

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-20-0122_改3
提出年月日	2021年10月13日

02-工-B-20-0122_改2 (2021年9月29日提出) から説明範囲のみ抜粋

VI-3-別添 3-2-7 浸水防止蓋の強度計算書

2021年10月

東北電力株式会社

目 次

- VI-3-別添 3-2-7-1 浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-7-2 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-7-3 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋）の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-7-4 浸水防止蓋（揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-7-5 浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の強度計算書
- VI-3-別添 3-2-7-6 浸水防止蓋（第2号機軽油タンクエリア）の強度計算書


VI-3-別添 3-2-7-2 : 本日の説明範囲

VI-3-別添 3-2-7-2 浸水防止蓋

(第 3 号機補機冷却海水系放水ピット) の強度計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造計画	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用基準	6
2.5	記号の説明	7
3.	評価対象部位	9
3.1	応力評価の評価対象部位	9
3.2	変形性評価の評価対象部位	12
4.	固有値解析	13
4.1	固有値解析のモデルの設定及び解析手法	13
4.2	固有振動数の計算結果	15
5.	構造強度評価	18
5.1	応力評価方法	18
5.2	変形性評価方法	29
6.	評価結果	30

 : 本日の説明範囲

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に設定している構造を踏まえて、突き上げ津波荷重及び余震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

3.1 応力評価の評価対象部位

応力評価の評価対象部位は、津波荷重及び余震荷重が浸水防止蓋及び鋼製ブラケットに作用し、鋼製ブラケットを固定している固定ボルトを介して躯体に伝達することから、浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトを応力評価の評価対象部位として設定する。

また、浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は締付部（固定ボルト）を介して浸水防止蓋に伝達されることから締付部の固定ボルトを評価対象部位として設定する。

応力評価の評価対象部位について図 3-1 に示す。

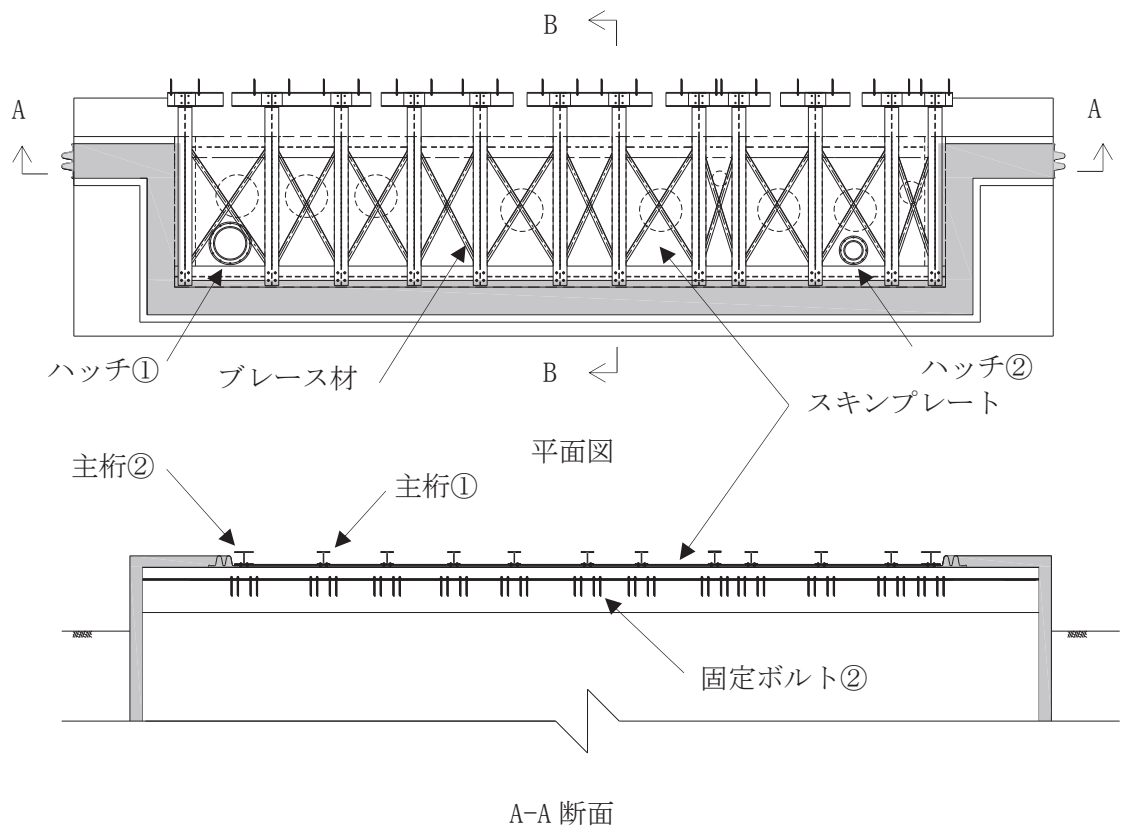


図 3-1(1) 評価対象部位 (応力評価)

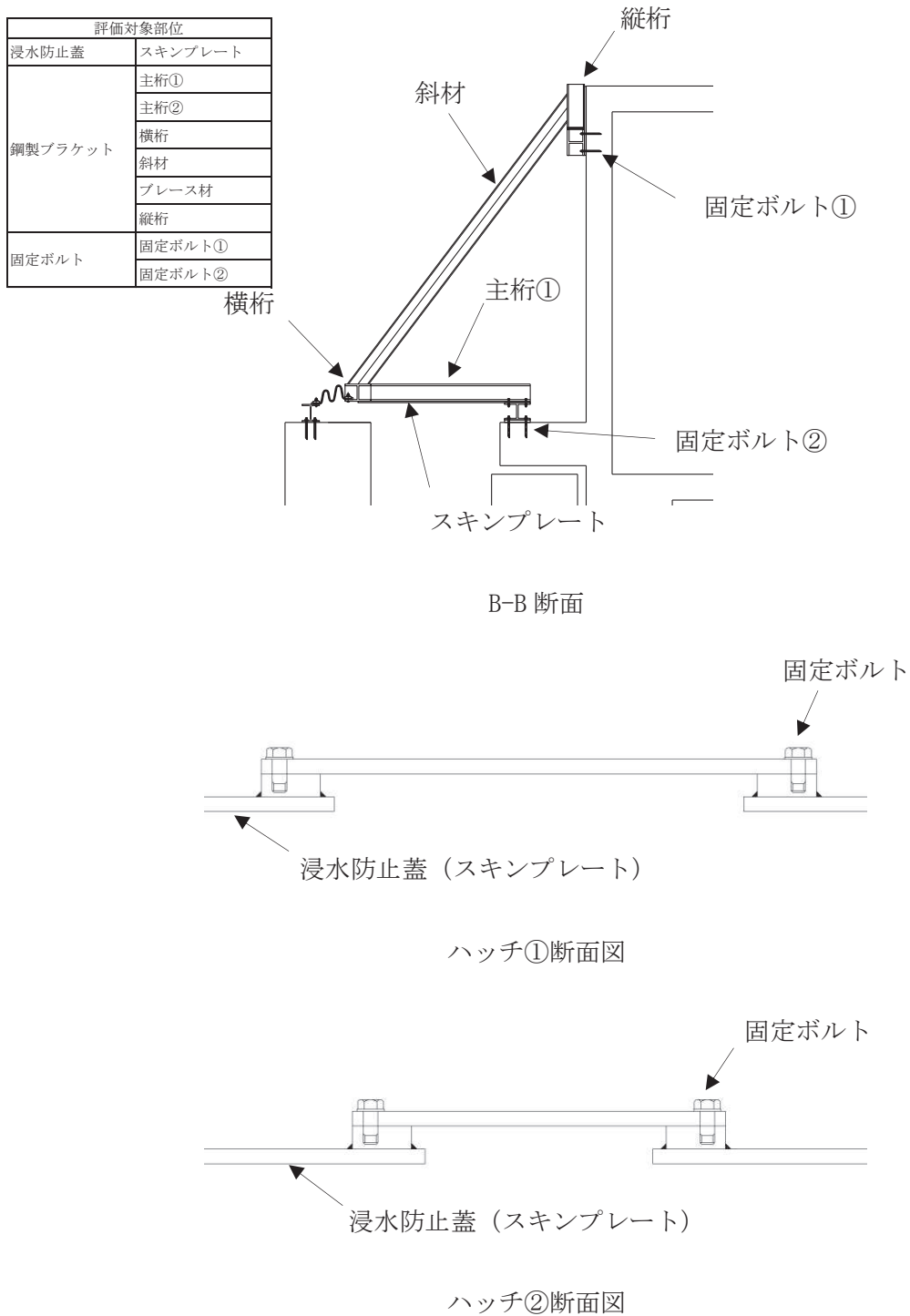


図 3-1(2) 評価対象部位 (応力評価)

5. 構造強度評価

5.1 応力評価方法

浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトの応力評価は、添付書類「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」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.1.2 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.1.1 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + P_t + S_d + P_s$$

ここで、G : 固定荷重(kN)

P_t : 突き上げ津波荷重(kN/m²)

S_d : 弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による余震荷重(kN)

P_s : 積雪荷重(kN)

なお、浸水防止蓋については、鉛直方向の荷重の組合せにおいて、自重及び積雪荷重は鉛直下向きに作用し計算上有利となる事から考慮しない。

(2) 荷重の設定

応力評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

b. 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重は、浸水防止蓋に作用するものとする。また、評価においては浸水津波荷重を含むものとし、以下の式により算出する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_D \cdot \rho_0 \cdot U^2 + \rho_0 \cdot g \cdot H$$

ここで、 P_t : 突き上げ津波荷重(kN/m²)

C_D : 抗力係数(=2.01)

ρ_0 : 水の密度(=1.03t/m³)

U : 流速(=1.0m/s)

g : 重力加速度(=9.80665m/s²)

H : 評価高さ

(設計津波水位 O.P. +18.0m—設置位置 O.P. +14.6m=3.4m)

c. 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-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」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 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」に基づき 43cm 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以下に式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、P_s : 積雪荷重(kN)

W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)

d_s : 積雪高さ 43 (cm)

A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

d. 余震荷重 (S_d)

余震荷重として、添付書類「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 2 に伴う地震力を考慮する。

「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止蓋と鋼製ブラケットを一体として解析した固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、応力評価に用いる設計震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。ここで、地震力は浸水防止蓋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ものとし、下記のとおり算出する。

$$S_{dH} = (G + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで、S_{dH} : 弾性設計用地震動 S_d-D 2 の水平方向の余震荷重(kN)

G : 固定荷重(kN)

P_s : 積雪荷重(kN)

α_H : 弾性設計用地震動 S_d-D 2 の水平方向の余震震度

また、表 5-1 のとおり、鉛直方向の余震震度が 1 未満であることから、浸水防止蓋の自重と鉛直方向の地震力を足し合わせた荷重は、突き上げ津波荷重を相殺する向きに作用するため、浸水防止蓋の応力評価においては自重と鉛直方向の地震力を保守的に考慮しないこととする。余震震度を表 5-1 に示す。

表 5-1 余震震度

設置場所	床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S d - D 2 の余震震度		
		水平方向 (N-S) $\alpha_{H(NS)}$	水平方向 (E-W) $\alpha_{H(EW)}$	鉛直方向 α_v
第 3 号機海水 熱交換器建屋	O. P. 14.0	1.58	1.39	0.74

5.1.2 許容限界

浸水防止蓋の許容限界は、「3. 評価対象部位」にて設定した部位に対し、添付書類「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

浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトの使用材料を表 5-2 に示す。

表 5-2 使用材料

評価対象部位		材質	仕様
浸水防止蓋	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
鋼製ブラケット	主桁①	SUS304	H-200×200×20×20 (mm)
	主桁②	SUS304	H-200×300×20×20 (mm)
	横桁	SUS304	H-200×300×20×20 (mm)
	斜材	SUS304	H-200×200×8×12 (mm)
	ブレース材	SUS304	L-60×60×5 (mm)
	縦桁	SUS304	H-200×200×8×12 (mm)
固定ボルト	固定ボルト①	SUS304	M20
	固定ボルト②	SUS304	M20
ハッチ①	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	固定ボルト	SUS304	M16
ハッチ②	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	固定ボルト	SUS304	M16

(2) 許容限界

a. 浸水防止蓋，鋼製ブラケット，ハッチ

浸水防止蓋，鋼製ブラケット及びハッチの許容応力度は，「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき表 5-3 の値とする。

表 5-3 浸水防止蓋，鋼製ブラケットの短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SUS304	205	118

b. 固定ボルト

固定ボルトの許容荷重は，「3. 評価対象部位」に記載した固定ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重を表 5-4 に示す。

なお，固定ボルトは躯体に埋め込まれていることから，固定ボルトが引張力を受ける場合においては，固定ボルトの降伏により決まる許容荷重，付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，固定ボルトがせん断力を受ける場合においては，固定ボルトのせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 5-4 地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの短期許容荷重

部位	材質	短期許容荷重 (kN)	
		引張	せん断
固定ボルト①	SUS304	50.2	35.1
固定ボルト②	SUS304	37.8	18.4

(4) ハッチ

固定ボルトに作用する荷重を以下の式により算出する。

なお、固定ボルト①の照査箇所のボルト本数は 12 本であり、また固定ボルト②の照査箇所のボルト本数は 8 本である。

a. 固定ボルト 1 本当りに生じる鉛直方向の引張応力度 σ_t

$$\sigma_t = T_s \cdot 10^3 / A'$$

$$T_s = P_t \cdot A_h \cdot 10^{-6} / n_s$$

ここで、 σ_t : ハッチの固定ボルト 1 本当りに生じる引張応力度 (N/mm²)

T_s : ハッチの固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

P_t : 突き上げ津波荷重 (kN/m²)

A_h : ハッチの受圧面積 (mm²)

n_s : ハッチの固定ボルトの本数 (本)

A' : ハッチの固定ボルトの有効断面積 (mm²)

b. 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向の余震荷重 S d h

$$S_{dh} = (G + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで、 S_{dh} : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向 (N-S) の余震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

α_H : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向 (N-S) の余震震度

c. 固定ボルト 1 本当りに生じるせん断応力度 τ_s

$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで、 $q_s = S_{dh} / n_s$

τ_s : ハッチの固定ボルト 1 本当りに生じるせん断応力度 (N/mm²)

q_s : ハッチの固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

S_{dh} : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向 (N-S) の余震荷重 (kN)

n_s : ハッチの固定ボルトの本数 (本)

A' : ハッチの固定ボルトの有効断面積 (mm²)

5.1.5 計算条件

浸水防止蓋の応力評価に用いる入力値を表 5-6 に示す。

表 5-6 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
浸水防止蓋 (スキンプレート)	A_s	mm^2	浸水防止蓋の単位幅あたりのせん断断面積	16
	α	—	平板のモーメントに関する係数	0.085
	β	—	平板のせん断に関する係数	0.55
	l_x	mm	浸水防止蓋の短辺長(mm)	1250
	A	m^2	浸水防止蓋の面積	1.86
	Z	mm^3	浸水防止蓋の断面係数	42.67
固定ボルト①	R_n	kN	固定ボルトの支点反力(引張)	11.4
	R_m	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	固定ボルトの支点モーメント	2935
	R_s	kN	固定ボルトの支点反力(せん断)	36.9
	B	mm	照査箇所のボルト間隔	200
	N	本	照査箇所の固定ボルトの本数	4
固定ボルト②	R_n	kN	固定ボルトの支点反力(引張)	40.7
	R_m	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	固定ボルトの支点モーメント	19197
	R_s	kN	固定ボルトの支点反力(せん断)	39.6
	B	mm	照査箇所のボルト間隔	200
	N	本	照査箇所の固定ボルトの本数	8
ハッチ①	T_s	N	固定ボルト1本当りに作用する引張力	0.752
	P_t	kN/m^2	突き上げ津波荷重	35.378
	A_h	mm^2	ハッチの受圧面積	255176
	n_s	本	固定ボルトの本数	12
	A'	mm^2	固定ボルトの有効断面積	157
ハッチ②	T_s	N	固定ボルト1本当りに作用する引張力	0.475
	P_t	kN/m^2	突き上げ津波荷重	35.378
	A_h	mm^2	ハッチの受圧面積	107521
	n_s	本	固定ボルトの本数	8
	A'	mm^2	固定ボルトの有効断面積	157

表 6-1(4) 応力評価結果 (固定ボルト) (4/5)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
固定ボルト①	引張	10.2	kN	50.2	kN	0.21 < 1.0
	せん断	9.3	kN	35.1	kN	0.27 < 1.0
	組合せ	—		—		0.12 < 1.0
固定ボルト②	引張	29.1	kN	37.8	kN	0.77 < 1.0
	せん断	5.0	kN	18.4	kN	0.28 < 1.0
	組合せ	—		—		0.67 < 1.0

表 6-1(5) 応力評価結果 (ハッチ部固定ボルト) (5/5)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ハッチ①	引張	4.8	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	0.4	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	—		—		0.03 < 1.0
ハッチ②	引張	3.1	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	0.3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	—		—		0.02 < 1.0

表 6-2 変形性評価結果

評価対象部位		地震時 最大変位量 (mm)		地震時 相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
		第 3 号機海水 熱交換器建屋	第 3 号機補機冷却 海水系放水ピット	評価用 変位量	
止水ジョイント①	開き方向	20	52	72	350
	せん断方向	21	137	158	350
止水ジョイント②	開き方向	21	137	158	350
	せん断方向	20	52	72	350
止水ジョイント③	開き方向	20	52	72	350
	せん断方向	21	137	158	350