

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-270 改1
提出年月日	平成30年5月25日

V-3-別添 3-2-4-1 取水路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	1
2.1	位置	1
2.2	構造概要	2
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格	6
3.	強度評価方法	7
3.1	記号の定義	8
3.2	評価対象部位	9
3.3	固有値解析	11
3.3.1	解析モデル	11
3.3.2	固有振動数の算出	11
3.3.3	固有値解析結果	12
3.4	荷重及び荷重の組合せ	12
3.4.1	荷重	12
3.4.2	荷重の組合せ	15
3.5	許容限界	16
3.6	評価方法	17
3.6.1	荷重条件	17
3.6.2	応力評価	17
3.6.3	組合せ応力	19
4.	評価条件	20
5.	強度評価結果	22

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取水路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

取水路点検用開口部浸水防止蓋は、取水路上版に設置する。

取水路点検用開口部浸水防止蓋の設置位置を図 2-1 に示す。

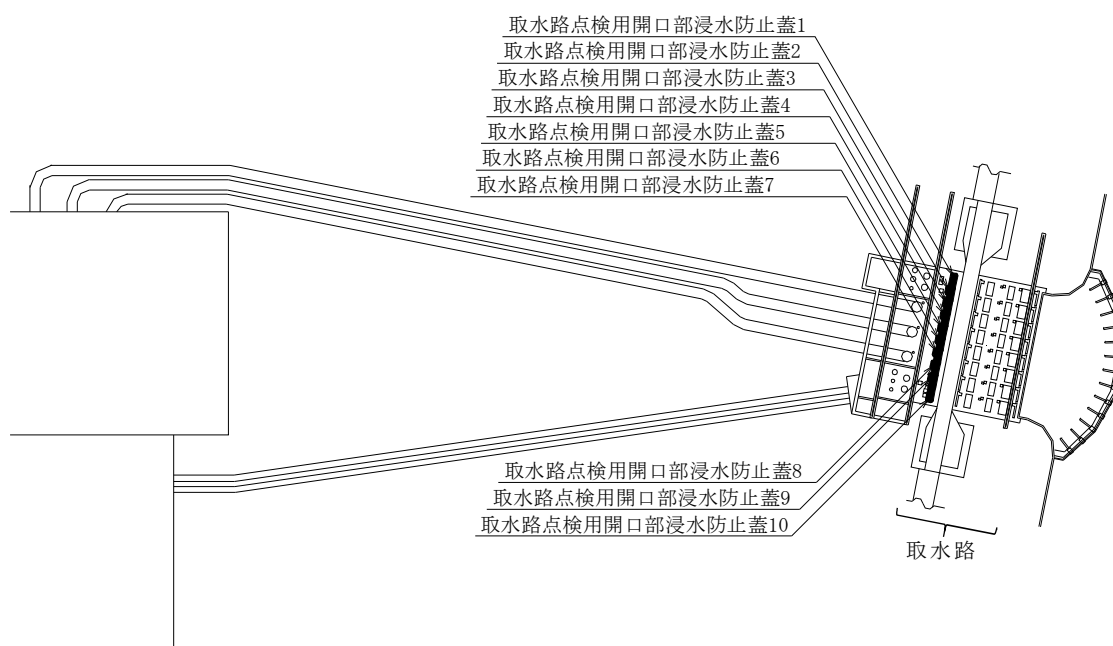


図 2-1 取水路点検用開口部浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造概要

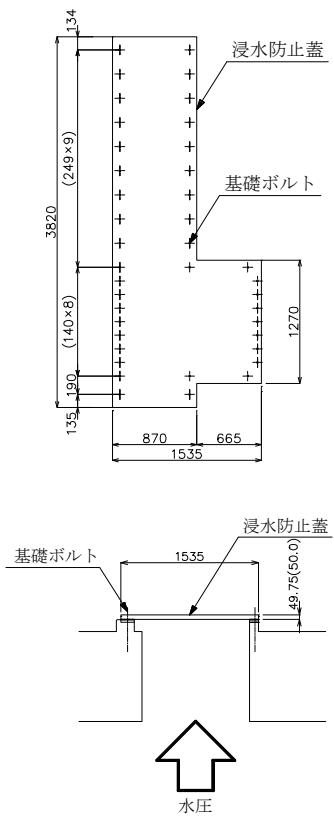
取水路点検用開口部浸水防止蓋の構造は、鋼板構造であり、取水路上版に基礎ボルトにより固定することで、止水性を確保する構造とする。

取水路点検用開口部浸水防止蓋の構造概要を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 構造概要（取水路点検用開口部浸水防止蓋 1, 10）

設備名称	配置図		
取水路点検用開口部浸水防止蓋 1, 10	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
	蓋により構成する。	取水路上版に基礎ボルトで固定する。	

表 2-2 構造概要（取水路点検用開口部浸水防止蓋 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9）

<p>設備名称</p>	<p>配置図</p>		
<p>取水路点検用開口部浸水防止蓋 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9</p>	<p>計画の概要</p>		<p>説明図</p>
	<p>主体構造</p>	<p>支持構造</p>	
	<p>蓋により構成する。</p>	<p>取水路上版に基礎ボルトで固定する。</p>	

NT2 補② V-3-別添 3-2-4-1 R1

2.3 評価方針

取水路点検用開口部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、取水路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。

取水路点検用開口部浸水防止蓋の強度評価フローを図 2-2 に示す。取水路点検用開口部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、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。

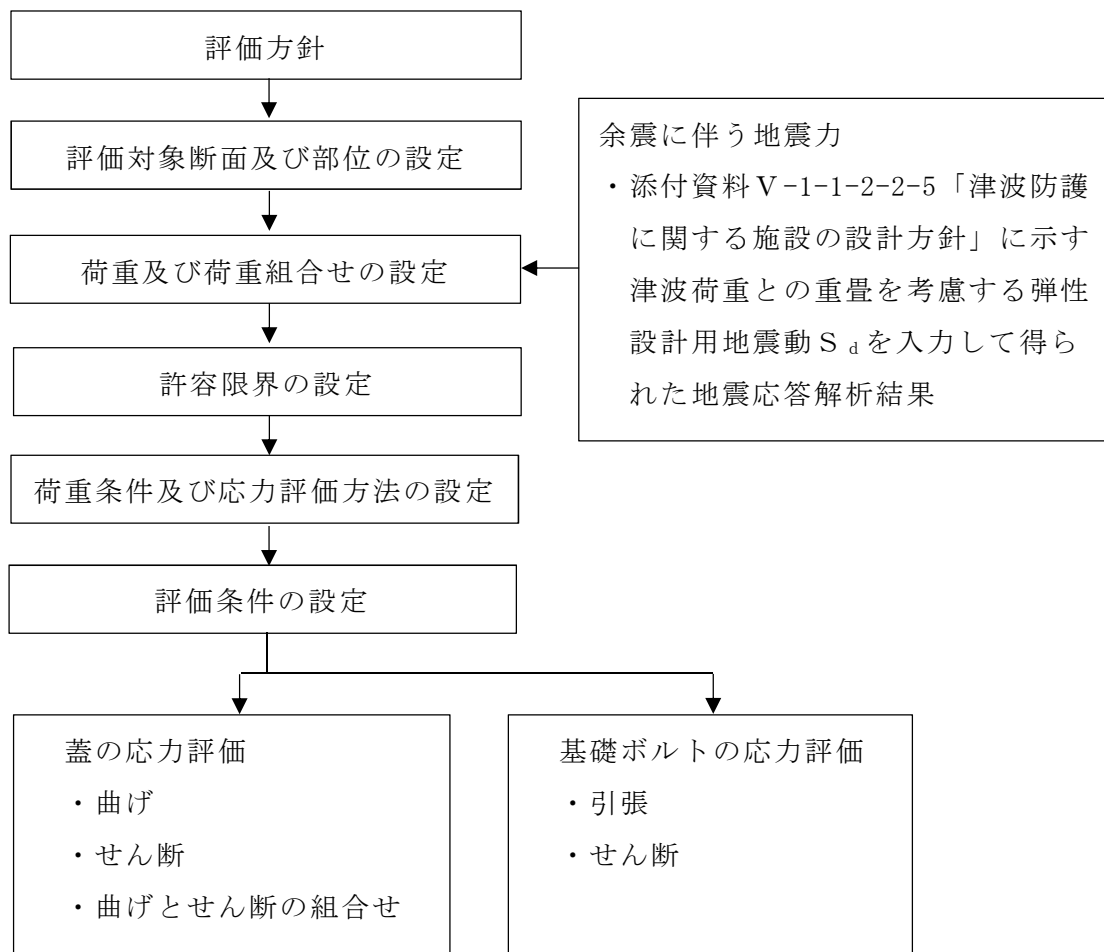


図 2-2 強度評価フロー

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（（社）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（（社）日本電気協会 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（（社）日本電気協会
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）（（社）日本
電気協会 平成 3年）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会 2010改定）
- ・建築基準法及び同施行令
- ・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
- ・日本工業規格 J I S G 4 3 0 3（1998） ステンレス鋼棒
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（（社）日本港湾協会 平成 19年）

3. 強度評価方法

取水路点検用開口部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

取水路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 強度計算に用いる記号

記号	単位	定義
m_s	kg	積雪荷重による質量
P_s	N	積雪荷重
A_s	m^2	積雪面積
w_s	Pa	積雪量 1 cm ごとの積雪荷重
d_s	cm	垂直積雪量
P_t	Pa	津波荷重 (動・突き上げ)
ρ	kg/m^3	海水の密度
g	m/s^2	重力加速度
h	m	津波荷重水位 (T.P. +)
C_D	—	抗力係数
U	m/s	流速
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

取水路点検用開口部浸水防止蓋の強度評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて示す構造を踏まえ選定する。

取水路点検用開口部浸水防止蓋に対して、津波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。

取水路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 及び図 3-2 に示す。

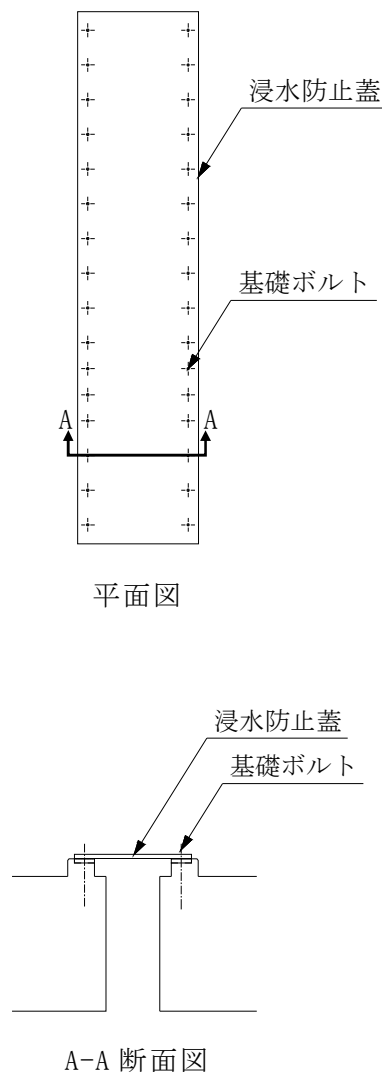
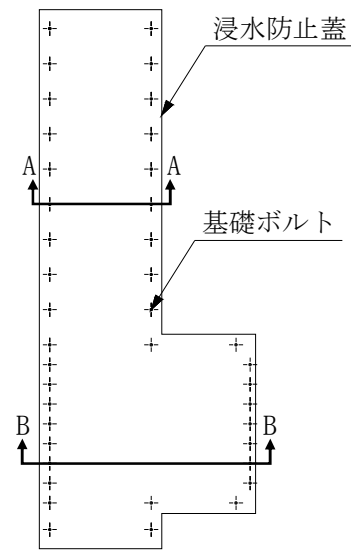
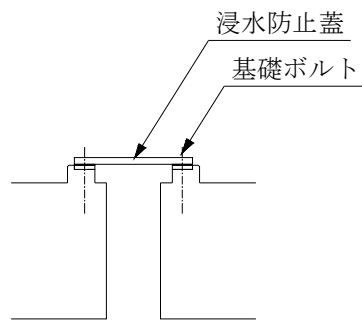


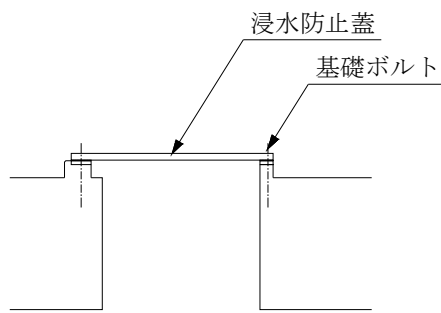
図 3-1 評価対象部位（蓋 1, 10）



平面図



A-A 断面図



B-B 断面図

図 3-2 評価対象部位 (蓋 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)

3.3 固有値解析

取水路点検用開口部浸水防止蓋の固有値解析を実施する。

3.3.1 解析モデル

取水路点検用開口部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 3-2 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)
取水路点検用開口部浸水防止蓋 1, 10	π	0.87	1.94×10^{11}	8.382×10^{-6}	7.93×10^3	1.136×10^{-1}
取水路点検用開口部浸水防止蓋 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	π	1.535	1.94×10^{11}	1.303×10^{-5}	7.93×10^3	6.318×10^{-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
取水路点検用開口部浸水防止蓋 1, 10	88
取水路点検用開口部浸水防止蓋 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	47

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) 津波荷重 (動・突き上げ) (P_t)

津波荷重 (動・突き上げ) は、基準津波による取水ピットにおける入力津波高さ T.P. + 19.2 m の静水圧に設計上の裕度をもたせた津波荷重水位 T.P. + 22.0 m の静水圧を考慮する。

津波荷重は次式を用いて算出する。

$$P_t = \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot U^2$$

(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取水路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、取水路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。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、取水路点検用開口部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-2-10-2-5-1「取水路点検用開口部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、取水路点検用開口部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。

取水路点検用開口部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。

なお、鉛直地震荷重については、津波荷重（動・突き上げ）を緩和する方向に作用するため考慮しない。

表 3-4 取水路点検用開口部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	192	357
	反転	正転	187	371
	正転	反転	199	373
	反転	反転	332	551

追而

表 3-5 応力評価に用いる最大静的震度

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	反転	反転	332	551	<u>0.34</u> *1	0.57

注記 *1：下線部は応力評価に用いる静的震度を示す。

(4) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重を考慮する。

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。

$$m_s = \frac{P_s \cdot A_s}{g} = \frac{0.35 \cdot w_s \cdot d_s \cdot A_s}{g}$$

追而

3.4.2 荷重の組合せ

取水路点検用開口部浸水防止蓋は，取水路上版部に位置する平板であることから，その構造と形状から漂流物による衝突荷重及び風荷重の影響は考慮しない。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)	取水路点検用開口部浸水防止蓋	$D + P_t + S_d + P_s$

注記 *1：Dは固定荷重， P_t は津波荷重（動・突き上げ）， S_d は余震荷重， P_s は積雪荷重を示す。

3.5 許容限界

取水路点検用開口部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。

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
C (Ⅲ _A S)	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記 *1: 曲げ及びせん断は、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: 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。

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	材料	温度条件 (°C)	f_b (MPa)	f_t (MPa)	f_s (MPa)
蓋	SUS304	40	136	136	78
基礎ボルト			—	102	

3.6 評価方法

取水路点検用開口部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)

蓋の自重は津波荷重（動・突き上げ）を緩和する方向に作用することから、考慮しない。ただし、 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) 積雪荷重 (P_s)

蓋の自重と同様の理由により考慮しない。ただし、 S_d 地震時水平地震力を求めるに当たっては、取水路点検用開口部浸水防止蓋の全面に積雪荷重を考慮する。

(3) 津波荷重（動・突き上げ）(P_t)

津波荷重（動・突き上げ）は、取水路点検用開口部浸水防止蓋の取水路上版開口部に作用するものとする。

(4) 余震荷重 (S_d)

余震荷重 S_d は、取水路点検用開口部浸水防止蓋の設置位置における水平方向の最大床応答加速度を静的震度として、以下のとおり算出する。

$$W_{hk} = C_H \cdot (m_D + m_S) \cdot g$$

ここで、

W_{hk} : 水平地震荷重 (N)

C_H : 設計水平震度

m_D : 蓋の自重による質量 (kg)

m_S : 積雪荷重による質量 (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鉛直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、せん断荷重は水平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 (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)

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)

$$Q = \frac{W_{hk}}{n} \text{ で求める。}$$

W_{hk} : 水平地震荷重 (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

取水路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) 荷重算出条件及び結果

a. 積雪荷重の算出条件

積雪荷重の算出条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 積雪荷重の算出条件

積雪箇所	1 cm ごとの 積雪荷重 w_s (Pa/cm)	積雪面積 A_s (m^2)	垂直積雪量 d_s (cm)
取水路点検用開口部浸水防止蓋 1, 10	20	3.323	30
取水路点検用開口部浸水防止蓋 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	20	4.168	30

b. 津波荷重の算出条件

津波荷重の算出条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 津波荷重の算出条件

津波荷重の内訳	算出条件		
静水頭圧	津波荷重水位 h (T.P. + m)	海水の密度 ρ (kg/m^3)	重力加速度 g (m/s^2)
	22.0	1030* ¹	9.80665
動圧	抗力係数 (-)	海水の密度 ρ (kg/m^3)	流速 (m/s)
	2.01* ¹	1030* ¹	2.0

注記 *1: 港湾の施設の技術上の基準・同解説((社)日本港湾協会 平成 19 年)による。

c. 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 4-3 に示す。

表 4-3 余震荷重算出に用いる質量の算出結果

項目		部位	質量又は荷重	質量換算	合計
取水路点検用開口部浸水防止蓋 1, 10	固定荷重 (自重)	蓋	1000 kg	1000 kg	1072 kg
	積雪荷重		600 Pa	72.12 kg	
取水路点検用開口部浸水防止蓋 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	固定荷重 (自重)	蓋	2000 kg	2000 kg	2090 kg
	積雪荷重		600 Pa	90.44 kg	

(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 4-4、基礎ボルトの諸元を表 4-5 に示す。

表 4-4 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)
取水路点検用開口部浸水防止蓋 1, 10	SUS304	29.75 (30.0* ¹)	3820* ¹	870* ¹
取水路点検用開口部浸水防止蓋 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	SUS304	49.75 (50.0* ¹)	3820* ¹	1535* ¹

注記 *1: 公称値を示す。

表 4-5 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)	本数 (本)
取水路点検用開口部浸水防止蓋 1, 10	SUS304	16	32
取水路点検用開口部浸水防止蓋 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	SUS304	16	40

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。取水路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，津波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健全性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
取水路点検用開口部浸水防止蓋 1, 10	蓋	曲げ	146	204
		せん断	4	117
		組合せ* ¹	146	204
	基礎ボルト	引張	122	153
		せん断	1	117
取水路点検用開口部浸水防止蓋 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	蓋	曲げ	162	204
		せん断	4	117
		組合せ* ¹	162	204
	基礎ボルト	引張	122	153
		せん断	1	117

注記 *1：曲げとせん断の組合せである。

追而
