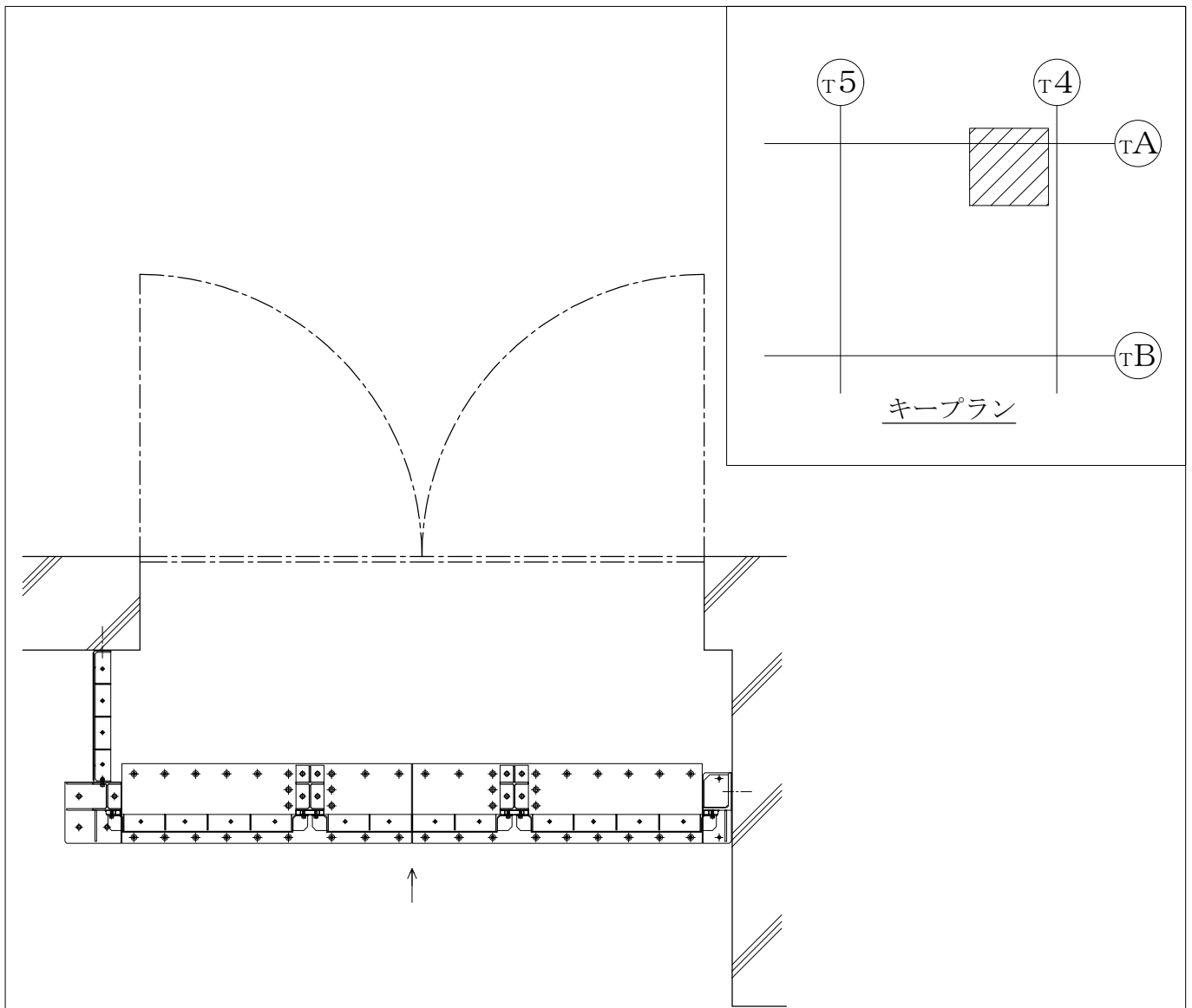
正面図

B～B断面図

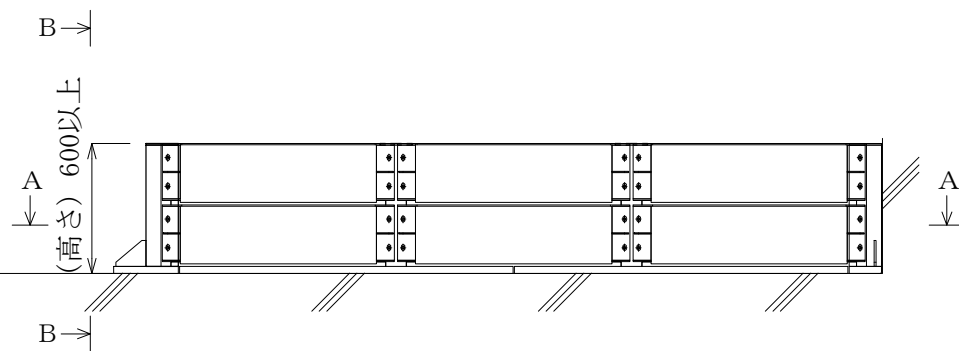
注：寸法はmmを示す。

工事計画認可申請	第9-4-2-2-3-45図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	原子炉建物 3階 北西側階段室浸水防止堰構造図
中国電力株式会社	

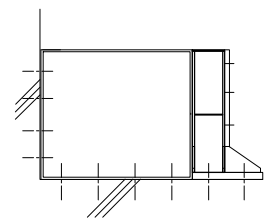




A~A断面図



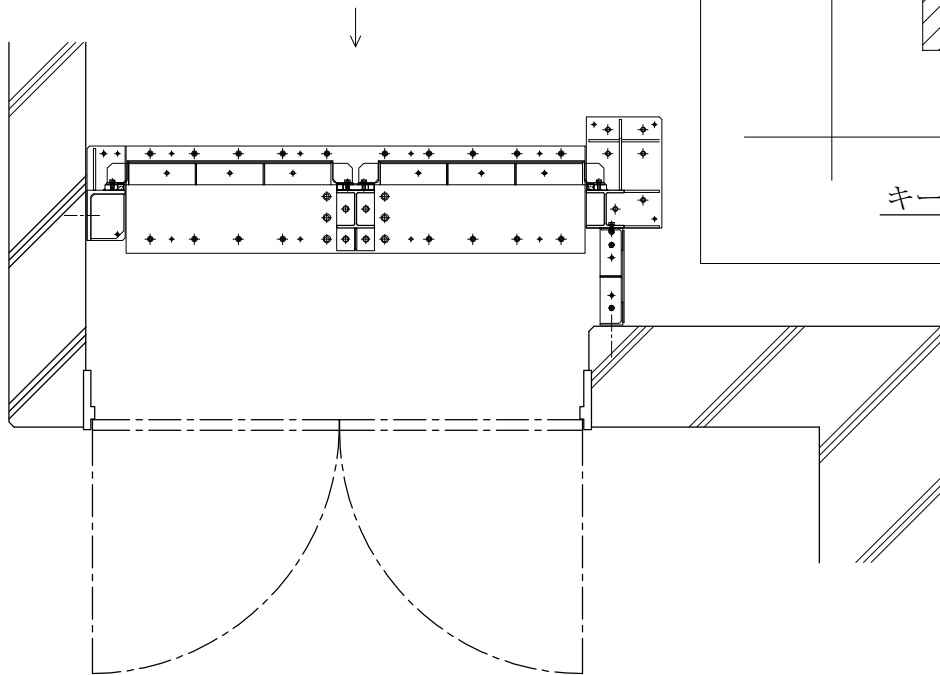
正面図



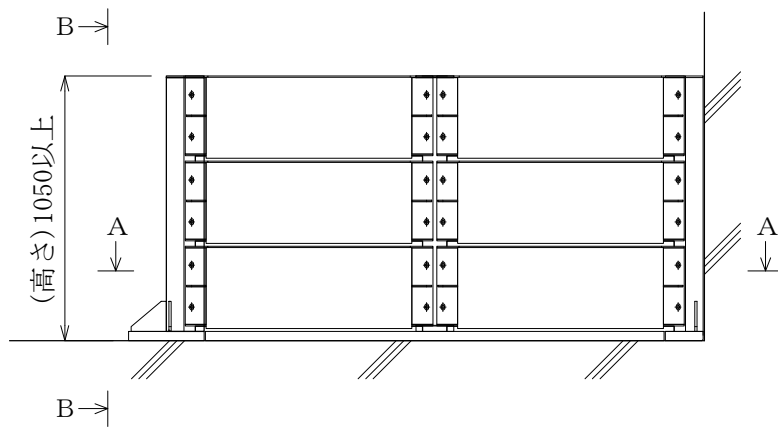
B~B断面図

注：寸法はmmを示す。

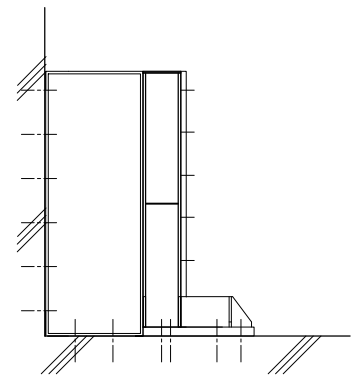
工事計画認可申請	第9-4-2-2-3-61図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	タービン建物 3階 タービン建物 送風機室南側浸水防止堰構造図
中国電力株式会社	



A~A断面図



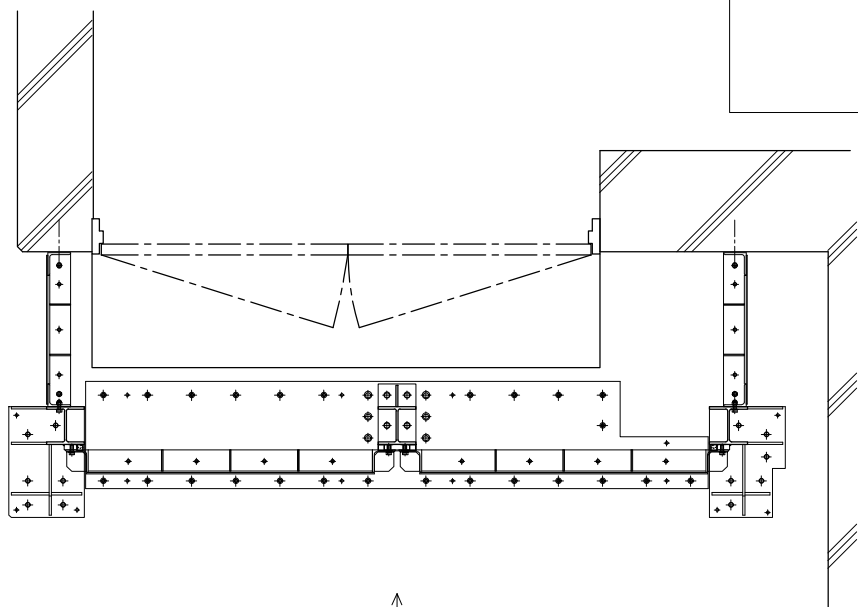
正面図



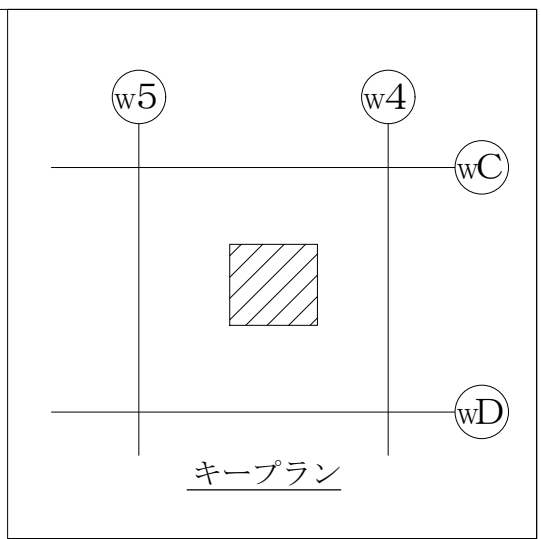
B~B断面図

注：寸法はmmを示す。

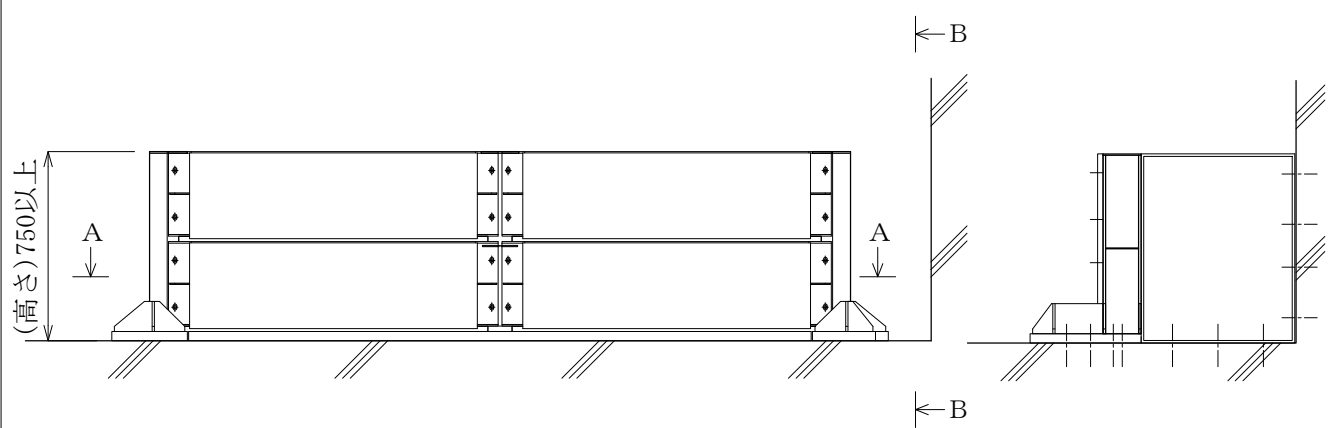
工事計画認可申請	第9-4-2-2-3-79 図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	廃棄物処理建物 4階 廃棄物処理建物 送風機室南側浸水防止堰(非管理区域側)構造図
中国電力株式会社	



A~A断面図



キープラン

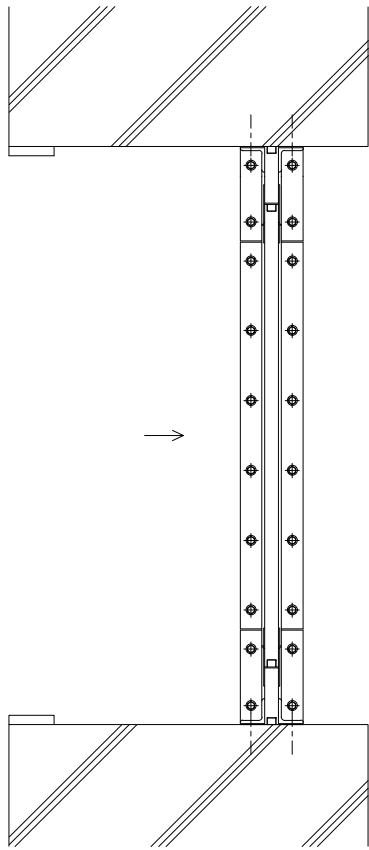


正面図

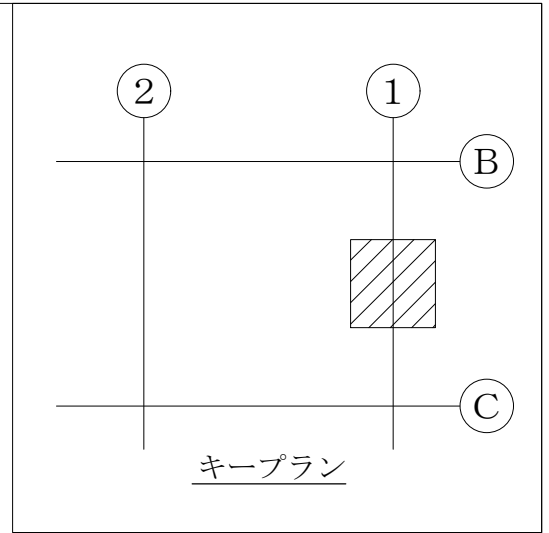
B~B断面図

注：寸法はmmを示す。

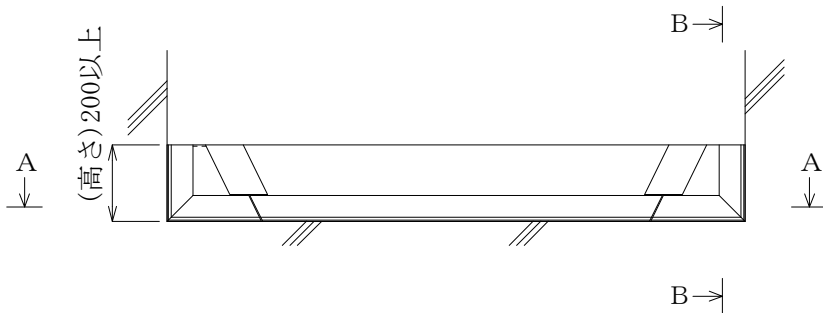
工事計画認可申請	第9-4-2-2-3-80図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	廃棄物処理建物 4階 廃棄物処理建物 送風機室南側浸水防止堰(管理区域側)構造図
中国電力株式会社	



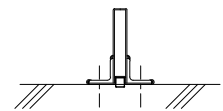
A~A断面図



キープラン



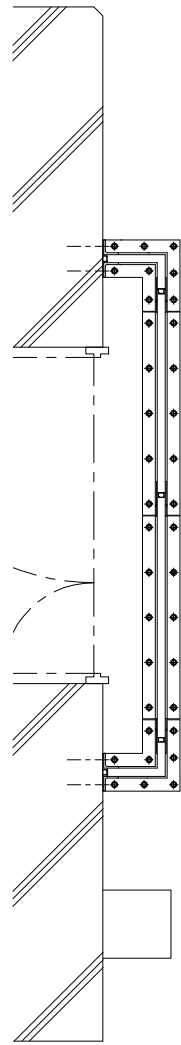
正面図



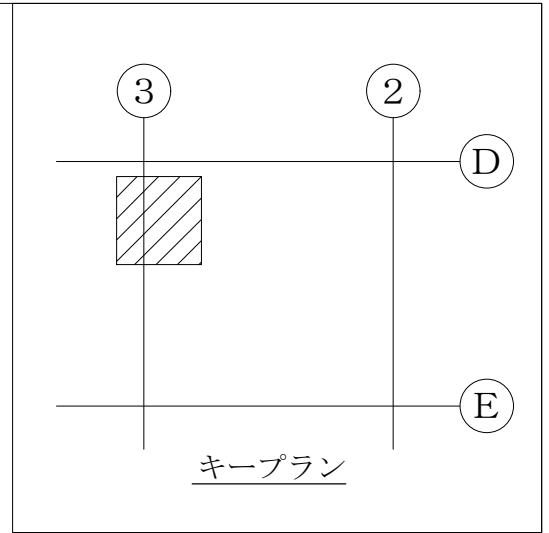
B~B断面図

注：寸法はmmを示す。

工事計画認可申請		第9-4-2-2-3-86 図
島根原子力発電所 第2号機		
名称	サイトバンカ建物 1階 建物出入口浸水防止堰構造図	
中国電力株式会社		

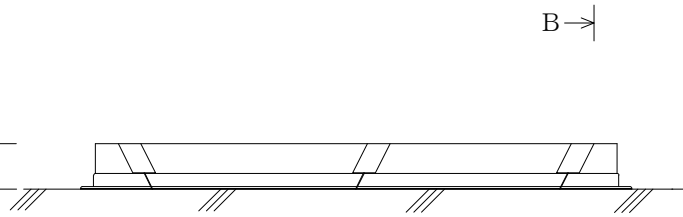


A~A断面図



(高さ)200以上

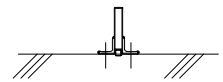
A ↓



正面図

B →

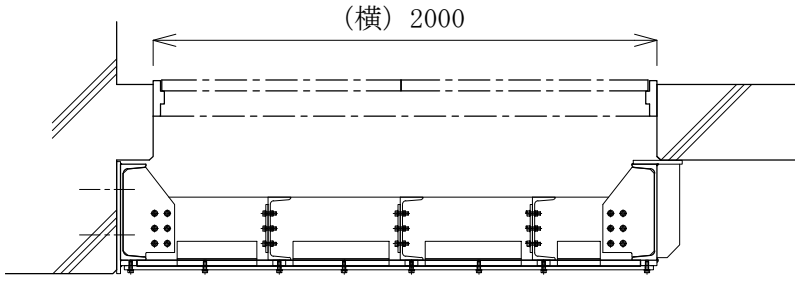
A ↓



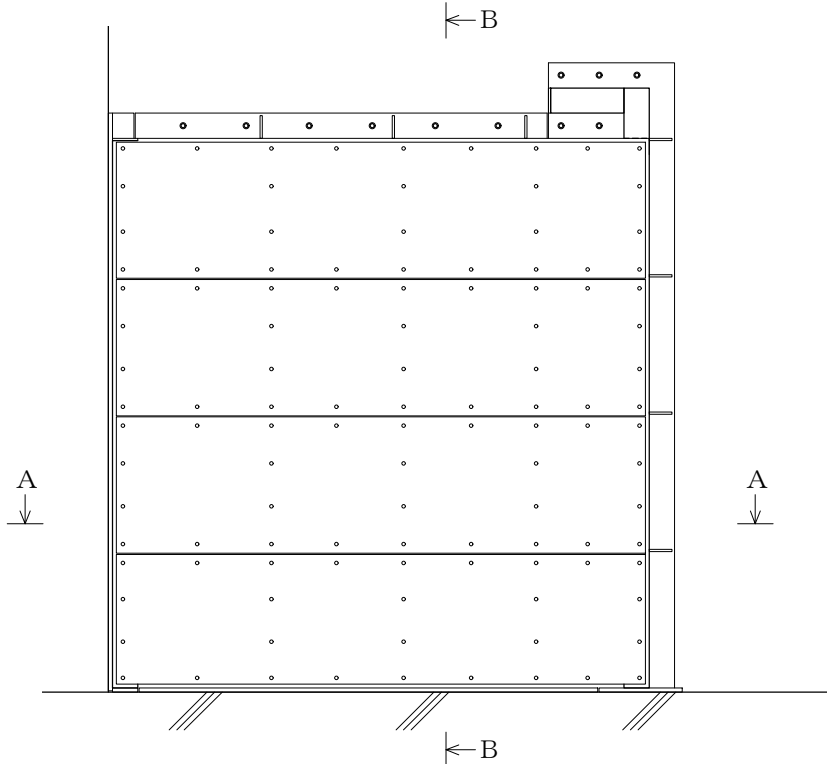
B~B断面図

注：寸法はmmを示す。

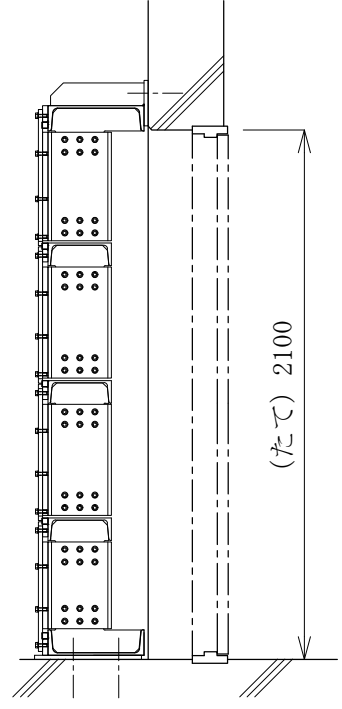
工事計画認可申請	第9-4-2-2-3-92 図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室南西側浸水防止堰構造図
中国電力株式会社	



↑  
A~A断面図



正面図



B~B断面図

注1：寸法はmmを示す。  
注2：特記なき寸法は公称値を示す。

工事計画認可申請	第 9-4-2-2-4-3 図
島根原子力発電所 第2号機	
名称	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)構造図
中国電力株式会社	