

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-815 改2
提出年月日	平成30年7月24日

V-3-別添 3-2-4-5 緊急用海水ポンプ点検用開口部

浸水防止蓋の強度計算書

## 目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	2
2.1 位置.....	2
2.2 構造概要.....	3
2.3 評価方針.....	4
2.4 適用規格.....	5
3. 強度評価方法.....	6
3.1 記号の定義.....	6
3.2 評価対象部位.....	7
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	8
3.4 許容限界.....	9
3.5 評価方法.....	10
4. 評価条件.....	15
5. 強度評価結果.....	16

## 1. 概要

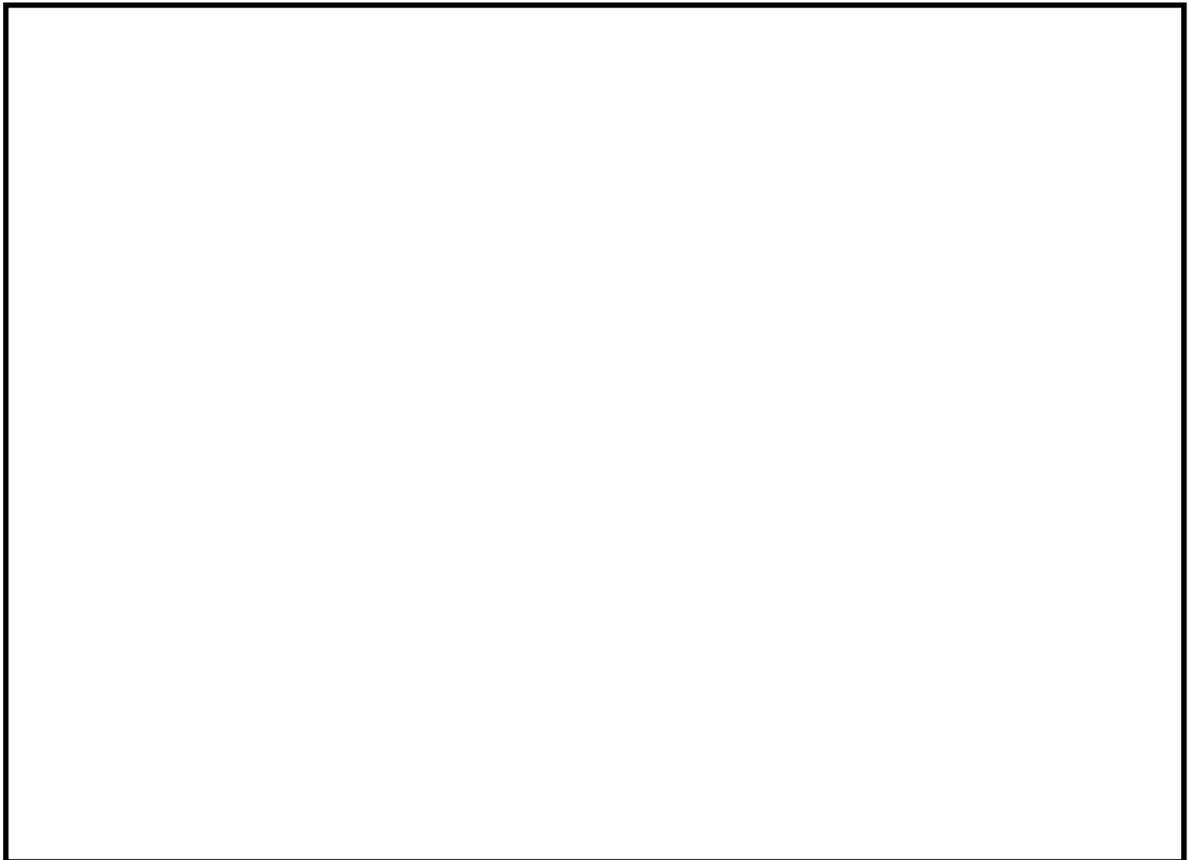
本資料はV-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護設備のうち緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋が津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は、海水ポンプ点検用ピット最上部のスラブ部分（頂版部）に設置する。

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の設置位置図を図 2-1 に示す。



## 2.2 構造概要

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の構造は、長方形の鋼板に主桁（溝形鋼）及び補助桁（T形鋼）を組合せた構造とする。

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は、本体を海水ポンプ点検用ピット最上部のスラブ部分（頂版部）に設置する固定ボルトで固定する。緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の構造概要図を図 2-2 に示す。



図 2-2 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の構造概要

### 2.3 評価方針

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の強度計算は、緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の評価対象部位に作用する応力が許容限界以下であることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の強度評価では、津波襲来時に余震が発生することを想定し、津波荷重及び余震荷重を考慮した強度評価を実施する。強度評価フローを図 2-3 に示す。

また、上記評価を実施するにあたり、緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋をモデル化した固有値解析を行う。

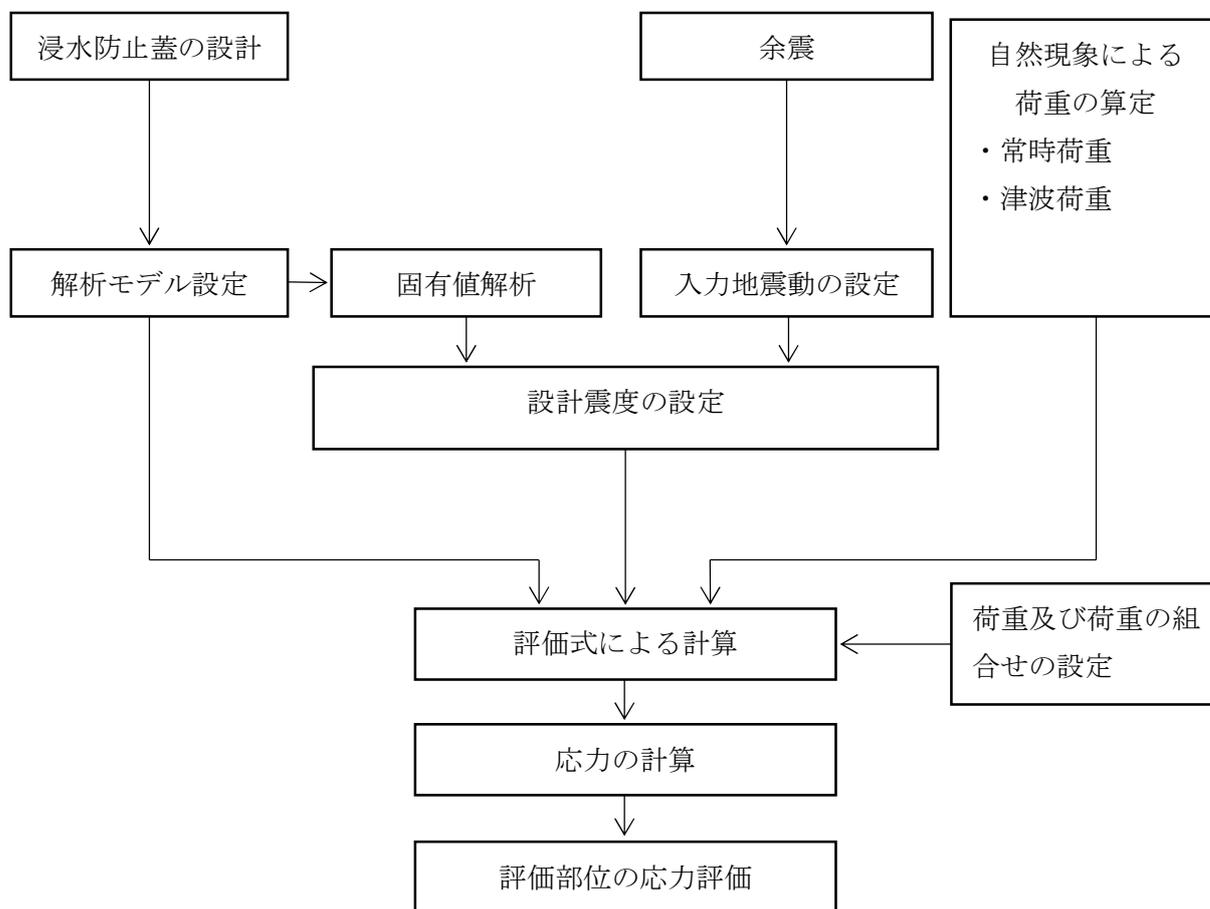


図 2-3 強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- 日本工業規格 (J I S)
- ダム・堰施設技術基準 (案) (基準解説編・マニュアル編) ((社) ダム・堰施設技術協会, 平成 25 年 6 月)

### 3. 強度評価方法

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の強度評価は、「3.2 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.4 許容限界」に示す荷重の種類及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「3.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。なお、評価は、津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（重畳時）にて行うものとする。

#### 3.1 記号の定義

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の強度計算に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の強度計算に用いる記号

記号	単位	定義
$W_0$	kg/m <sup>3</sup>	海水の密度
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
$K$	G	余震時設計震度
$H$	m	津波水位 (T.P.)
$h$	m	津波時設計水深
$q$	kN/m <sup>2</sup>	津波時静水圧
$m_s$	kg	積雪荷重による質量
$P_s$	N	積雪荷重
$A_s$	m <sup>2</sup>	積雪面積
$w_s$	Pa	積雪量 1cm ごとの積雪荷重
$d_s$	cm	垂直積雪量
$\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	日本工業規格に規定される材料の設計降伏点
$\sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	日本工業規格に規定される材料の設計引張強さ
$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	許容圧縮応力度, 許容引張応力度, 許容曲げ応力度 ダム・堰施設技術基準 (案) $\sigma_a = \sigma_y / F$
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	許容せん断応力度 ダム・堰施設技術基準 (案) $\tau_a = \sigma_a / \sqrt{3}$

### 3.2 評価対象部位

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造を踏まえて、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

なお、緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の強度計算における評価対象部位は、浸水防止蓋及び固定ボルトとする。

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

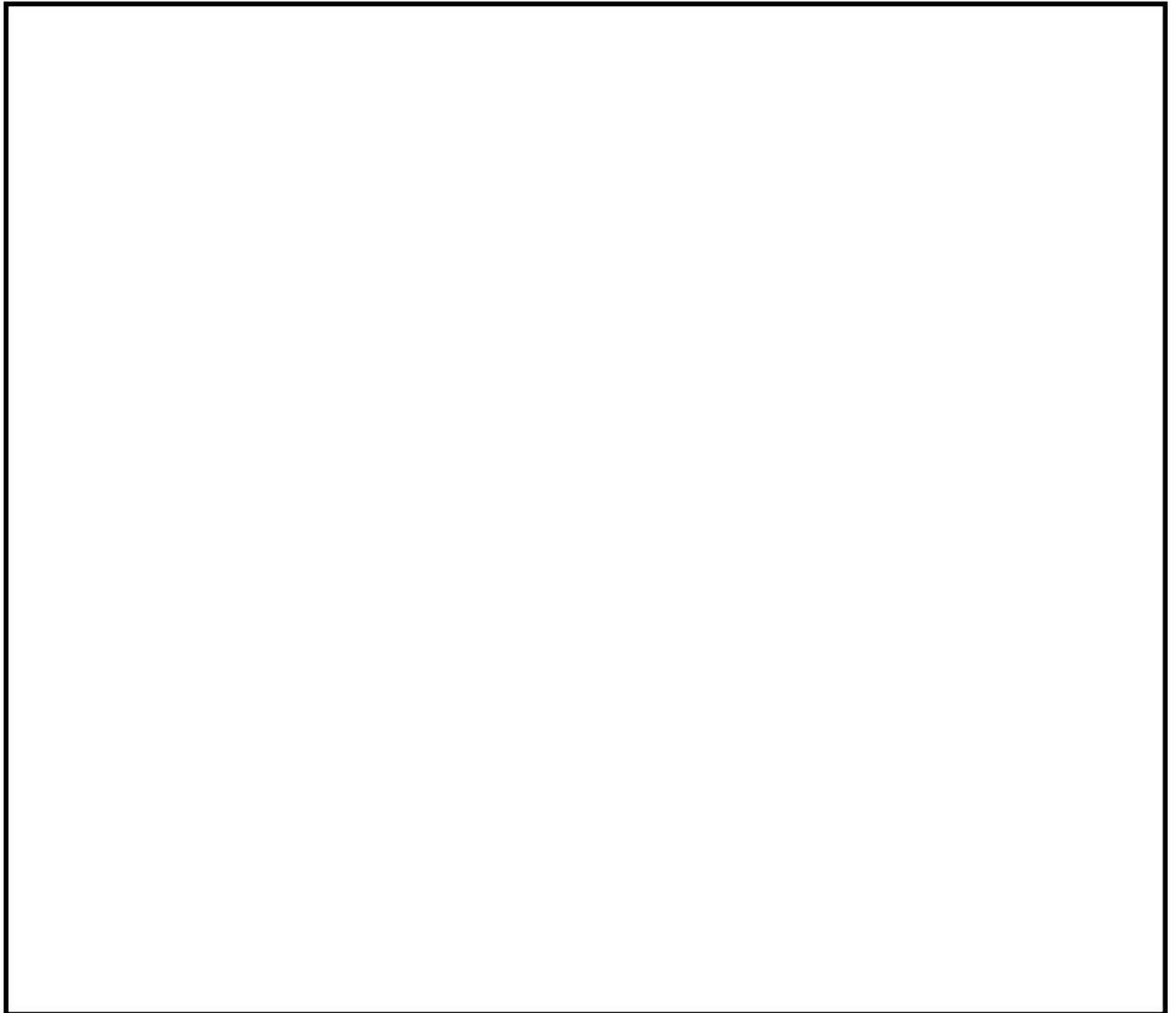


図 3-1 評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の種類及び荷重の組合せに関して以下に示す。

#### 3.3.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

##### (1) 常時作用する荷重 (D)

常時作用する荷重として、自重Dを考慮する。自重Dについては、緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の構成部材の質量を用いる。

##### (2) 浸水津波荷重 ( $P_h$ )

津波時静水圧を考慮して算出した設計水圧と各部材の受圧面積から各部材の津波荷重を算出する。

##### (3) 余震荷重 ( $S_d$ )

余震荷重として、弾性設計用地震動  $S_d-D1$  による地震力を考慮する。

余震荷重  $S_d$  は、緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋に作用する余震による慣性力を考慮する。

##### (4) 積雪荷重 ( $P_s$ )

積雪荷重  $P_s$  については、30 cm の積雪量を想定する。

#### 3.3.2 荷重の組合せ

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は、緊急用海水ポンプ点検用ピット最上部の頂版部に設置されているため、風荷重の影響は考慮しない。

荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防止設備	緊急用海水ポンプ点検用 開口部浸水防止蓋	$D + P_h + S_d + P_s^{*1}$

注記 \*1: 自重 (D) 及び余震荷重 ( $S_d$ ) の組合せが、強度評価上、浸水津波荷重 ( $P_h$ ) を緩和する方向に作用する場合、保守的にこれらを組合せない評価を実施する。

### 3.4 許容限界

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の許容限界は、評価対象部位ごとに、「ダム・堰施設技術基準（案）」に規定される許容応力度を用いる。

各評価対象部位の許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 各評価対象部位の許容限界

状態	許容限界*1, *2				
	浸水防止蓋			固定ボルト	
	一次応力			一次応力	
短期	曲げ	せん断	組合せ	引張	せん断
	$1.5\sigma_a$	$1.5\tau_a$	$1.65\sigma_a$	$1.5\sigma_a$	$1.5\tau_a$

注記 \*1:「ダム・堰施設技術基準（案）」に準じ、短期時許容値割増 1.5 または 1.65 とする。

\*2:  $\sigma_a$ : 許容曲げ応力度,  $\tau_a$ : 許容せん断応力度

### 3.5 評価方法

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の強度評価は、津波荷重や余震荷重による各部材の発生応力が許容限界以下であることを確認するものとする。

#### 3.5.1 荷重条件

##### (1) 固定荷重 (D)

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の構成部材の質量を用いる。

##### (2) 浸水津波荷重 (P<sub>h</sub>)

津波時の水圧は、静水圧と動水圧の2つを考慮するものとする。静水圧  $q$  及び動水圧  $q'$  はそれぞれ以下のとおりとする。

$$q = h \cdot W_0$$

$$q' = K_v \cdot h \cdot W_0$$

##### (3) 余震荷重 (S<sub>d</sub>)

余震荷重は、以下のとおりとする。

$$W_{hg} = K_h \cdot (D \cdot g + P_s)$$

$$W_{vg} = K_v \cdot (D \cdot g + P_s)$$

$$w_{vg} = W_{vg} / A$$

ここで、

$K_h$  : 余震時水平震度 (G)

$K_v$  : 余震時鉛直震度 (G)

$W_{hg}$  : 全体の水平地震荷重 (N)

$W_{vg}$  : 全体の鉛直地震荷重 (N)

$w_{vg}$  : 鉛直地震分布荷重 (N/mm<sup>2</sup>)

$D$  : 固定荷重による全体質量 (kg)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$P_s$  : 積雪荷重 (N)

$A$  : 浸水防止蓋の投影面積 (mm<sup>2</sup>)

##### (4) 積雪荷重 (P<sub>s</sub>)

積雪荷重  $P_s$  については、30 cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は次式を用いて算出する。

$$m_s = P_s \cdot A_s / g = 0.35 \cdot w_s \cdot d_s \cdot A_s / g$$

### 3.5.2 強度評価

以下に、評価対象部位ごとに、各評価対象部位に作用する応力及びその算出式等をまとめる。

#### (1) 浸水防止蓋

浸水防止蓋の荷重条件は、地震荷重を等分布荷重とし、浸水防止蓋を構成する主桁に発生する最大曲げモーメント及び最大せん断力は「ダム・堰施設技術基準（案）」に規定される計算式を用いる。

##### (a) 曲げ応力

津波時水圧により浸水防止蓋の主桁に発生する最大曲げ応力度  $\sigma$  は、次式により算出する。

$$\sigma = M / Z$$

ここで、

$\sigma$  : 最大曲げ応力度

$M$  : 主桁に発生する曲げモーメント

$Z$  : 主桁及び補助桁の断面係数

##### (b) せん断応力

浸水防止蓋の主桁に発生する最大せん断応力度  $\tau$  は次式により算出する。

$$\tau = S / A_w$$

ここで、

$\tau$  : 最大せん断応力度

$S$  : 主桁に発生する最大せん断力

$A_w$  : 主桁及び補助桁のウェブ断面積

##### (c) 組合せ応力

浸水防止蓋の主桁に発生する曲げ応力度  $\sigma_b$  及びせん断応力度  $\tau_b$  による組合せ荷重  $\sigma_{bm}$  を「ダム・堰施設技術基準(案)」記載の次式により算出する。

$$\sigma_{bm} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau_b^2}$$

#### (2) 固定ボルト

固定ボルトに作用する荷重は、固定ボルト設置位置及び間隔から浸水防止蓋に対する負担面積を設定し、鉛直方向荷重及び水平方向荷重に対して評価を行う。

##### (a) 引張応力

固定ボルト 1 本あたりの引張応力度  $\sigma_b$  は、次式により算出する。

$$\sigma_b = P_b / A_b$$

ここで、

$\sigma_b$  : 固定ボルト 1 本あたりの引張応力度

$P_b$  : 固定ボルト 1 本あたりに作用する引張応力  
 $A_b$  : 固定ボルトの有効断面積

(b) せん断応力

固定ボルト 1 本あたりのせん断応力度  $\tau_b$  は、次式により算出する。

$$\tau_b = S_b / A_b$$

ここで、

$\tau_b$  : 固定ボルト 1 本あたりのせん断応力度

$S_b$  : 固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断荷重

$A_b$  : 固定ボルトの有効断面積

(c) 組合せ応力

固定ボルトに発生する曲げ応力度  $\sigma_b$  及びせん断応力度  $\tau_b$  による組合せ荷重  $\sigma_{bm}$  を「ダム・堰施設技術基準(案)」記載の次式により算出する。

$$\sigma_{bm} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau_b^2}$$

### 3.5.3 固有値解析

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の耐震評価にあたり、「2.3 評価方針」に記載したとおり、当該設備をモデル化した固有値解析を実施する。

#### (1) 解析モデル

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の主桁を単純支持梁としてモデル化する。

#### (2) 固有振動数の計算

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は、主桁を単純支持梁としてモデル化し、評価を行う。「構造力学公式集（1988年）、土木学会」より、両端支持梁の一次固有振動数は次のとおり与えられる。

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

各記号の定義並びに評価に必要な諸元を表 3-4 に示す。

表 3-4 固有振動数の計算における記号の定義と評価に必要な諸元

記号	定義	数値	単位	備考
f	一次固有振動数	—	Hz	
E	縦弾性係数	1.93 × 10 <sup>11</sup>	N/m <sup>2</sup>	
I	主桁の断面 2 次モーメント	1.054 × 10 <sup>-4</sup>	m <sup>4</sup>	
m	主桁の単位長さ当りの重量	53.7	kg/m	
L	主桁の長さ	2.73	m	

#### (3) 固有値解析結果

固有振動数の算出結果を表 3-5 に示す。固有振動数は、20 Hz 以上であることから、剛構造である。

表 3-5 固有振動数の算出結果

(単位 : Hz)

機器名称	固有振動数
緊急用海水ポンプピット 点検用開口部浸水防止蓋	130

### 3.5.4 設計用地震力

「3.5.3 固有値解析結果」に示したとおり緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の強度計算に用いる設計震度は、添付 V-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」に示す緊急用海水ポンプピットにおける最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の耐震計算に用いる設計震度を表 3-6 に示す。

表 3-6 設計震度の諸元

地震動	設置場所 及び 床面高さ (EL. m)	建屋 及び 高さ (EL. m)	地震による設計震度*	
			基準地震動 $S_d$	緊急用海水 ポンプピット 8.0
			鉛直方向 $C_V$	0.53

注記 \* : 固有値解析結果より、緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

#### 4. 評価条件

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の強度評価に関する評価条件を以下に説明する。

##### (1) 評価対象部位の諸元

評価対象部位である，浸水防止蓋及び固定ボルトの各諸元を，表 4-1，表 4-2 に示す。

表 4-1 評価対象部位の各諸元（浸水防止蓋）

項目	材質	鋼材仕様
浸水防止蓋	スキンプレート	SUS304 PL-12
	主桁	SUS304 B [-300×100×12×16(端部) B [-300×100×12×16(中間部)
	補助桁	SUS304 T-330×50×8×8

表 4-2 評価対象部位の各諸元（固定ボルト）

材質	呼び径 (mm)
SUS304	30

5. 強度評価結果

蓋の強度評価結果を表 5-1 に示す。緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の各部位の発生応力は、許容応力以下であり、基準津波荷重を考慮した荷重に対して構造部材が十分な健全性を有することを確認した。

表 5-1 強度評価結果（基準津波＋余震時）

評価対象部位		発生応力 (N/mm <sup>2</sup> )		許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )	
蓋	スキンプレート	曲げ	16	150	
		せん断	1	90	
		組合せ*	16	165	
	主桁	端部桁	曲げ	3	150
			せん断	1	90
			組合せ*	4	165
		中間桁	曲げ	6	150
			せん断	2	90
			組合せ*	7	165
	補助桁	曲げ	1	150	
		せん断	1	90	
		組合せ*	2	165	
固定ボルト		せん断	4	90	

注記 \* : 曲げ (σ<sub>b</sub>) 及びせん断 (τ<sub>b</sub>) による組合せ (σ<sub>bm</sub>) は、 $\sigma_{bm} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau_b^2}$  で評価