

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-279 改6
提出年月日	平成30年9月28日

V-3-別添 3-2-4-10 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋
の強度計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造計画	2
2.3	評価方針	3
2.4	適用基準	5
2.5	記号の説明	6
3.	評価部位	9
4.	固有周期	10
4.1	固有周期の計算方法	10
4.2	固有周期の計算条件	10
4.3	固有周期の計算結果	11
5.	構造強度評価	12
5.1	構造強度評価方法	12
5.2	荷重及び荷重の組合せ	12
5.3	許容限界	14
5.4	設計用地震力	16
5.5	計算方法	17
5.6	計算条件	19
6.	評価結果	20

1. 概要

本資料は、添付書類「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、浸水防護施設のうち海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋が溢水による静水圧荷重及び余震を考慮した荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋は、海水ポンプ室の壁面に設置する。

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の設置位置を図 2-1 に示す。

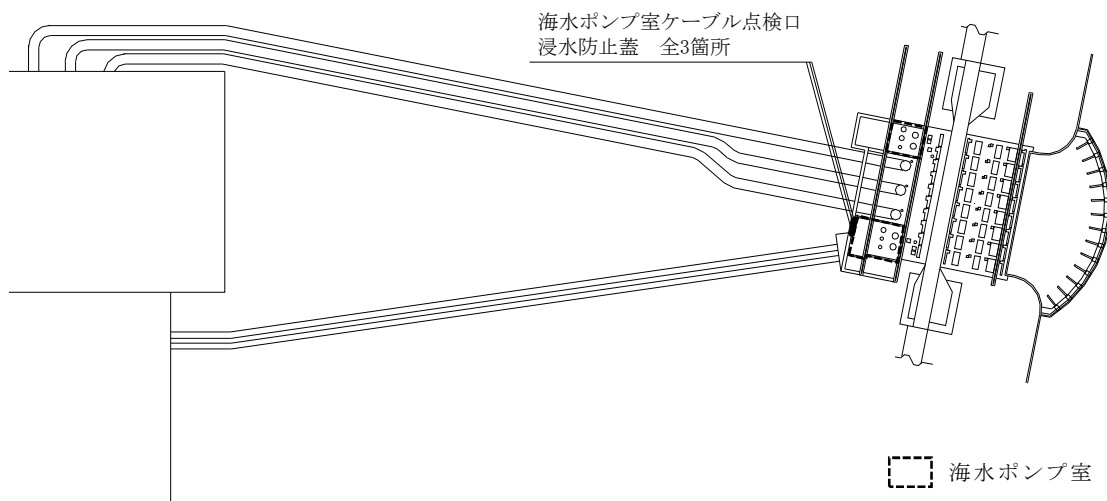


図 2-1 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の構造は、鋼板構造であり、海水ポンプ室壁面に基礎ボルトにより固定することで、止水性を確保する構造とする。

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

配置図	
計画の概要	
基礎・支持構造	主体構造
海水ポンプ室の壁面に基礎ボルトで固定する。	蓋により構成する。

2.3 評価方針

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度評価は、添付書類「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、海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の評価部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「5.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「5.6 計算条件」に示す計算条件を用いて評価し、評価結果を「6. 評価結果」にて確認する。

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度評価フローを図 2-2 に示す。海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時における余震荷重は、添付書類「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」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d による地震力とする。余震荷重の設定に当たっては、弾性設計用地震動 S_d を入力して得られた設置床の最大応答加速度の最大値を考慮して設定した設計震度を用いる。

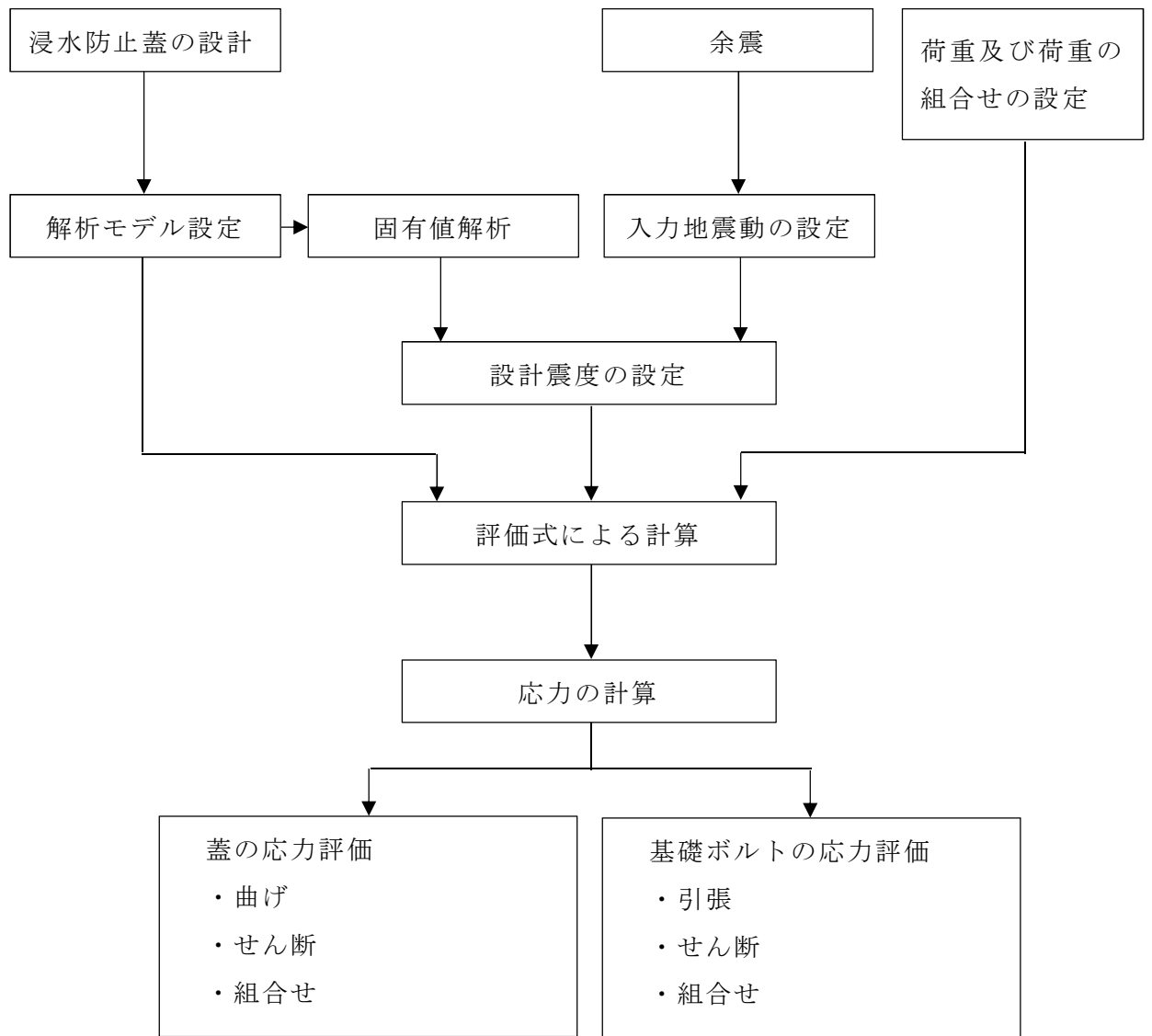


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版 (2007年追補版含む。))
J S M E S N C 1 - 2005/2007 (日本機械学会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 (日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0
1 ・ 補 - 1984 (日本電気協会)
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版 (日本電気
協会)
- (5) 各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会 2010 改定)
- (6) 建築基準法及び同施行令
- (7) 日本工業規格 J I S G 4 3 0 4 (1999) 熱間圧延ステンレス鋼板及び
鋼帯
- (8) 日本工業規格 J I S G 4 3 0 3 (1998) ステンレス鋼棒
- (9) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (日本港湾協会 平成 19 年)

2.5 記号の説明

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の固有周期の計算に用いる記号を表 2-3 に、応力評価に用いる記号を表 2-4 にそれぞれ示す。

表 2-3 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の固有周期の計算に用いる記号

記号	記号の説明	単位
I	断面二次モーメント	mm ⁴
b	はりの幅	mm
h	はりのせい	mm
A	はりの断面積	mm ²
f	一次固有振動数	Hz
T	固有周期	s
λ	振動数係数	—
L	はりの長さ	mm
E	J S M E S N C 1 -2005/2007 付録材料図表 Part6 に規定される材料の縦弾性係数	MPa
ρ	はりの単位体積質量	kg/mm ³

表 2-4 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の応力評価に用いる記号 (1/3)

記号	記号の説明	単位
P _h	浸水津波荷重	MPa
ρ	溢水の密度	kg/m ³
g	重力加速度	m/s ²
h	溢水水位	m
C _{H S d}	余震による水平方向の設計震度	—
C _{V S d}	余震による鉛直方向の設計震度	—
f _t	許容引張応力 J S M E S N C 1 -2005/2007 SSB-3121.1(1)に定める値とする。	MPa
f _s	許容せん断応力 J S M E S N C 1 -2005/2007 SSB-3121.1(2)に定める値とする。	MPa
f _b	許容曲げ応力 J S M E S N C 1 -2005/2007 SSB-3121.1(4)に定める値とする。	MPa
S _y	J S M E S N C 1 -2005/2007 の付録図表 Part5 表 8 に規定される材料の設計降伏点	MPa
S _u	J S M E S N C 1 -2005/2007 の付録図表 Part5 表 9 に規定される材料の設計引張強さ	MPa

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の応力評価に用いる記号 (2/3)

記号	記号の説明	単位
$S_y (RT)$	J S M E S N C 1—2005/2007 の付録図表 Part5 表 8 に規定される 40°Cにおける材料の設計降伏点	MPa
F	許容応力算定用基準値	MPa
$W_{h k S d}$	余震による水平地震荷重	N
$W_{v k S d}$	余震による鉛直地震荷重	N
$w_{h k S d}$	余震による水平地震等分布荷重	MPa
m_D	蓋の自重による質量	kg
A	蓋の面積	mm ²
M	単位幅当たりの最大曲げモーメント	N・mm
w	蓋に作用する等分布荷重	MPa
L	支点間距離	mm
σ_b	最大曲げ応力	MPa
Z	単位幅当たりの断面係数	mm ³
Q	単位幅当たりの最大せん断力	N
τ	最大せん断応力	MPa
A_s	単位幅当たりのせん断断面積	mm ²
$P_{t b}$	基礎ボルトに作用する引張荷重	N
Q_s	蓋の端部に生じる単位幅当たりのせん断力	N
b	基礎ボルトの負担幅	mm
A_m	基礎ボルトの断面積	mm ²
ϕ	基礎ボルトの呼び径	mm
σ_t	基礎ボルトの引張応力	MPa
$Q_{s b}$	基礎ボルトに作用するせん断荷重	N
n	基礎ボルトの本数	本
τ_k	基礎ボルトのせん断応力	MPa
σ	組合せ応力	MPa
σ_x, σ_y	互いに直交する垂直応力	MPa
$\tau_{x y}$	σ_x, σ_y の作用する面内のせん断応力	MPa

表 2-4 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の応力評価に用いる記号 (3/3)

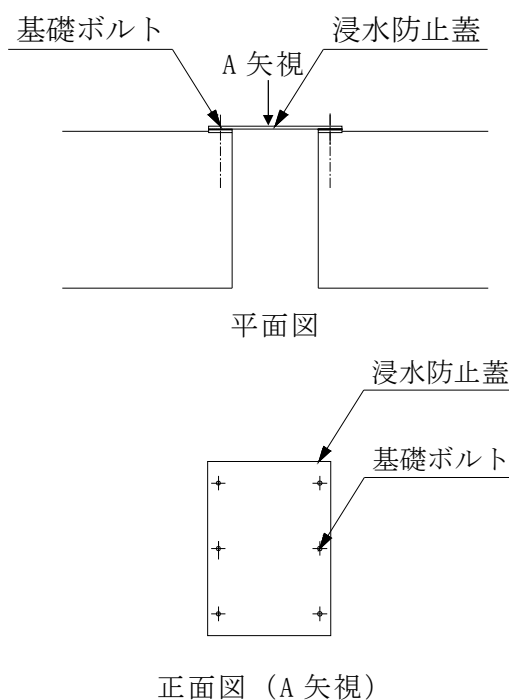
記号	記号の説明	単位
f_b	許容曲げ応力 (f_b を 1.5 倍した値)	MPa
f_s	許容せん断応力 (f_s を 1.5 倍した値)	MPa
f_t	許容引張応力 (f_t を 1.5 倍した値)	MPa
f_{t_o}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 (f_t を 1.5 倍した値)	MPa
f_{t_s}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
τ	ボルトに作用するせん断応力	MPa

3. 評価部位

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の評価部位は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価部位を踏まえて、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。

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋に対して、溢水と余震による荷重が作用し、これらの荷重は蓋より、それを固定している基礎ボルトに伝達することから、蓋及び基礎ボルトを評価部位として設定する。

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度評価における評価部位を、図 3-1 に示す。



正面図 (A 矢視)

図 3-1 評価部位

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 解析モデル

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋を両端単純支持ばりとしてモデル化する。

(2) 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

固有周期 T を以下の式により算出する。

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

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot A}}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$A = b \cdot h$$

4.2 固有周期の計算条件

表 4-1 に固有周期の計算条件を示す。

表 4-1 固有周期の計算条件

振動数係数 λ	はりの長さ L (mm)	縦弾性係数 E (MPa)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	はりの幅 b (mm)
π	850	1.93×10^5	5.832×10^5	1200

はりのせい h (mm)	はりの単位体積 質量 ρ (kg/mm ³)	はりの断面積 A (mm ²)
18.0	7.93×10^{-6}	2.160×10^4

4.3 固有周期の計算結果

表 4-2 に固有周期の計算結果を示す。固有周期は、0.05s 以下であることから、剛構造である。

表 4-2 固有周期の計算結果

機器名称	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
海水ポンプ室ケーブル点検口浸 水防止蓋	55	0.019

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度評価は、添付書類「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」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度評価は、「3. 評価部位」に示す評価対位に対し、「5.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「5.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の設定

(1) 固定荷重 (D)

固定荷重として、蓋の自重を考慮する。

(2) 浸水津波荷重 (P_h)

溢水荷重は、静水圧として作用するものとして、以下の式より算出する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

(3) 余震荷重 (S_d)

余震荷重は、添付書類「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」に示すとおり、弾性設計用地震動 $S_d - D 1$ に伴う地震力とする。

$$W_{h k S d} = C_{H S d} \cdot m_D \cdot g$$

$$W_{v k S d} = C_{V S d} \cdot m_D \cdot g$$

$$w_{h k S d} = \frac{C_{H S d} \cdot m_D \cdot g}{A}$$

5.2.2 荷重の組合せ

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防護施設 (浸水防止設備)	海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋	$D + P_h + S_d$

注記 *1: D は固定荷重, P_h は浸水津波荷重, S_d は余震荷重を示す。

*2: 固定荷重 (D) 及び余震荷重 (S_d) の組合せが, 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。

5.3 許容限界

(1) 基準津波に対する許容限界

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の許容限界は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、J S M E に準じた供用状態 C の許容応力を用いる。

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の蓋及び基礎ボルトの許容限界を表 5-2 に、許容応力評価条件を表 5-3 にそれぞれ示す。また、蓋及び基礎ボルトの許容応力算出結果を表 5-4 に示す。

表 5-2 蓋及び基礎ボルトの許容限界

供用状態 (許容応力 状態)	許容限界* ¹ (ボルト以外)			許容限界* ¹ (ボルト)		
	一次応力			一次応力		
	曲げ	せん断	組合せ* ²	引張	せん断	組合せ* ³
C (Ⅲ _A S) * ⁴	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_{ts}$

注記 *¹: J E A G 4 6 0 1・補-1984 を準用し、「その他の支持構造物」の許容限界を適用する。組合せは、J S M E N C 1 -2005/2007 による。

*²: 曲げとせん断の組合せ応力

*³: せん断応力と引張応力の組合せ応力

せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力 f_{ts} は、次のいずれか小さい方の値

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau$$

$$f_{ts} = f_t$$

*⁴: 地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5-3 蓋及び基礎ボルトの許容応力評価条件

評価部位	材料	温度条件 (°C)	S_y^{*1} (MPa)	S_u^{*1} (MPa)	$S_y(RT)^{*1}$ (MPa)	F^{*1*2} (MPa)
蓋	SUS304	50	198	504	205	205
基礎ボルト						

注記 *1: S_y : 設計降伏点, S_u : 設計引張強さ, $S_y(RT)$: 40°Cにおける設計降伏点, F : 許容応力算定用基準値を示す。

*2: $F = \text{Min}[1.35 \cdot S_y, 0.7 \cdot S_u, S_y(RT)]$ とする。

表 5-4 蓋及び基礎ボルトの許容応力算出結果

供用状態 (許容応力 状態)	評価部位	許容限界 (ボルト以外)			許容限界 (ボルト)	
		一次応力				
		曲げ f_b (MPa)	せん断 f_s (MPa)	組合せ f_t (MPa)	引張 f_{t0} (MPa)	せん断 f_s (MPa)
C (Ⅲ _A S)	蓋	204	117	204	—	—
	基礎ボルト	—	—	—	153	117

5.4 設計用地震力

「4. 固有周期」に示したとおり、海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の固有周期が0.05s以下であることを確認したため、海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度計算に用いる設計震度は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す海水ポンプ室における設置床の最大応答加速度の1.2倍を考慮して設定する。海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度計算に用いる設計震度を表5-5に示す。

表 5-5 設計用地震力

地震動	据付場所 及び床面高さ (m)	余震による設計震度*1	
		弾性設計用 地震動 $S_d - D1$	取水構造物 EL. 0.800 (EL. 0.300*2)
		鉛直方向 $C_{V S d}$	0.43

注記 *1: 「4. 固有周期」に示したとおり、海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の固有周期が0.05s以下であることを確認したため、設置床の最大応答加速度の1.2倍を考慮した設計震度を設定した。

*2: 基準床レベルを示す。

5.5 計算方法

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度評価は、構造部材に作用する応力が、「5.3 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

5.5.1 荷重条件

以下の荷重条件にて応力計算を実施する

(1) 固定荷重 (D)

S_d 地震時水平地震力を求めるに当たって、固定荷重として蓋の自重を考慮する。

(2) 浸水津波荷重 (P_h)

溢水による静水圧荷重は、海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の海水ポンプ室壁開口部に作用するものとする。

(3) 余震荷重 (S_d)

余震荷重 S_d は、海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の設置位置における水平方向及び鉛直方向の地震荷重を考慮する。

5.5.2 応力計算

(1) 蓋

蓋は、基礎ボルトで支持されているものとし、蓋端間で等分布荷重を受ける両端単純支持ばりとして評価する。

a. 最大曲げ応力

最大曲げ応力を以下の式より算出する。

$$M = \frac{w \cdot L^2}{8}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

b. 最大せん断応力

最大せん断応力を以下の式より算出する。

$$Q = \frac{w \cdot L}{2}$$

$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

(2) 基礎ボルト

基礎ボルトに作用する引張荷重は、水平方向荷重を受ける基礎ボルトに対する蓋の負担面積から算定し、また、せん断荷重は、鉛直方向荷重をすべての基礎ボルトで負担するものとして評価する。

a. 引張応力

引張応力を以下の式より算出する。

$$P_{tb} = Q_s \cdot b$$

$$A_m = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4}$$

$$\sigma_t = \frac{P_{tb}}{A_m}$$

b. せん断応力

せん断応力を以下の式より算出する。

$$Q_{sb} = \frac{(m_D \cdot g + W_{vksd})}{n}$$

$$A_m = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4}$$

$$\tau_k = \frac{Q_{sb}}{A_m}$$

c. 組合せ応力

蓋に発生する垂直応力やせん断応力については、組合せ応力を以下の式より算出する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2}^*$$

注記 * : J S M E S N C 1 - 2005/2007 SSB-3121.1

5.6 計算条件

- (1) 強度評価に用いる浸水防止蓋の仕様及び津波荷重に関わる計算条件を除く計算条件

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の仕様及び津波荷重に関わる計算条件を除く計算条件を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

表 5-6 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の仕様及び津波荷重に関わる計算条件を除く計算条件

蓋の材質	蓋の厚さ t (mm)	蓋のたて (mm)	蓋の横 (mm)
SUS304	18.0*	1200*	850*

注記 * : 公称値を示す。

蓋の面積 A (mm ²)	蓋の質量 m _D (kg)	基礎ボルトの材質	基礎ボルトの呼び径 φ (mm)
1.020×10 ⁶	200	SUS304	16

基礎ボルトの本数 n (本)	基礎ボルトの負担幅 b (mm)	重力加速度 g (m/s ²)	溢水の密度 ρ (kg/m ³)
6	450	9.80665	1030

- (2) 強度評価に用いる浸水防止蓋の津波荷重に関わる計算条件

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の津波荷重に関わる計算条件を表 5-7 に示す。

表 5-7 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度評価に用いる条件

溢水水位 h (m)
8.2

6. 評価結果

重畳時における評価部位の応力評価結果を表 6-1 に示す。

発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表 6-1 重畳時における評価部位の応力評価結果

評価部位		評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
海水ポンプ室ケーブル点検口 浸水防止蓋	蓋	曲げ	141	204
		せん断	2	117
		組合せ* ¹	142	204
	基礎ボルト	引張	80	153* ²
		せん断	3	117

注記 *1: 曲げ (σ_b) とせん断 (τ) の組合せ発生応力 $\leq f_t$ で評価

*2: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau, f_{to}]$ より算出