

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-279 改3
提出年月日	平成30年6月12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. 基本方針.....	1
2.1 位置.....	1
2.2 構造概要.....	2
2.3 評価方針.....	3
2.4 適用規格.....	5
3. 強度評価方法.....	6
3.1 記号の定義.....	7
3.2 評価対象部位.....	8
3.3 固有値解析.....	9
3.3.1 解析モデル.....	9
3.3.2 固有振動数の算出.....	9
3.3.3 固有値解析結果.....	10
3.4 荷重及び荷重の組合せ.....	11
3.4.1 荷重.....	11
3.4.2 荷重の組合せ.....	13
3.5 許容限界.....	14
3.6 評価方法.....	16
3.6.1 荷重条件.....	16
3.6.2 応力評価.....	16
3.6.3 組合せ応力.....	18
4. 評価条件.....	19
5. 強度評価結果.....	20

1. 概要

本資料は、添付資料 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. 基本方針

2.1 位置

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。

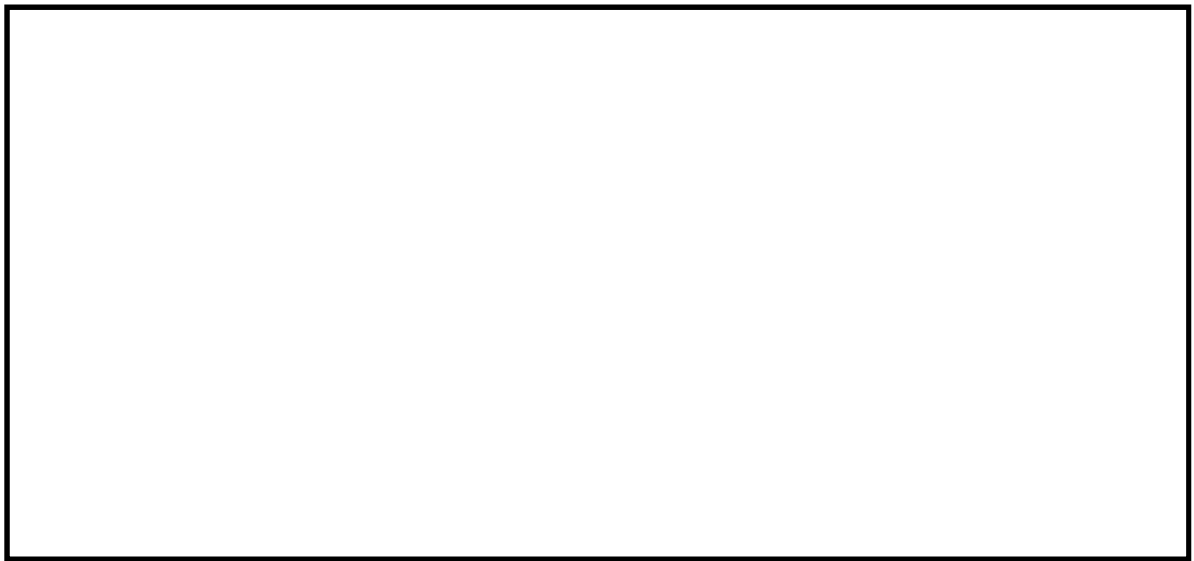


図 2-1 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造概要

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概要を表 2-1 に示す。

表 2-1 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の構造概要

設備名称	配置図		
海水ポンプ室 ケーブル点検 口浸水防止蓋 1, 2, 3	配置図		
	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
	蓋により構成する。	海水ポンプ室壁面に基礎ボルトで固定する。	

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、添付資料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対象部位に作用する応力等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。

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、溢水による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、溢水による荷重作用時（以下、「溢水時」という。）及び溢水による荷重と余震に伴う荷重作用時（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。重畳時においては、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」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 を入力して得られた最大床応答加速度の最大値を静的震度として用いる。

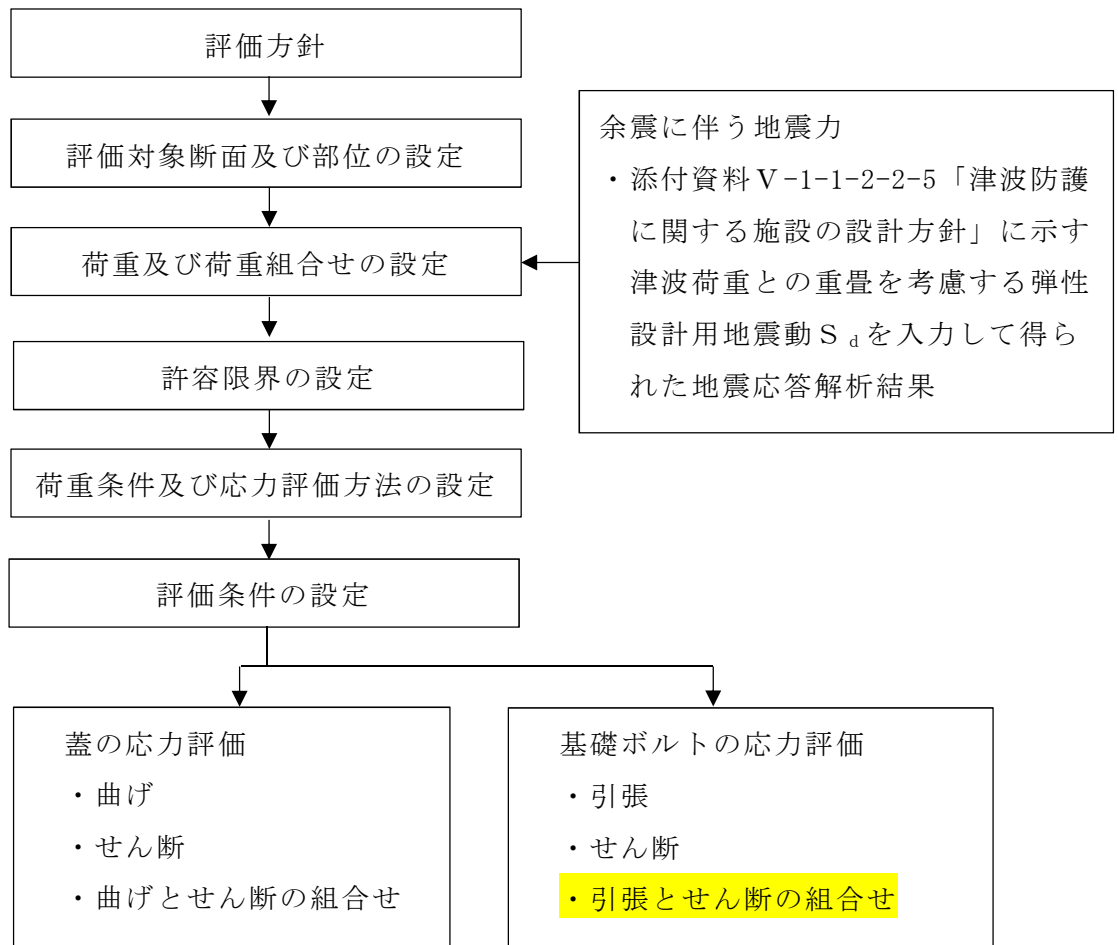


図 2-2 強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 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 2007年）
- ・ 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 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年）
- ・ 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 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年）
- ・ 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 電気技術基準調査委員会 平成 3 年）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会 2010 改定）
- ・ 建築基準法及び同施行令

3. 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、添付資料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、「3.2 評価対象部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「3.4 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

3.1 記号の定義

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記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 強度計算に用いる記号

記号	単位	定義
P_h	Pa	溢水による静水圧荷重
ρ	kg/m ³	溢水の密度
g	m/s ²	重力加速度
h	m	溢水水位
S_y	MPa	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
S_u	MPa	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
f_t	MPa	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。
f_s	MPa	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。
f_b	MPa	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。
F	MPa	許容応力算定用基準値 J S M E S N C 1 - 2005/2007 SSB-3121.1(1)a. (b)に定める, S_y 及び $0.7 \cdot S_u$ のいずれか小さい方の値とする。

3.2 評価対象部位

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて示す構造を踏まえ選定する。

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、評価対象部位は、蓋及び基礎ボルトを対象とする。

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対象部位を、図 3-1 に示す。

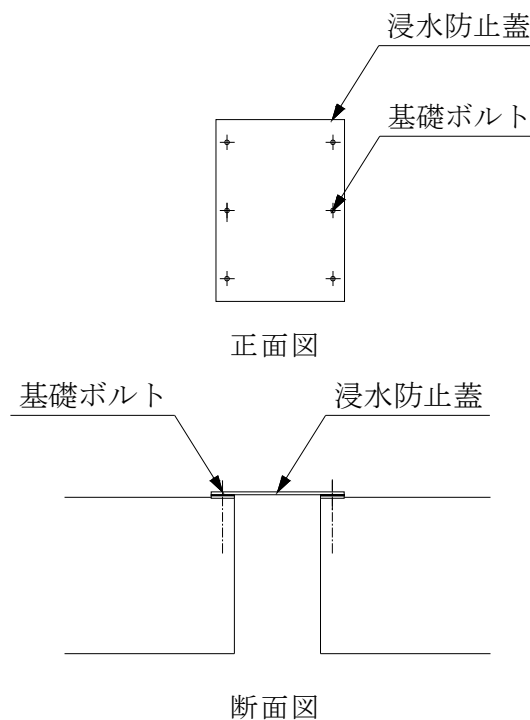


図 3-1 評価対象部位

3.3 固有値解析

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の固有値解析を実施する。

3.3.1 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。

3.3.2 固有振動数の算出

「機械工学便覧（1986年），日本機械学会」より，両端単純支持ばりとする蓋の一次固有振動数は，次のとおり与えられる。

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

ここで，

f：一次固有振動数（Hz）

λ ：振動数係数

L：はりの長さ（m）

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（Pa）

I：断面二次モーメント（m⁴）

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \text{で求める。}$$

b：はりの幅（m）

h：はりのせい（m）

ρ ：はりの単位体積質量（kg/m³）

A：はりの断面積（m²）

$$A = b \cdot h \text{で求める。}$$

b：はりの幅（m）

h：はりのせい（m）

固有振動数の算出に必要な各諸元を表 4-2 に示す。

表 3-2 固有振動数の算出に必要な各諸元

施設名称	振動数 係数 λ	はりの 長さ L (m)	縦弾性 係数 E (Pa)	断面二次 モーメン ト I (m^4)	はりの 単位体積 質量 ρ (kg/m^3)	はりの 断面積 A (m^2)
海水ポンプ室 ケーブル点検 口浸水防止蓋	π	0.85	1.94 $\times 10^{11}$	5.832 $\times 10^{-7}$	7.93 $\times 10^3$	2.160 $\times 10^{-2}$

3.3.3 固有値解析結果

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

表 3-3 固有振動数の算出結果

(単位 : Hz)

施設名称	固有振動数
海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋	55

3.4 荷重及び荷重の組合せ

3.4.1 荷重

(1) 固定荷重 (D)

固定荷重として、蓋の自重を考慮する。

(2) 溢水荷重 (P_h)

溢水荷重は、静水圧として作用するものとして、次式により算出する。

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

ここで、

P_h : 溢水による静水圧荷重 (Pa)

ρ : 溢水の密度 (kg/m^3)

g : 重力加速度 (m/s^2)

h : 溢水水位 (m)

(3) 余震荷重 (S_d)

余震荷重は、添付資料 V-1-1-2-2-5 「津波防護に関する施設の設計方針」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 を入力して得られた地震応答解析に伴う海水ポンプ室上版における最大床応答加速度の最大値を静的震度として海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋に作用する慣性力を考慮する。なお、静的震度は最大床応答加速度を重力加速度で除して算出する。

また、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地震応答解析は、添付資料 V-2-10-2-5-10 「海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の耐震性についての計算書」と同様の地震応答解析手法、モデル化及び諸元（材料物性値、地盤の物性値、荷重の入力方法）、評価対象断面及び評価対象位置により実施する。ただし、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加速度応答は、添付資料 V-2-2-6 「取水構造物の地震応答計算書」に示す機器・配管に対する加速度応答抽出のための検討ケースの内、最も加速度応答の大きくなる地盤条件による地震応答解析結果を適用する。

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の最大床応答加速度を表 3-4 に、応力評価に用いる S_d 地震荷重の最大静的震度を表 3-5 に示す。

表 3-4 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の最大床応答加速度

弾性設計用 地震動	水平地震動	鉛直地震動	最大床応答加速度 (Gal)	
			水平方向	鉛直方向
S _d -D1L	正転	正転	183	514
	反転	正転	182	503
	正転	反転	179	529
	反転	反転	180	521

追而

表 3-5 応力評価に用いる最大震度

弾性設計用 地震動	水平 地震動	鉛直 地震動	最大床応答加速度 (Gal)		水平震度 C _H	鉛直震度 C _V
			水平方向	鉛直方向		
S _d -D1L	正転	正転	183	514	<u>0.19</u> * ¹	0.53
	正転	反転	179	529	0.19	<u>0.54</u> * ¹

注記 *1: 下線部は応力評価に用いる設計震度を示す。

追而

3.4.2 荷重の組合せ

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋は、海水ポンプ室壁面に設置されている。添付資料「V-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に示すとおり、風荷重及び積雪荷重を考慮しない。荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6 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	$D + S_d + P_h$ *1

注記 *1：固定荷重（D）、余震荷重（ S_d ）の組合せが、強度評価上、溢水荷重（ 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わせない評価を実施する。

3.5 許容限界

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の設計にて考慮する供用状態（許容応力状態）を表 3-7 に、許容応力算定用基準値を表 3-8 に示す。また、評価部位に応じた許容応力評価条件を表 3-9 に示す。さらに、許容応力算定値を表 3-10 に示す。

表 3-7 供用状態（許容応力状態）

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

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。

*2: f_b : 許容曲げ応力, f_s : 許容せん断応力, f_t : 許容引張応力を示す。

*3: 曲げとせん断の組合せである。

*4: せん断応力と引張応力の組合せ応力

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

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

$$f_{ts} = f_{t0}$$

f_{ts} : せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力

f_{t0} : *1 にて示したボルトの許容引張応力

τ : ボルトに作用するせん断応力

表 3-8 許容応力算定用基準値

評価部位	材料	温度条件 (°C)	S_y ^{*1} (MPa)	S_u ^{*1} (MPa)	F ^{*1*2} (MPa)
蓋	SUS304	40	205	520	205
基礎ボルト					

注記 *1: S_y : 設計降伏点, S_u : 設計引張強さ, F : 許容応力算定用基準値を示す。

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

表 3-9 許容応力評価条件

評価部位	蓋			基礎ボルト		
	曲げ f_b	せん断 f_s	組合せ f_t	引張 f_t	せん断 f_s	組合せ f_{ts}
許容応力 評価条件 (MPa)	136	78	136	102	78	102

表 3-10 許容応力算定値

評価部位	蓋			基礎ボルト		
	曲げ $1.5 \cdot f_b$	せん断 $1.5 \cdot f_s$	組合せ $1.5 \cdot f_t$	引張 $1.5 \cdot f_t$	せん断 $1.5 \cdot f_s$	組合せ $1.5 \cdot f_{ts}$
許容応力 評価条件 (MPa)	204	117	204	153	117	153

3.6 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、構造部材に作用する応力が、「3.4 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。

3.6.1 荷重条件

(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) 溢水による静水圧荷重 (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及び鉛直方向の最大床応答加速度から設定する震度を用いて、以下のとおり算出する。

$$W_{hk} = C_H \cdot m_D \cdot g$$

$$W_{vk} = C_v \cdot m_D \cdot g$$

ここで、

W_{hk} : 水平地震荷重 (N)

W_{vk} : 鉛直地震荷重 (N)

C_H : 設計水平震度

C_v : 設計鉛直震度

m_D : 蓋の自重による質量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

3.6.2 応力評価

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) 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。単位幅当たりの最大曲げモーメント及び単位幅当たりの最大せん断力は次式で与えられる。

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

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

ここで、

M：単位幅当たりの最大曲げモーメント (N・mm)

Q：単位幅当たりの最大せん断力 (N)

w：蓋に作用する等分布荷重 (MPa)

L：支点間距離 (mm)

a. 最大曲げ応力

最大曲げ応力は、次式により算出する。

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

ここで、

σ_b ：最大曲げ応力 (MPa)

M：単位幅当たりの最大曲げモーメント (N・mm)

Z：単位幅当たりの断面係数 (mm³)

b. 最大せん断応力

最大せん断応力は、次式により算出する。

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

ここで、

τ ：最大せん断応力 (MPa)

Q：単位幅当たりの最大せん断力 (N)

A_s ：単位幅当たりのせん断断面積 (mm²)

(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

基礎ボルトの引張応力は、次式により算出する。

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

ここで、

σ_t ：基礎ボルトの引張応力 (MPa)

P_{tb} ：基礎ボルトに作用する引張荷重 (N)

$P_{tb} = Q \cdot b$ で求める。

Q：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 (mm²)

$$A_m = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \text{ で求める。}$$

ϕ : 基礎ボルトの呼び径 (mm)

b. せん断応力

基礎ボルトのせん断応力は、次式により算出する。

$$\tau_k = \frac{Q}{A_m}$$

ここで、

τ_k : 基礎ボルトのせん断応力 (MPa)

Q : 基礎ボルトに作用するせん断荷重 (N)

$$Q = \frac{(m_D \cdot g + W_{vk})}{n} \text{ で求める。}$$

m_D : 蓋の自重による質量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

W_{vk} : 鉛直地震荷重 (N)

n : 基礎ボルトの本数

A_m : 基礎ボルトの断面積 (mm^2)

$$A_m = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \text{ で求める。}$$

ϕ : 基礎ボルトの呼び径 (mm)

3.6.3 組合せ応力

3.5.2 において算出した垂直応力やせん断応力については、次式にて組合せ応力を算出する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} * 1$$

ここで、

σ : 組合せ応力 (MPa)

σ_x, σ_y : 互いに直交する垂直応力 (MPa)

τ_{xy} : σ_x, σ_y の作用する面内のせん断応力 (MPa)

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

4. 評価条件

海水ポンプ室ケーブル点検口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) 荷重算出条件及び結果

a. 溢水による静水圧荷重の算出条件

溢水による静水圧荷重の算出条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 溢水による静水圧荷重の算出条件

作用箇所	溢水水位 h (m)	溢水の密度 ρ (kg/m ³)	重力加速度 g (m/s ²)
海水ポンプ室ケーブル点検口 浸水防止蓋	8.2	1030* ¹	9.80665

注記 *1: 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 7 月)による。

b. 余震荷重の算出条件及び結果

余震荷重算出に用いる質量の算出結果を表 4-2 に示す。

表 4-2 余震荷重算出に用いる質量の算出結果

(単位: kg)

項目		質量
海水ポンプ室ケーブル点検口 浸水防止蓋	固定荷重 (自重)	200

(2) 評価対象部位の諸元

評価対象部位である, 蓋の諸元を表 4-3, 基礎ボルトの諸元を表 4-4 に示す。

表 4-3 評価対象部位の各諸元 (蓋)

施設名称	材質	厚さ (mm)	たて (mm)	横 (mm)
海水ポンプ室ケーブル点検口 浸水防止蓋	SUS304	18.0* ¹	1200	850

注記 *1: 公称値を示す。

表 4-4 評価対象部位の各諸元 (基礎ボルト)

施設名称	材質	呼び径 (mm)	総本数 (本)
海水ポンプ室ケーブル点検口 浸水防止蓋	SUS304	16	6

5. 強度評価結果

蓋，基礎ボルトの強度評価結果を表 5-1 に示す。海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の各部位の発生応力は許容応力以下であり，溢水による荷重及び余震を考慮した荷重に対して，構造部材が十分な強度を有することを確認した。

表 5-1 強度評価結果

(単位：MPa)

評価対象部位		評価応力	発生応力	許容応力
海水ポンプ室ケーブル点検口 浸水防止蓋	蓋	曲げ	144	204
		せん断	2	117
		組合せ* ¹	145	204
	基礎ボルト	引張	80	153
		せん断	3	117
		組合せ* ²	80	153* ³

注記 *1：曲げとせん断の組合せである。

*2：引張とせん断の組合せである。

*3：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

追而