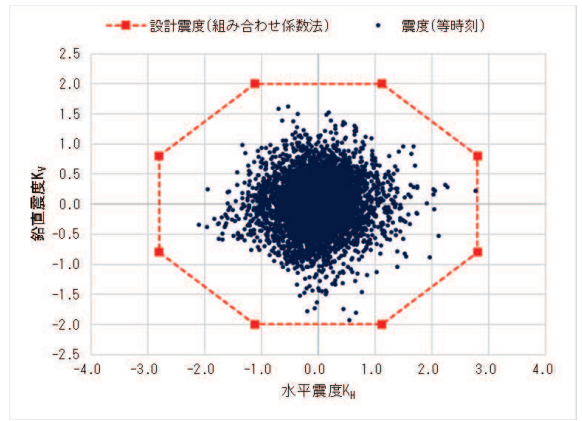
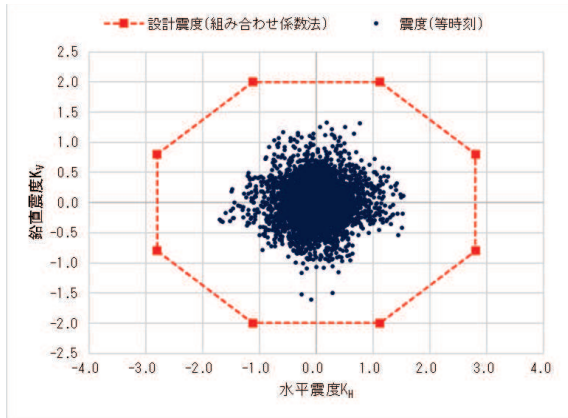


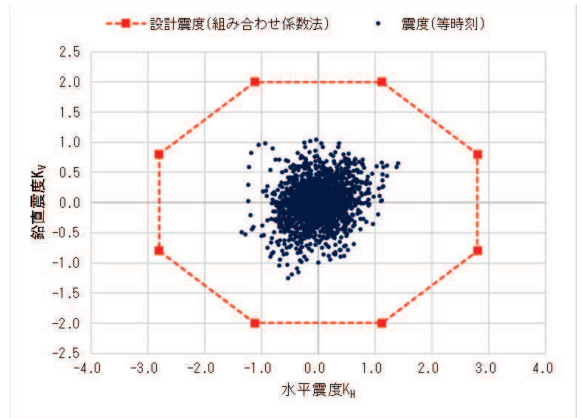
(Ss-D1)



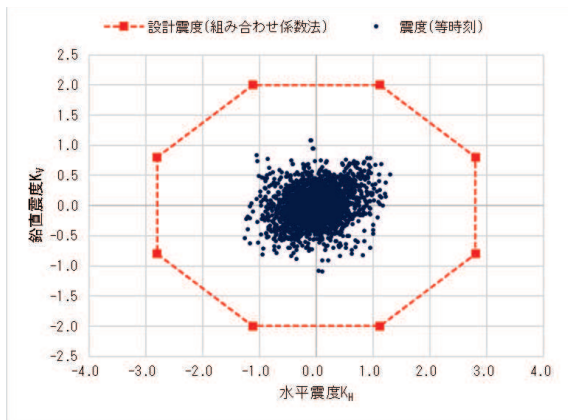
(Ss-D2)



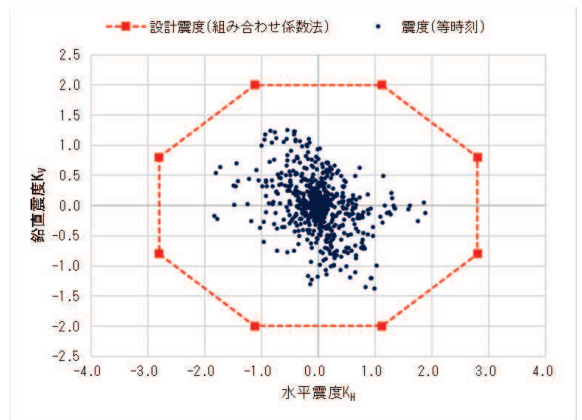
(Ss-D3)



(Ss-F1)

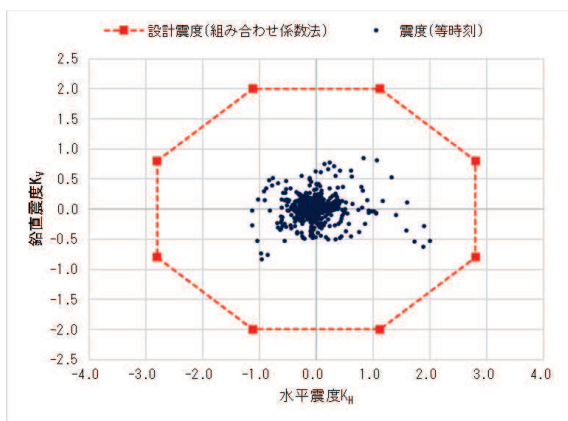


(Ss-F2)

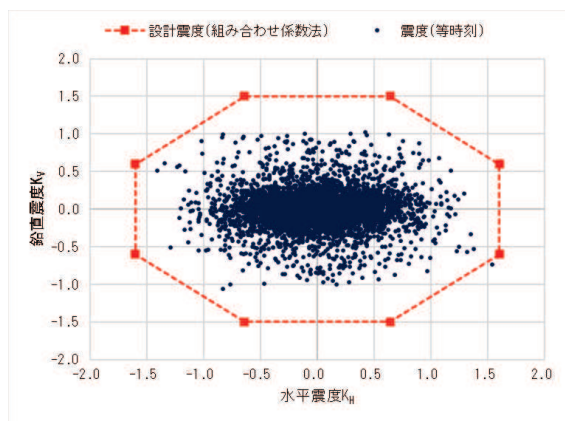


(Ss-F3)

図18-4(1) 地震応答解析に基づくオービットの作成結果 (鋼桁1)

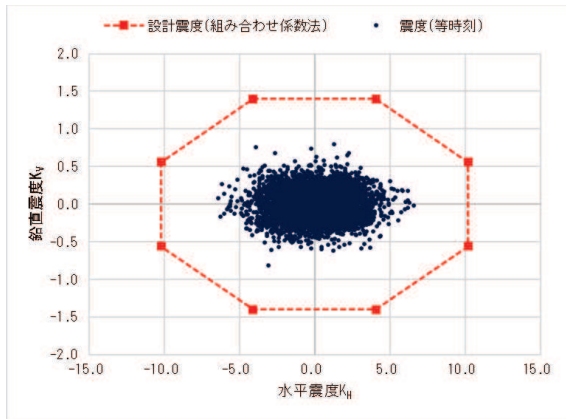


(Ss-N1)

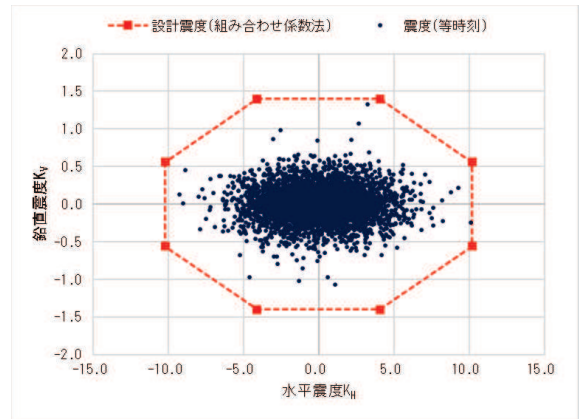


(Sd-D2)

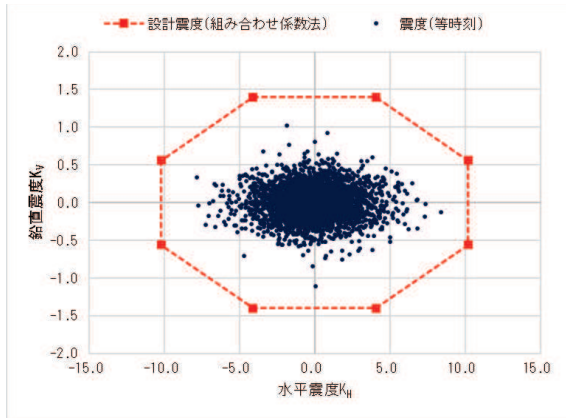
図18-4(2) 地震応答解析に基づくオービットの作成結果 (鋼桁1)



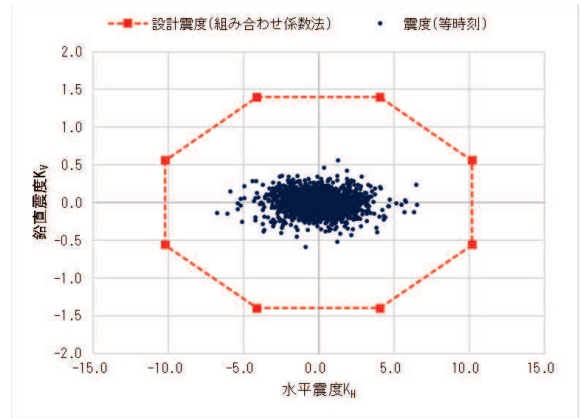
(Ss-D1)



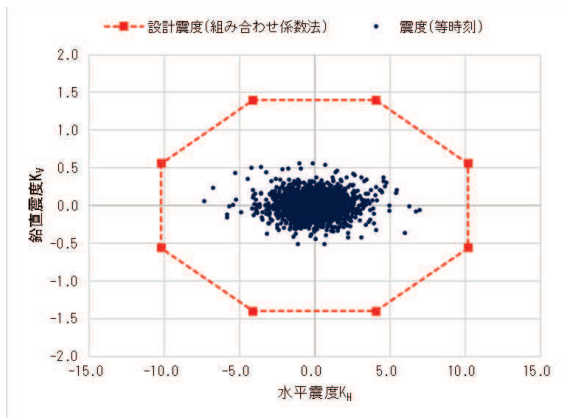
(Ss-D2)



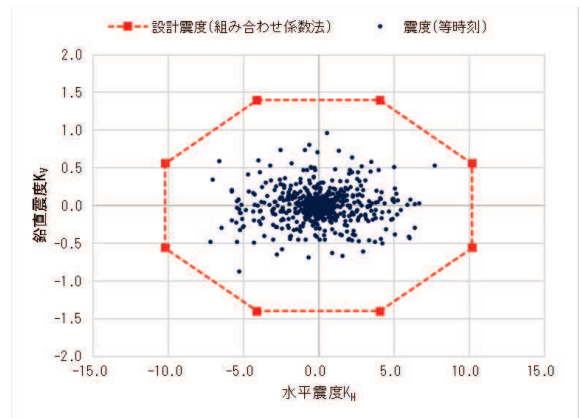
(Ss-D3)



(Ss-F1)

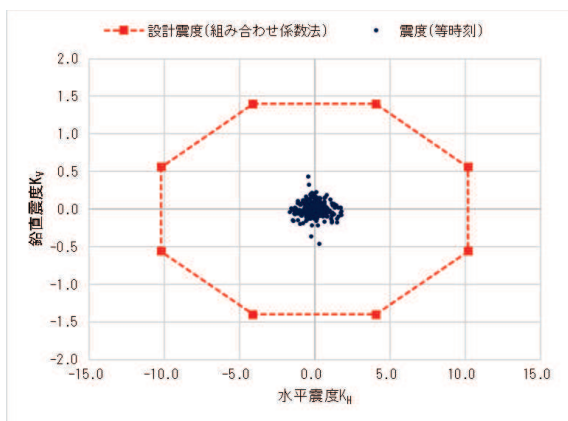


(Ss-F2)

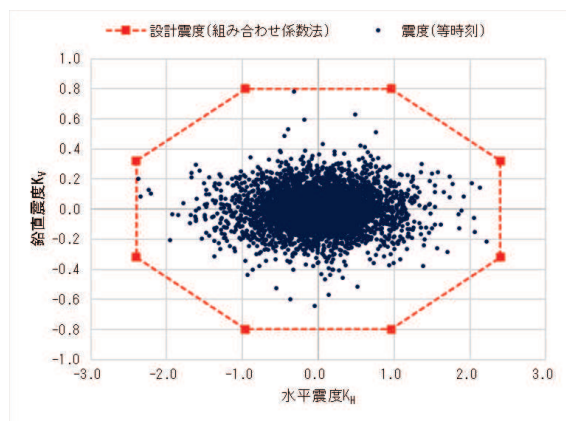


(Ss-F3)

図18-5(1) 地震応答解析に基づくオービットの作成結果 (鋼桁3)

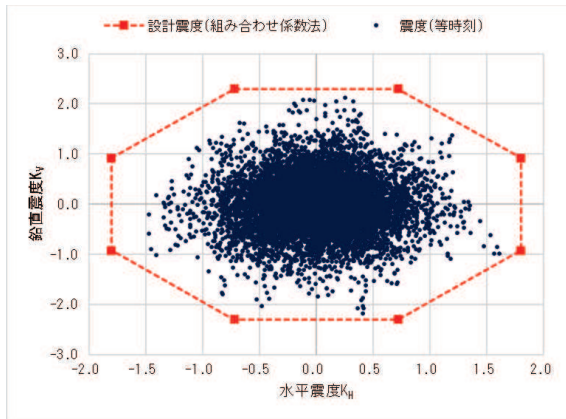


(Ss-N1)

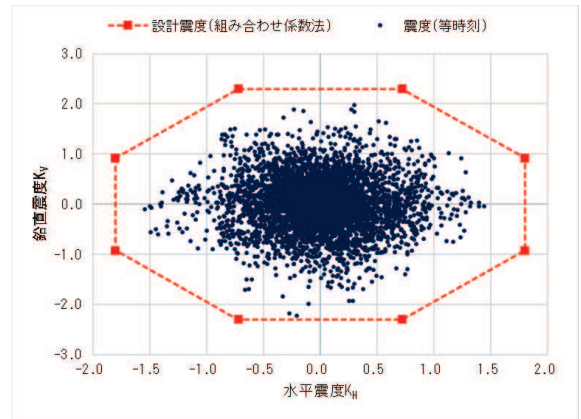


(Sd-D2)

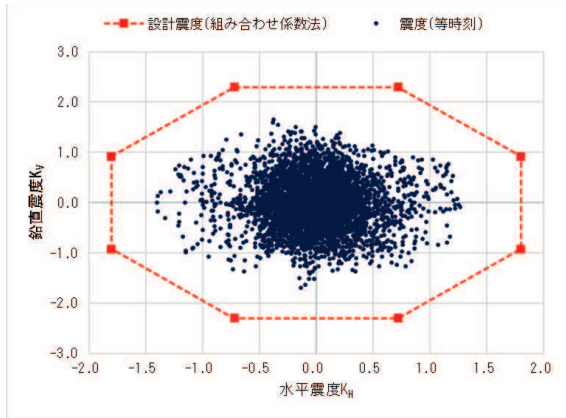
図18-5(2) 地震応答解析に基づくオービットの作成結果 (鋼桁3)



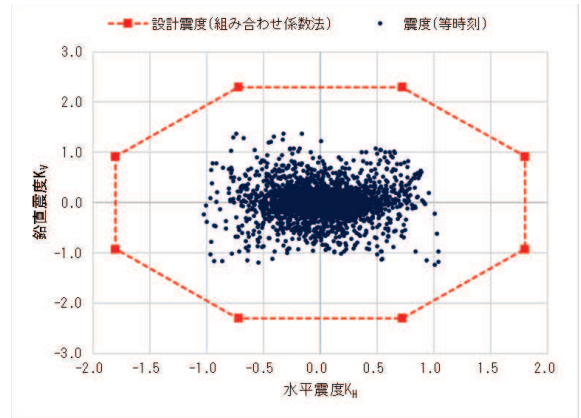
(Ss-D1)



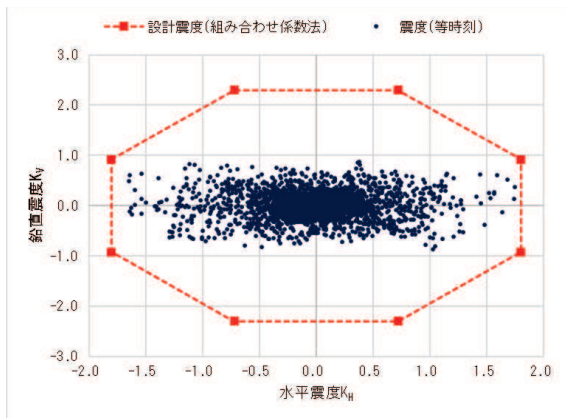
(Ss-D2)



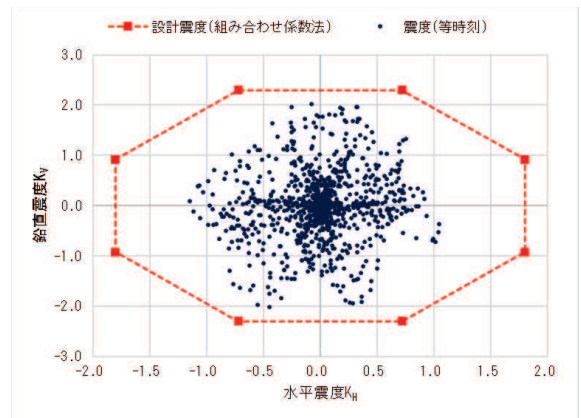
(Ss-D3)



(Ss-F1)

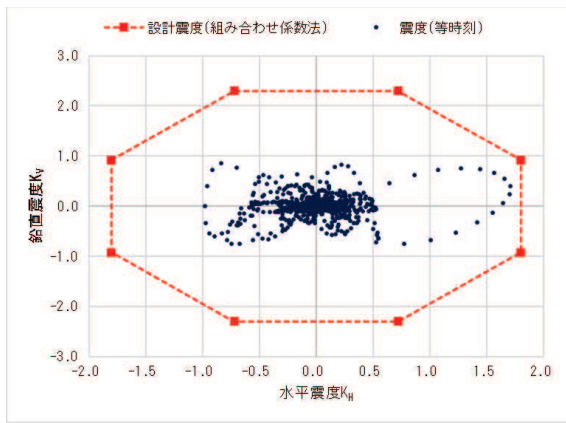


(Ss-F2)

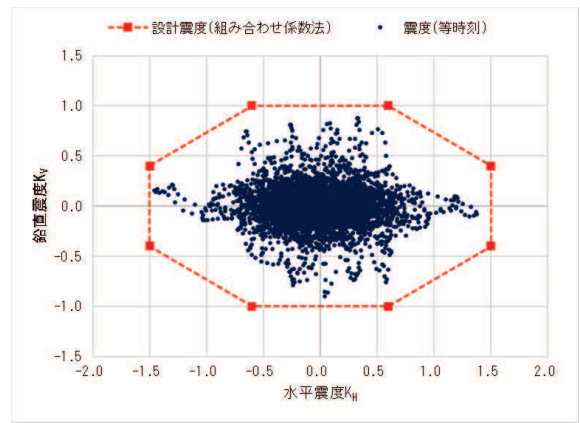


(Ss-F3)

図18-6(1) 地震応答解析に基づくオービットの作成結果 (鋼桁4)

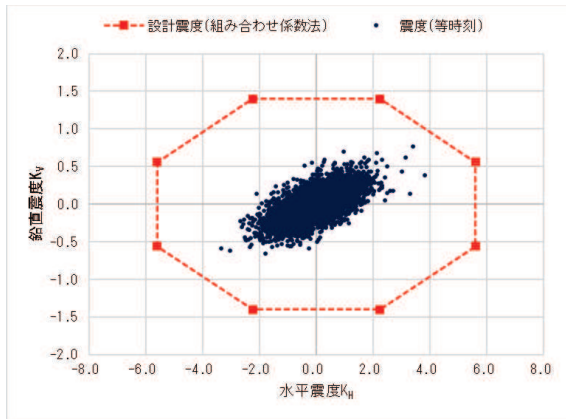


(Ss-N1)

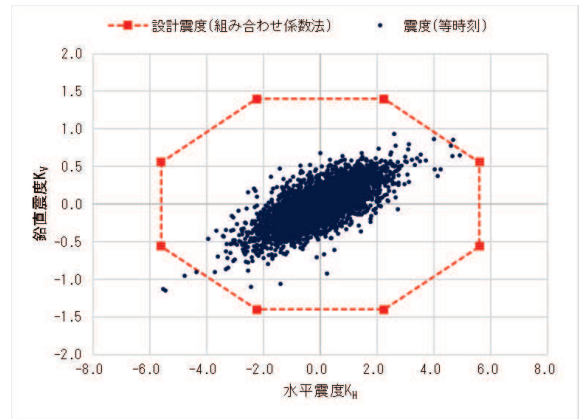


(Sd-D2)

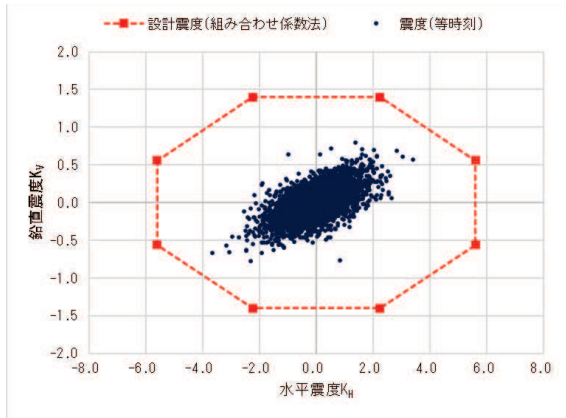
図18-6(2) 地震応答解析に基づくオービットの作成結果 (鋼桁4)



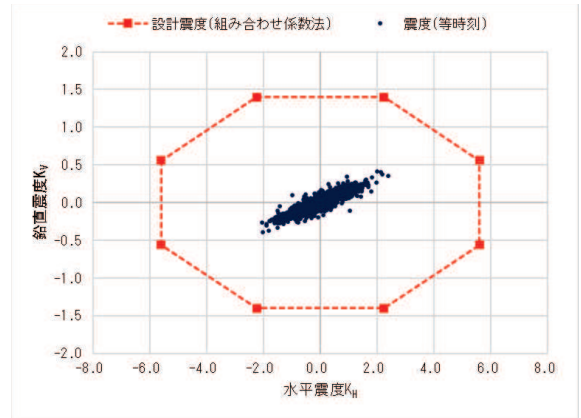
(Ss-D1)



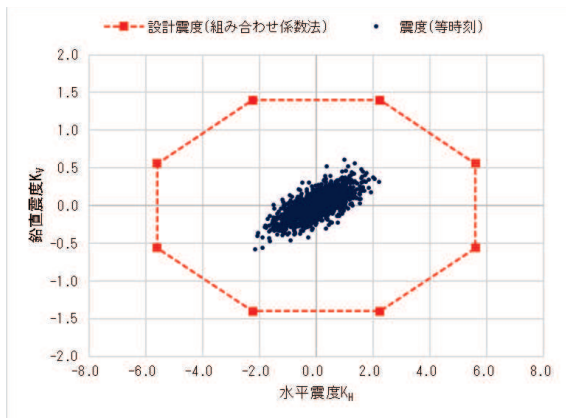
(Ss-D2)



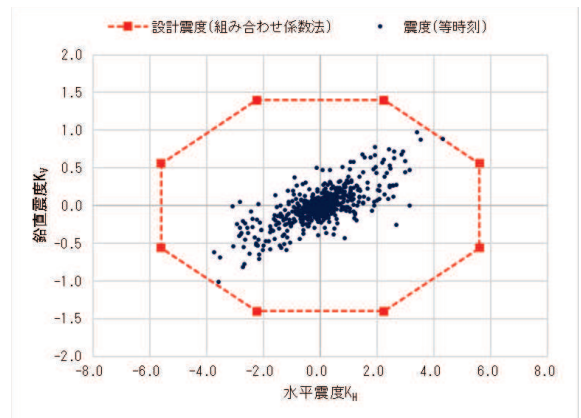
(Ss-D3)



(Ss-F1)

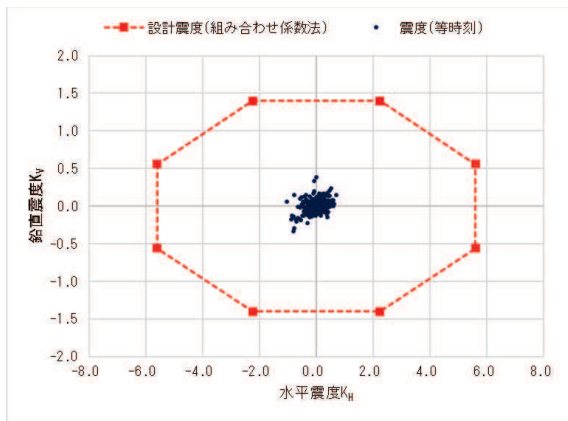


(Ss-F2)

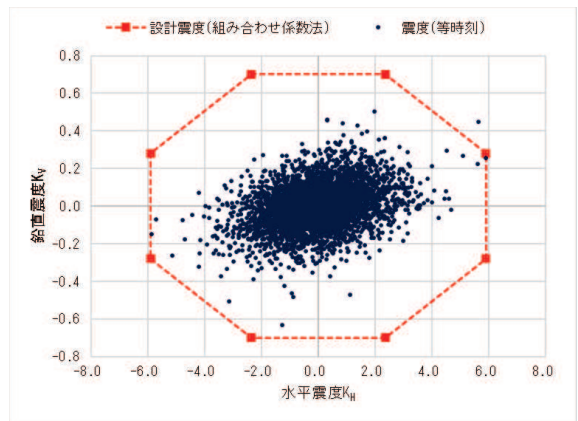


(Ss-F3)

図18-7(1) 地震応答解析に基づくオービットの作成結果 (鋼製扉2)



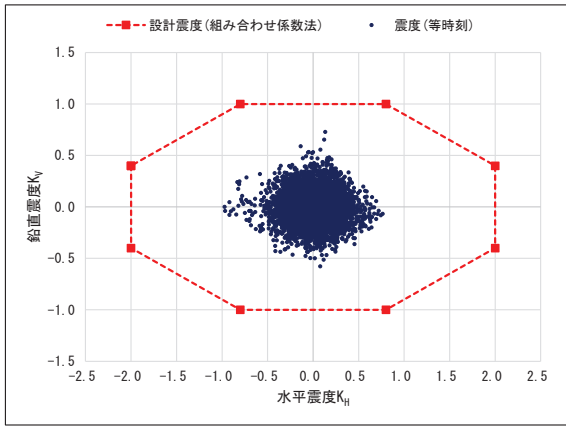
(Ss-N1)



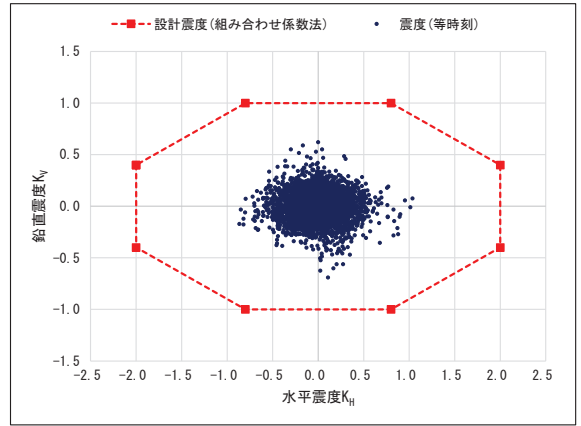
(Sd-D2)

図18-7(2) 地震応答解析に基づくオービットの作成結果 (鋼製扉 2)

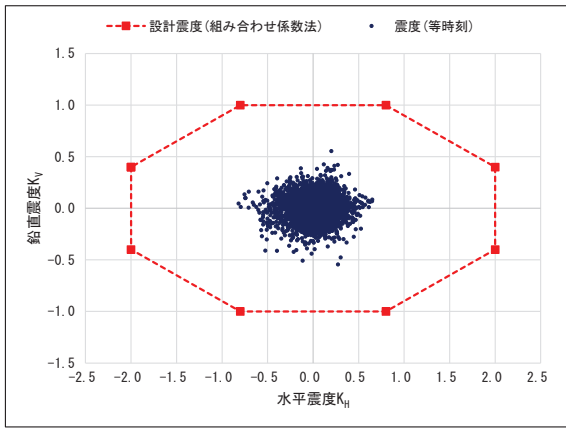




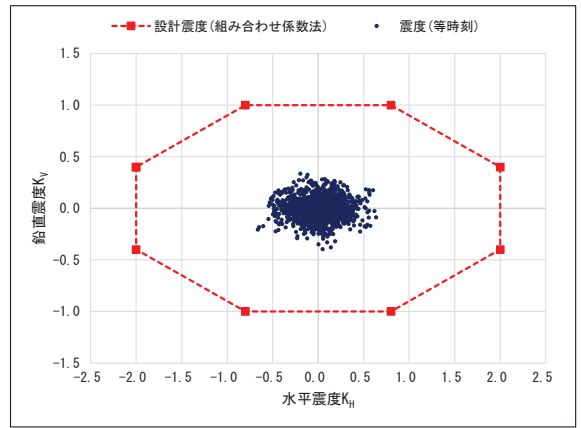
(Ss-D1)



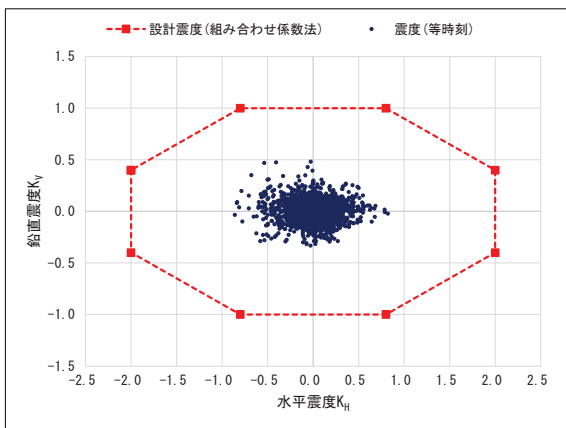
(Ss-D2)



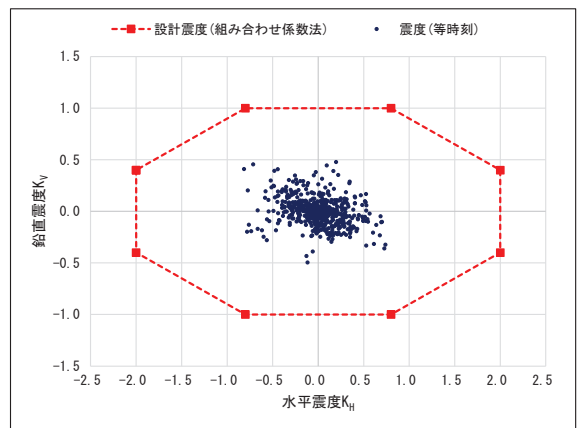
(Ss-D3)



(Ss-F1)

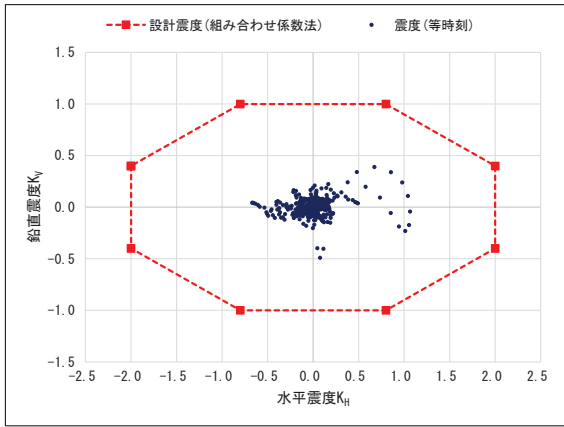


(Ss-F2)

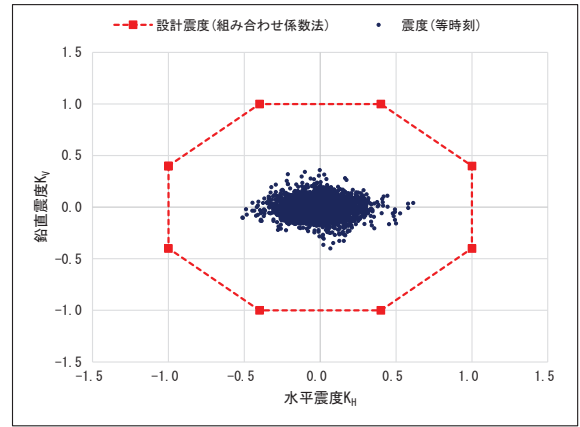


(Ss-F3)

図18-8(1) 地震応答解析に基づくオービットの作成結果 (防潮堤取り合い部④)

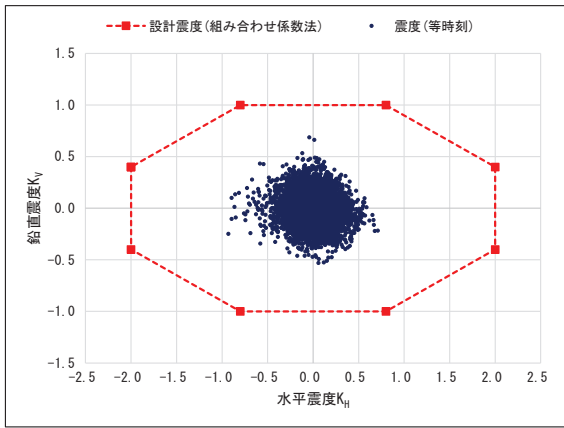


(Ss-N1)

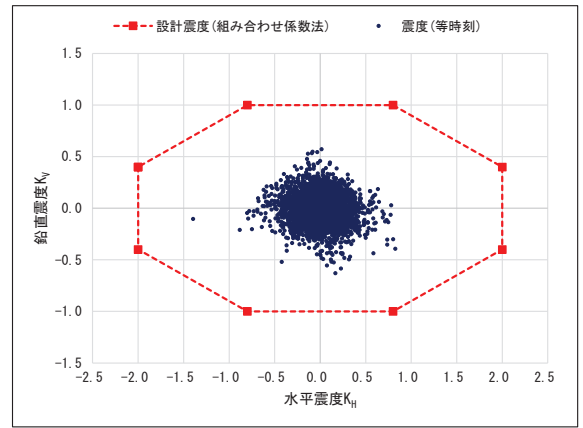


(Sd-D2)

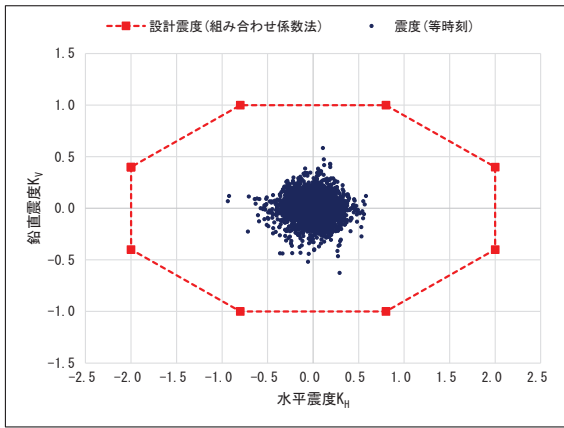
図18-8(2) 地震応答解析に基づくオービットの作成結果 (防潮堤取り合い部④)



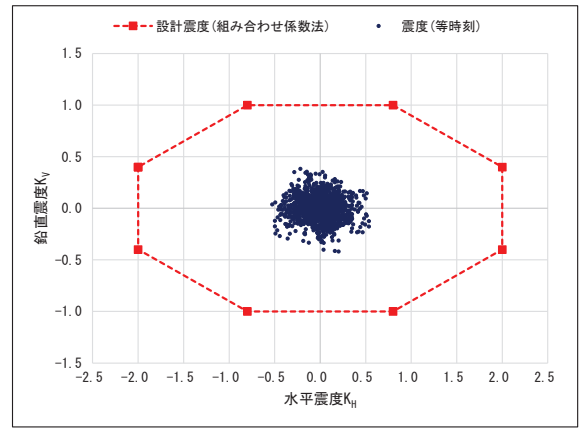
(Ss-D1)



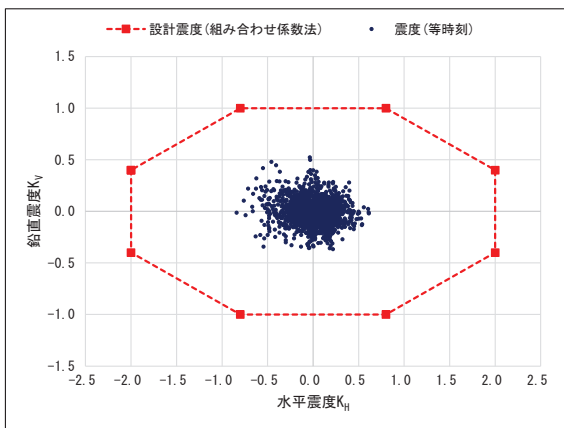
(Ss-D2)



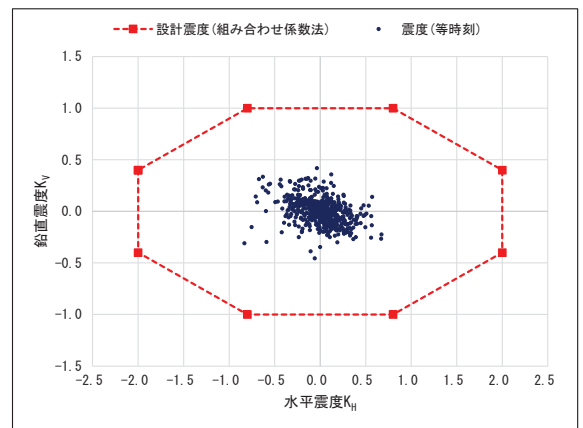
(Ss-D3)



(Ss-F1)

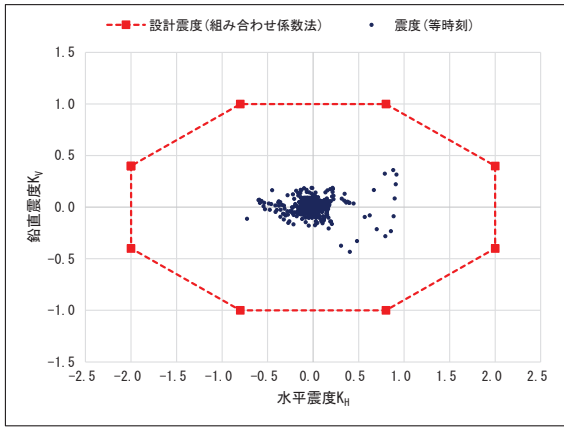


(Ss-F2)

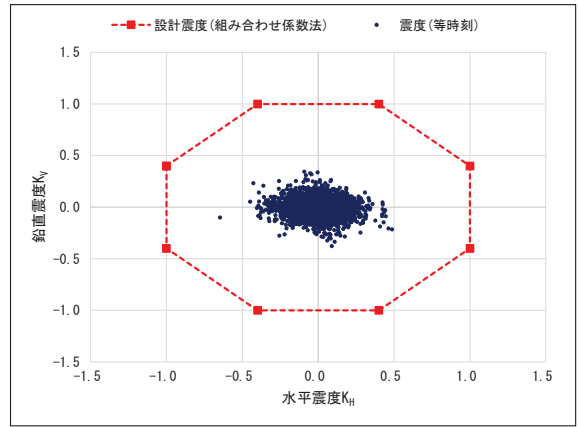


(Ss-F3)

図18-9(1) 地震応答解析に基づくオービットの作成結果 (防潮堤取り合い部④)  
(防潮堤縦断モデル：断面⑧)



(Ss-N1)



(Sd-D2)

図18-9(2) 地震応答解析に基づくオービットの作成結果 (防潮堤取り合い部④)  
(防潮堤縦断モデル：断面⑧)

表 19-2(1) 組合せ係数法を考慮しない場合（水平 1.0：鉛直 1.0）の照査結果  
（扉体（主桁・鉛直桁）：地震時）

部位	荷重の組合せケース	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
鋼製扉2	1 (G+1.0S <sub>SH</sub> +1.0S <sub>SV</sub> )	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	40	366	0.11
		せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	17	210	0.09
		合成応力度 (—)	0.02	1.20	0.02
	2 (G+1.0S <sub>SH</sub> -1.0S <sub>SV</sub> )	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	130	366	0.36
		せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	22	210	0.11
		合成応力度 (—)	0.13	1.20	0.11
	3 (G-1.0S <sub>SH</sub> +1.0S <sub>SV</sub> )	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	48	366	0.14
		せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	53	210	0.26
		合成応力度 (—)	0.06	1.20	0.05
	4 (G-1.0S <sub>SH</sub> -1.0S <sub>SV</sub> )	曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	137	366	0.38
		せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	60	210	0.29
		合成応力度 (—)	0.15	1.20	0.13

表 19-2(2) 組合せ係数法を考慮しない場合（水平 1.0：鉛直 1.0）の照査結果  
（ヒンジ部（ヒンジリブ，回転軸）：地震時）

部位	荷重の組合せケース	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
鋼製扉2	1 ( $G+1.0S_{SH}+1.0S_{SV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	11	222	0.05
		せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	3	127	0.03
		合成応力度 (—)	0.01	1.20	0.01
	2 ( $G+1.0S_{SH}-1.0S_{SV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	58	222	0.27
		せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	17	136	0.13
		合成応力度 (—)	0.07	1.20	0.06
	3 ( $G-1.0S_{SH}+1.0S_{SV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	29	222	0.14
		せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	8	127	0.07
		合成応力度 (—)	0.02	1.20	0.02
	4 ( $G-1.0S_{SH}-1.0S_{SV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	72	222	0.33
		せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	22	136	0.17
		合成応力度 (—)	0.11	1.20	0.10

表 19-2(3) 組合せ係数法を考慮しない場合（水平 1.0：鉛直 1.0）の照査結果  
（扉体部（スキンプレート）：地震時）

部位	荷重の組合せケース	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
鋼製扉2	1 ( $G+1.0S_{SH}+1.0S_{SV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	21	382	0.06
	2 ( $G+1.0S_{SH}-1.0S_{SV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	21	382	0.06
	3 ( $G-1.0S_{SH}+1.0S_{SV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	21	382	0.06
	4 ( $G-1.0S_{SH}-1.0S_{SV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	21	382	0.06

表 19-3(1) 組合せ係数法を考慮しない場合（水平 1.0：鉛直 1.0）の照査結果  
（扉体（主桁・鉛直桁）：重畳時）

部位	荷重の組合せケース	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
鋼製扉2	1 ( $G+1.0S_{dH}+1.0S_{dV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	189	279	0.68
		せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	100	210	0.48
		合成応力度 (—)	0.51	1.20	0.43
	2 ( $G+1.0S_{dH}-1.0S_{dV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	204	279	0.74
		せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	105	210	0.50
		合成応力度 (—)	0.60	1.20	0.50

表 19-3(2) 組合せ係数法を考慮しない場合（水平 1.0：鉛直 1.0）の照査結果  
（ヒンジ部（ヒンジリブ，回転軸）：重畳時）

部位	荷重の組合せケース	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
鋼製扉2	1 ( $G+1.0S_{dH}+1.0S_{dV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	50	222	0.23
		せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	10	127	0.08
		合成応力度 (—)	0.06	1.20	0.05
	2 ( $G+1.0S_{dH}-1.0S_{dV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	77	222	0.35
		せん断応力度 ( $N/mm^2$ )	18	136	0.14
		合成応力度 (—)	0.13	1.20	0.11

表 19-3(3) 組合せ係数法を考慮しない場合（水平 1.0：鉛直 1.0）の照査結果  
（扉体部（スキンプレート）：重畳時）

部位	荷重の組合せケース	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
鋼製扉2	1 ( $G+1.0S_{dH}+1.0S_{dV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	257	382	0.68
	2 ( $G+1.0S_{dH}-1.0S_{dV}$ )	曲げ応力度 ( $N/mm^2$ )	257	382	0.68

## 5. まとめ

荷重の組合せ係数法を用いることの妥当性として、地震応答解析に基づき、作用する水平地震力と鉛直地震力の同時性についてオービットを作成し、組合せ係数法を用いた部材照査の妥当性について確認した。

一部の構造物を除き、全時刻の応答震度が設計震度（組合せ係数法を考慮）に包絡されることを確認した。設計震度を超過した構造物に対して組合せ係数法を考慮しない場合の構造照査（水平設計震度1.0：鉛直設計震度1.0）を行い、僅かに照査値の上振れがあるものの、許容限界（短期許容応力度）に対して裕度を有する事を確認した。

以上のことから、設計裕度も踏まえた上で、組合せ係数法を用いた部材照査の妥当性について確認した。



(参考資料 19) 鋼桁連結部の設計概要について

1. 概要

鋼製遮水壁（鋼桁）の鋼桁は鋼殻ブロックを積み重ねた構造であり，鋼殻ブロック同士は，高力ボルトを用い連結板と母材（鋼桁のフランジ及びウェブ）を締め付け，それらの間の摩擦力によって応力を伝達する高力ボルト継ぎ手（摩擦接合方式）により一体構造としている。なお，鋼殻ブロック継目部の連結板と連結板の間に隙間が生じるため，シール材を設置することで，津波の有意な漏えいを生じない性能を保持する設計としており，その詳細は「6.3 9 杭基礎構造防潮壁の止水ジョイント部材及び止水シールについて」に示す。

高力ボルト継ぎ手（摩擦接合方式）による連結部（以下，連結部という。）の設計は，道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に基づき，母材（鋼桁）に生じる作用力を用い，必要な高力ボルト本数を配置すると共に，連結板については母材（鋼桁）以上の強度・断面性能を有するような設計としている。

本資料は，高力ボルト継ぎ手の設計概要について示すものである。

鋼桁の構造概要及び連結部の構造概要を図 19-1～図 19-5 に示す。

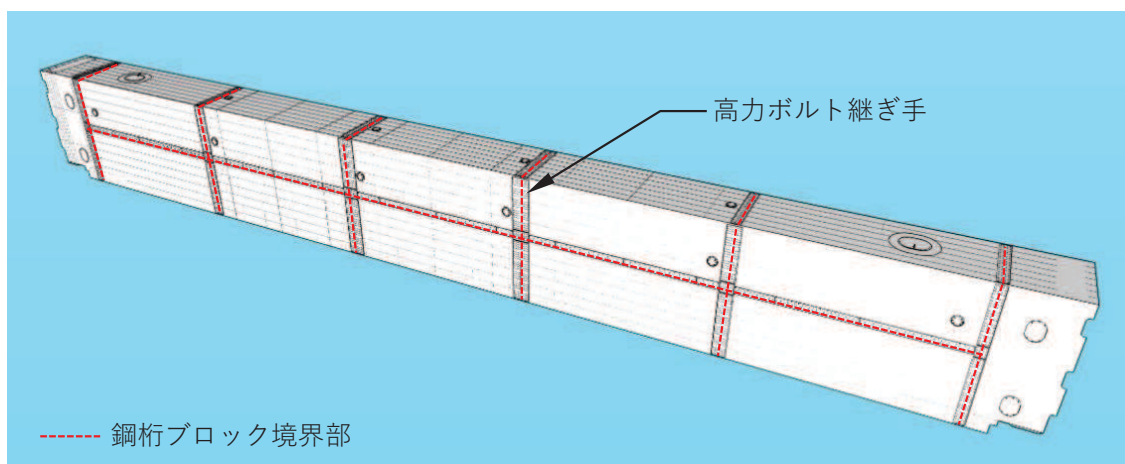
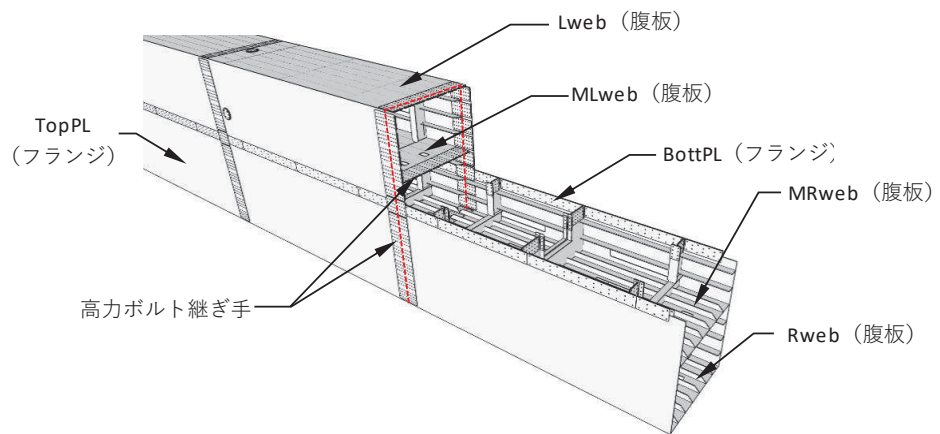


図 19-1(1) 鋼桁の構造概要



Lweb : 水平方向に配置される最上段の隔壁 (ウェブ)  
 MLweb : 水平方向に配置される上から 2 段目の隔壁 (ウェブ)  
 MRweb : 水平方向に配置される上から 3 段目の隔壁 (ウェブ)  
 Rweb : 水平方向に配置される最下段の隔壁 (ウェブ)

図 19-1 (2) 鋼桁の構造概要

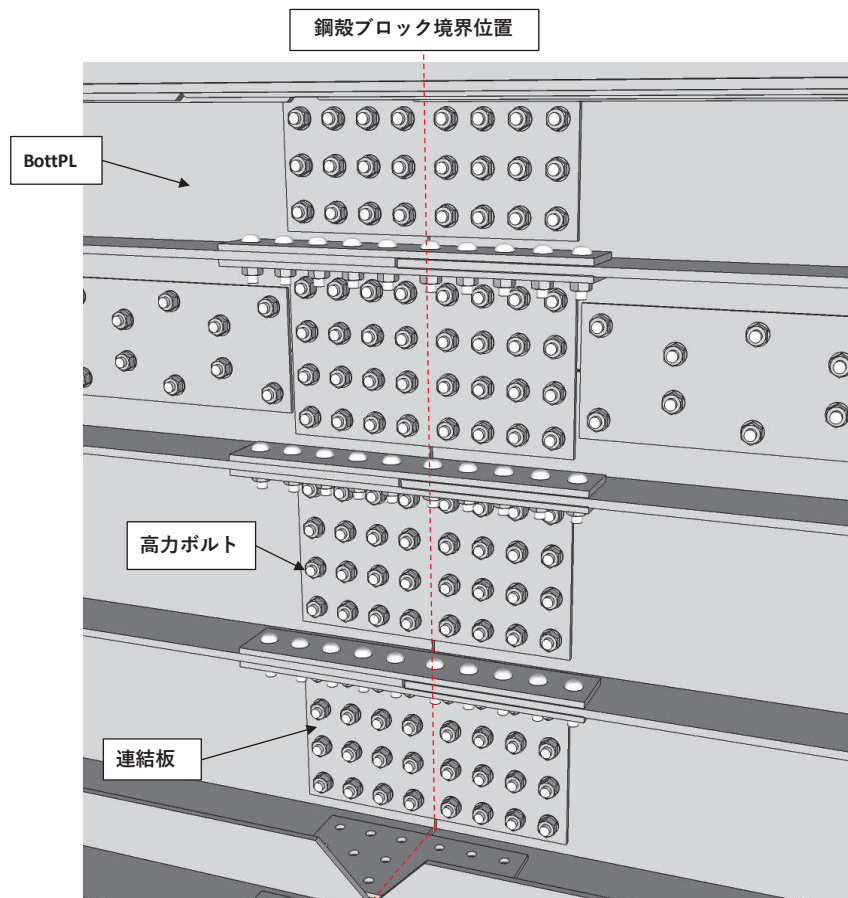


図19-2 連結部の構造概要

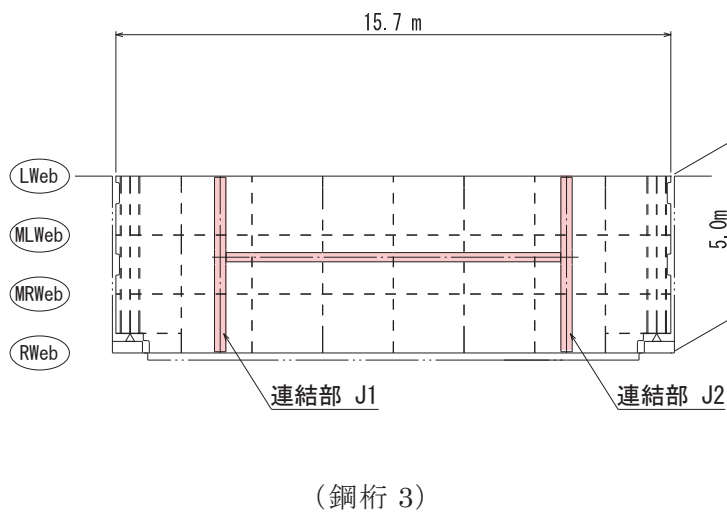
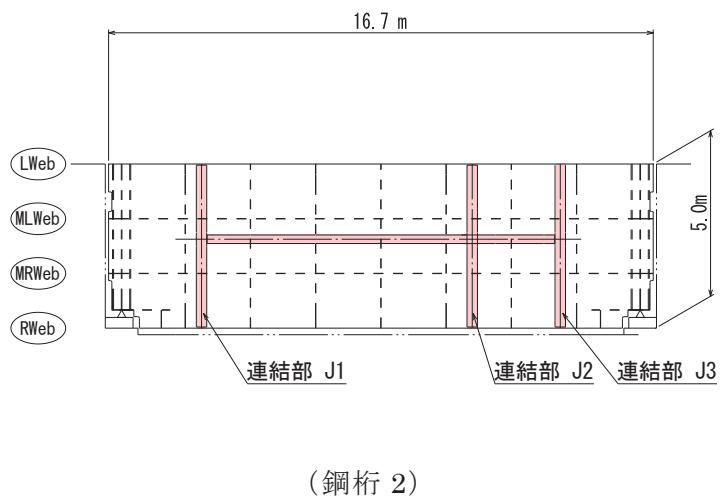
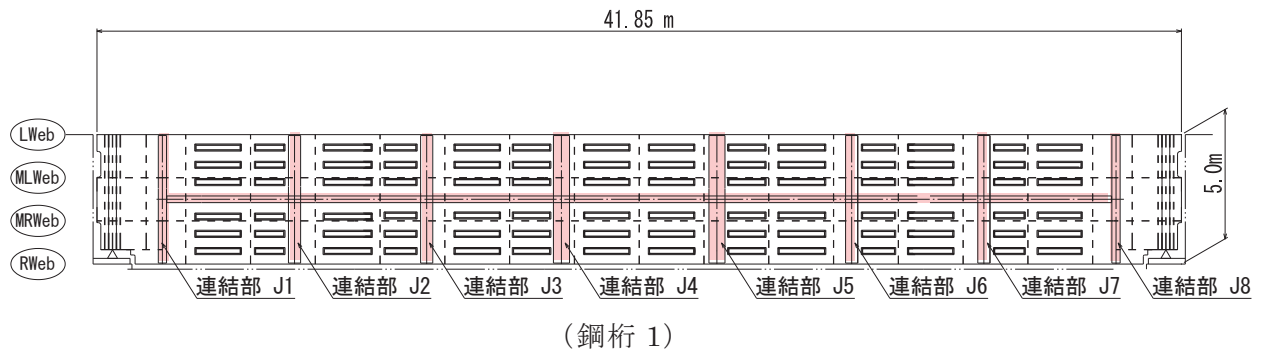


図19-3(1) 連結部の設置概要  
(正面図)

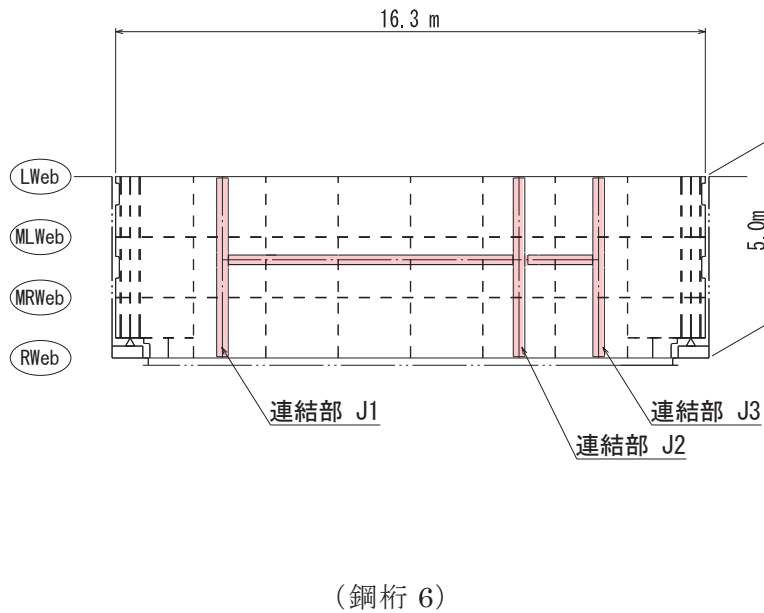
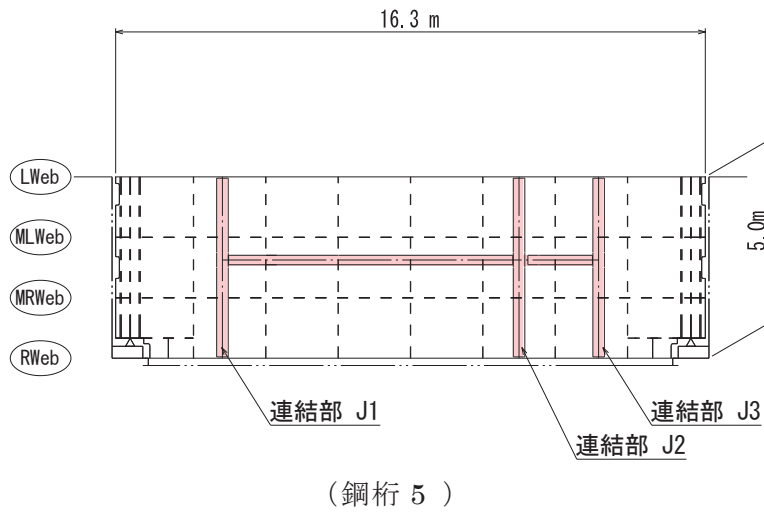
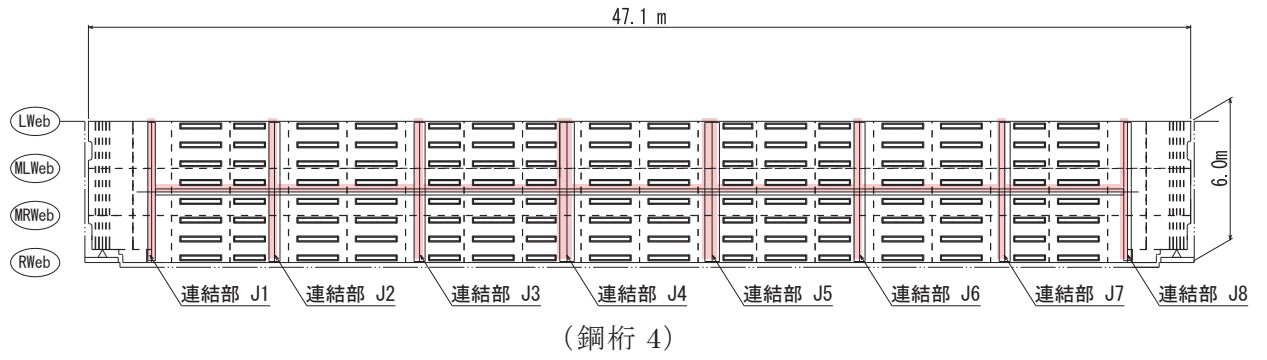
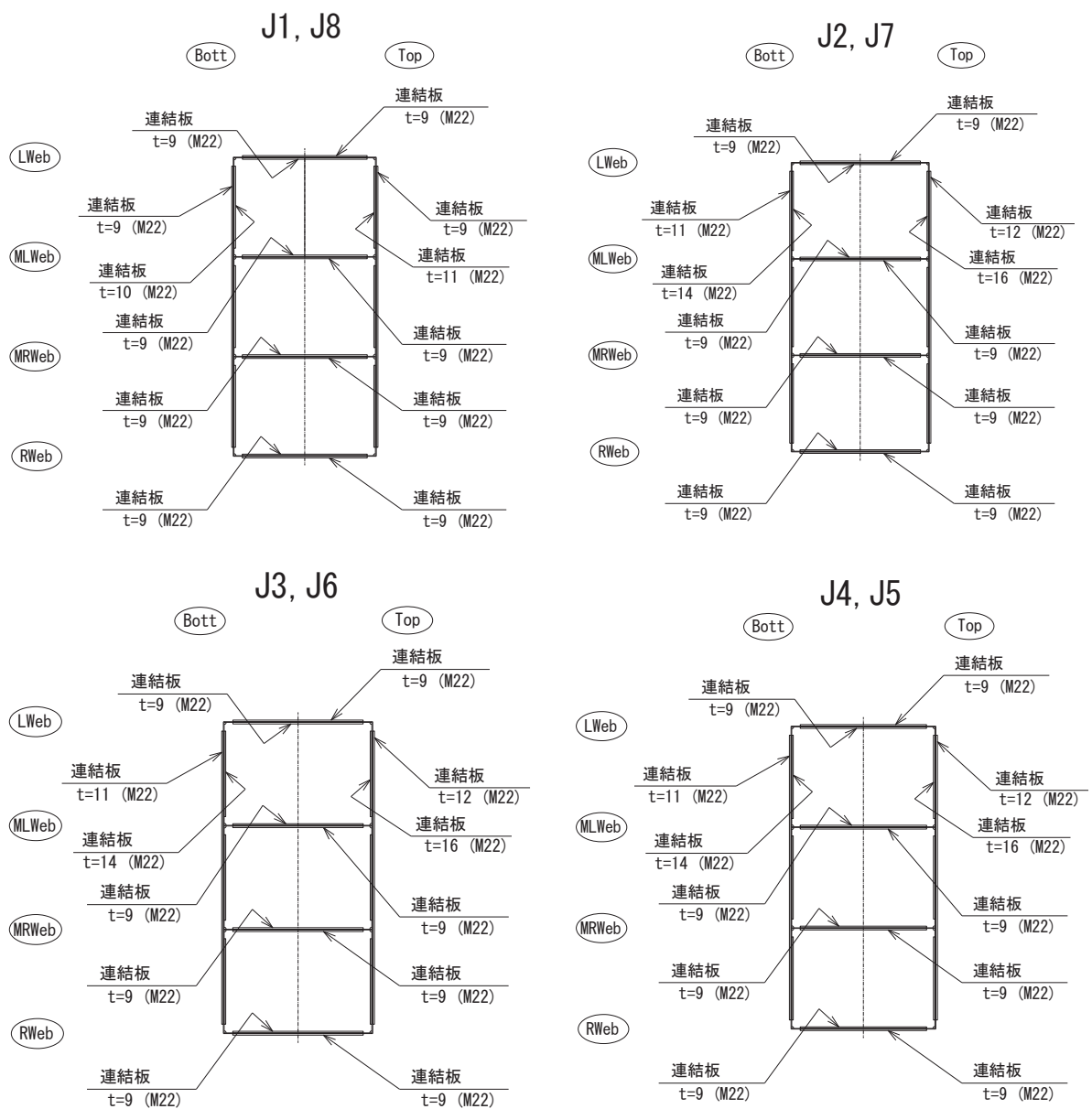


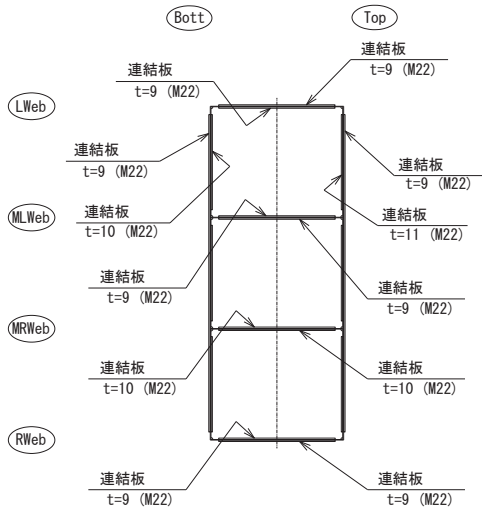
図19-3(2) 連結部の設置概要  
(正面図)



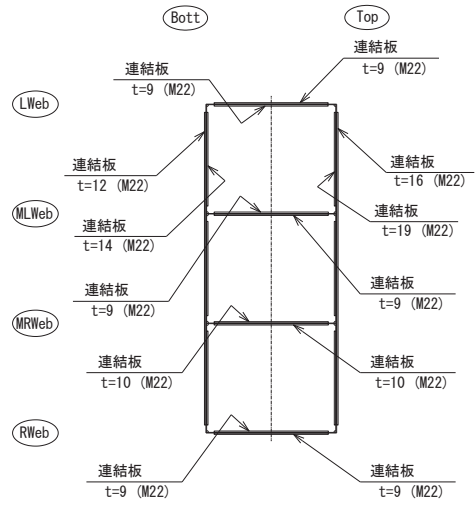
(鋼桁 1)

図19-4(1) 連結部の設置概要  
(断面図)

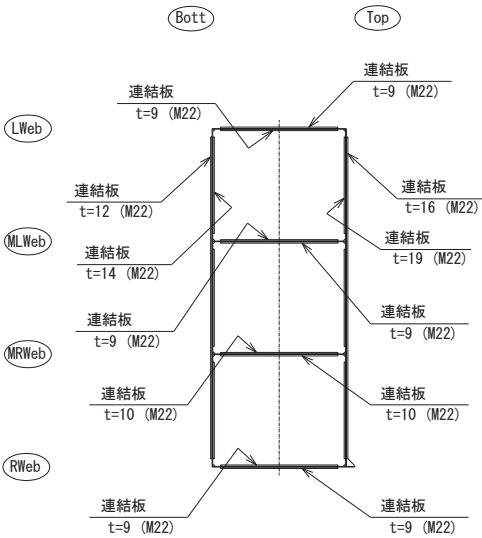
J1, J8



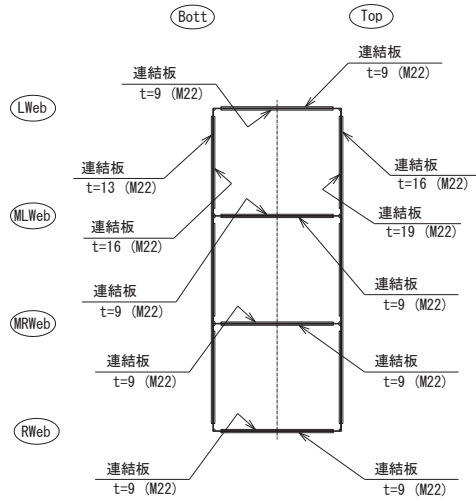
J2, J7



J3, J6



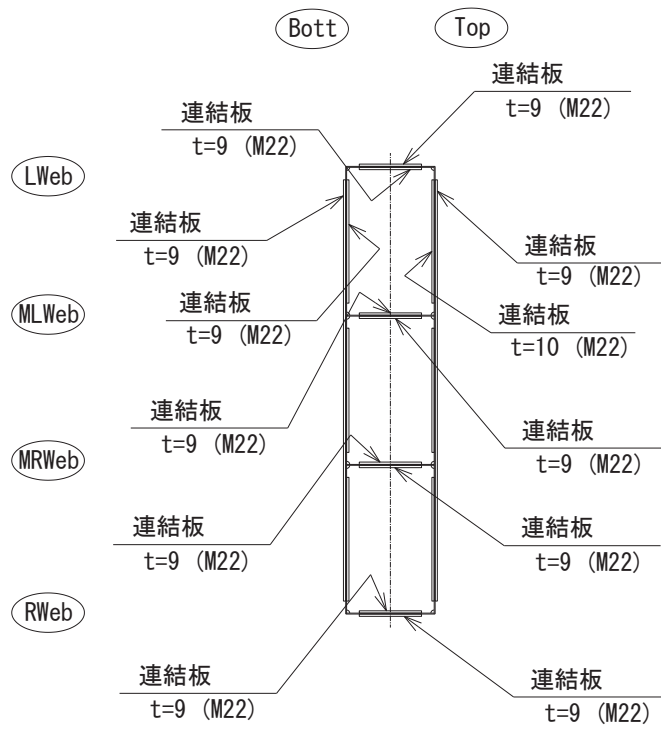
J4, J5



(鋼桁 4)

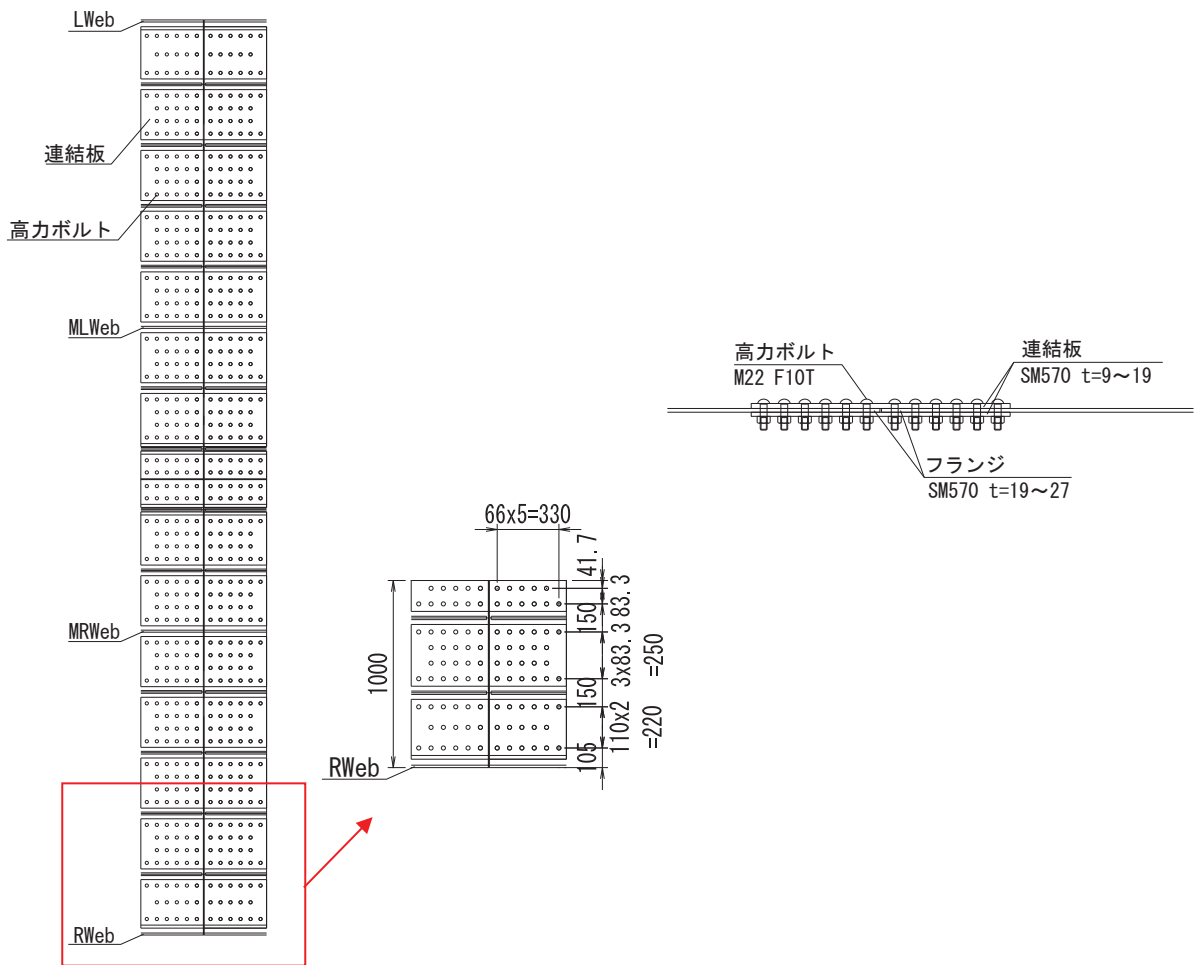
図19-4(2) 連結部の設置概要

(断面図)



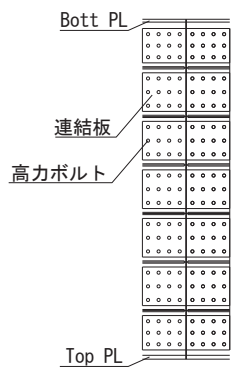
(鋼桁 2, 3, 5, 6)

図19-4(3) 連結部の設置概要  
(断面図)

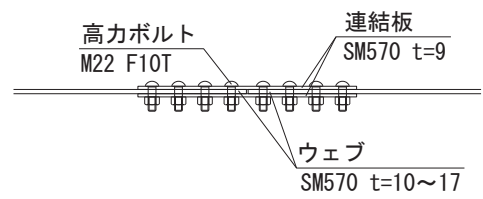


(フランジ部) 平面図

(フランジ部) 断面図



(腹板部) 平面図

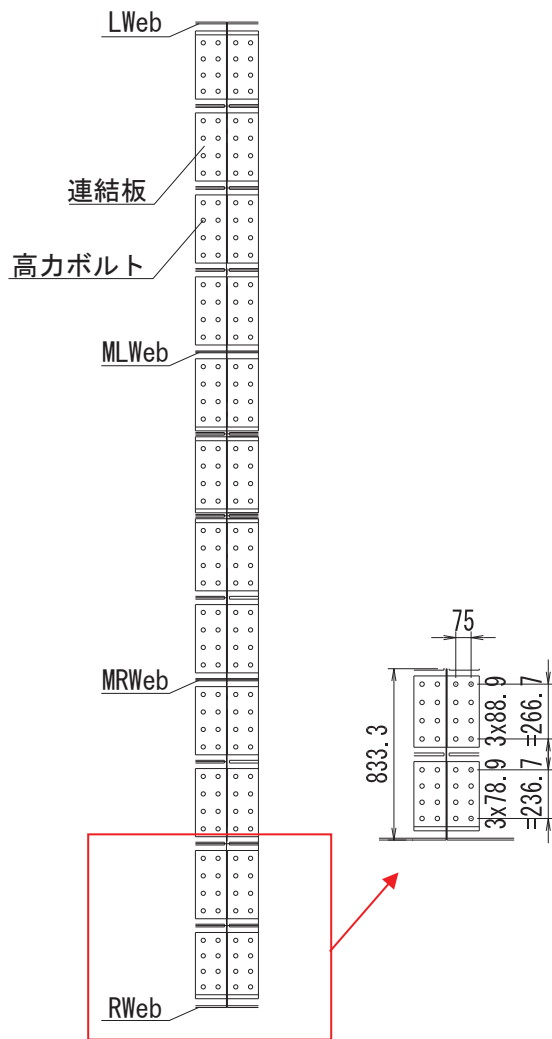


(腹板部) 断面図

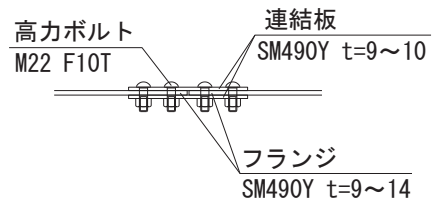
図19-5(1) 連結部の構造図

(鋼桁 1, 4)

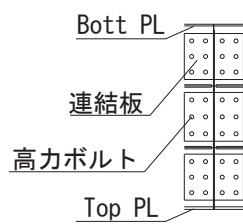




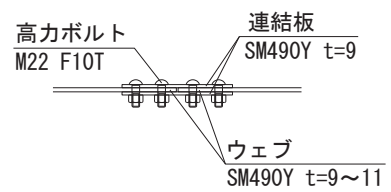
(フランジ部) 平面図



(フランジ部) 断面図



(腹板部) 平面図



(腹板部) 断面図

図19-5(2) 連結部の構造図

(鋼桁 2, 3, 5, 6)

## 2. 設計方針

連結部は、連結板と高力ボルトに対して設計を行う。

連結板は、母材と平行方向に配置することから、母材と同様の変形モードとなることから、母材に作用する力に対して連結板の曲げ・せん断照査を行う必要がある。本設計においては、母材と同等の強度及び断面性能を有するような構造とすることで、母材の評価に包含されることにより、連結板の評価を省略する方針とする。よって、連結部の評価は、母材と同等の強度及び断面性能を有することを確認する。

高力ボルトは、設置位置毎に母材に作用する軸方向力、せん断力、曲げモーメントに対して設計を行う。高力ボルト継ぎ手の仕様毎（鋼桁 1, 4 は各 4 種、鋼桁 2, 3, 5, 6 はすべて仕様が同一であるため 1 種）に、「6.3 2 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書に関する補足説明」及び「6.3 9 杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の強度計算書に関する補足説明」にて鋼桁の照査に用いる静的フレーム解析から得られる発生応力度を用い評価を行う。

連結部の評価項目を表 19-1 に、断面力の抽出位置を図 19-6 に示す。

表 19-1 連結部の評価項目

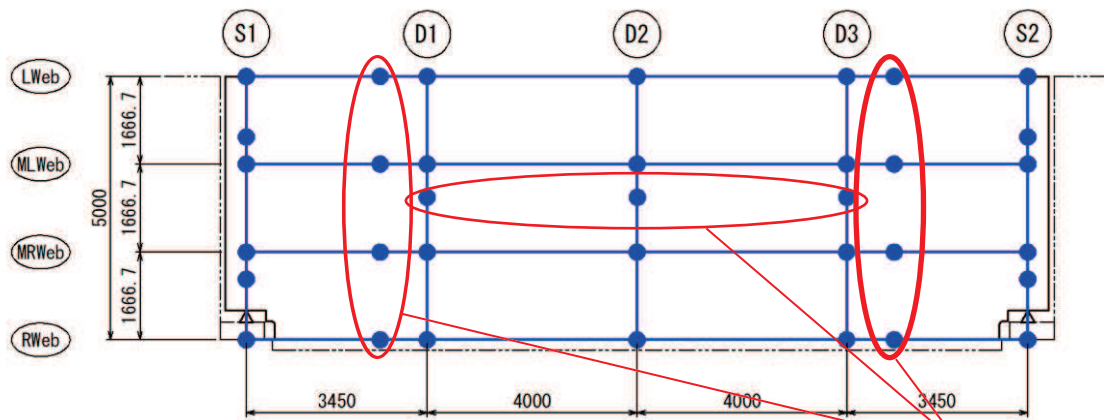
部位	評価方法	許容限界
連結板	母材（鋼桁）に生じる軸方向力、曲げモーメント、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認する。	短期許容応力度* <sup>1</sup>
高力ボルト	母材（鋼桁）に生じる軸方向力、曲げモーメント、せん断力によりボルトに作用する力が許容限界以下であることを確認する。	ボルトの短期許容摩擦力* <sup>2</sup>

注記\* 1：上記のとおり、本評価では母材以上の強度及び断面積を有することを確認する。

\* 2：道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（日本道路協会、平成 14 年 3 月）に基づき、摩擦接合用高力ボルトの許容力（許容摩擦力）を参照する（表 19-2）。

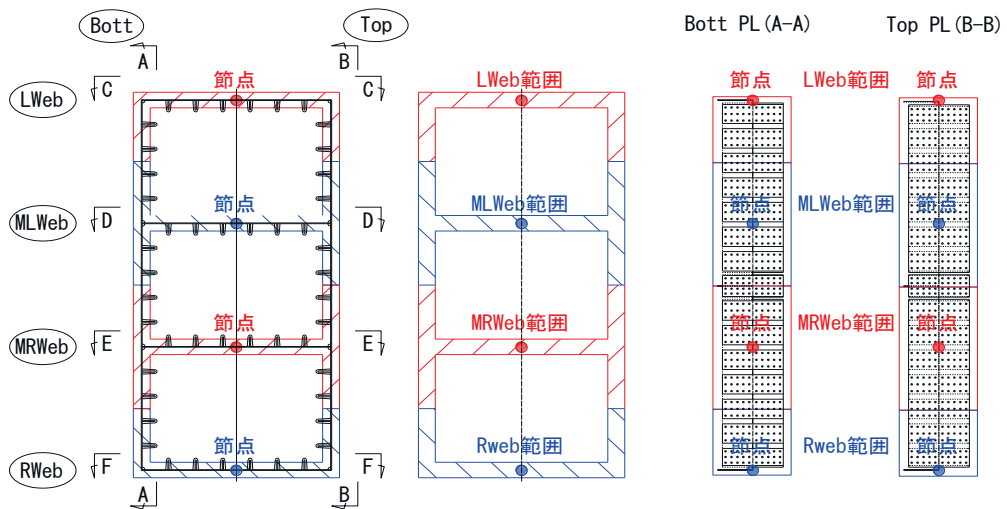
表 19-2 摩擦接合用高力ボルト（F10T）の許容力(1面)

ボルト径	許容力 (N)	短期許容力 (N)
M20	44000	66000
M22	54000	81000
M24	63000	94000



- Lweb : 水平方向に配置される最上段の隔壁 (ウェブ)
- MLWeb : 水平方向に配置される上から 2 段目の隔壁 (ウェブ)
- MRWeb : 水平方向に配置される上から 3 段目の隔壁 (ウェブ)
- Rweb : 水平方向に配置される最下段の隔壁 (ウェブ)
- S1, S2 : 鉛直方向に配置される端部の隔壁 (ウェブ)
- D1, D2, D3 : 鉛直方向に配置される支間中央部の隔壁 (ウェブ)

(正面図)



(断面図)

図19-6 鋼桁フレームモデル応力抽出位置  
(鋼桁3の例)

### 3. 評価方法

連結部は、連結板と高力ボルトに対して設計を行う。

#### (1) 連結板

連結板は、母材と同等の断面性能を有するような構造とする方針としているため、連結板が母材と同等の強度及び断面積を有することを確認する。

#### (2) 高力ボルト

高力ボルトは、道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編）・同解説（日本道路協会、平成14年3月）に基づき、軸方向力，せん断力，曲げモーメントに対して以下に示す式により，ボルトの作用力を算出する。

##### a. フランジ連結部（TopPL, BotPL）

フランジ連結部は面外変形によって作用する軸方向力と曲げモーメントによって生じるボルト作用力が許容限界以下であることを確認する。

ボルト作用力は以下の式により算定する。ボルトに作用する力（垂直応力の分布が均等の場合）の概念図を図 19-7 に示す。

$$\rho_p = \frac{P_c}{n} \leq \rho_a$$

ここで，計算に用いる各記号は表 19-2 に示す。

表 19-2 ボルト 1 本に作用する力算出に用いる記号

記号	単位	定義
$\rho_p$	N	ボルト 1 本に作用する力
n	本	ボルト本数
$P_c$	N	設計軸力
$\rho_a$	N	高力ボルト許容摩擦力（2 面分）

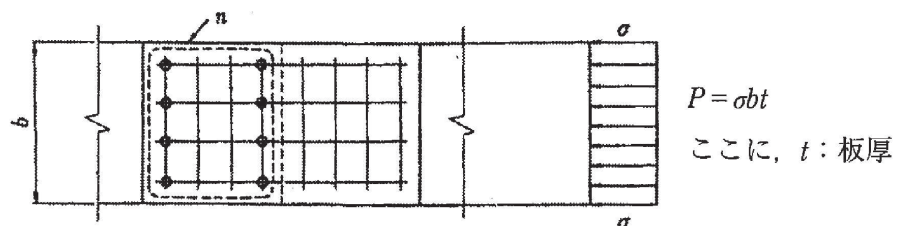


図 19-7 ボルトに作用する力（垂直応力の分布が均等な場合）

b. 腹板連結部 (Lweb, MLweb, MRweb, Rweb)

腹板部は面外方向のせん断力と腹板とフランジにより構成される断面における曲げモーメントによって生じるボルト作用力が許容限界以下であることを確認する。

ボルト作用力は以下の式により算定する。ボルトに作用する力（垂直応力の分布が均等でない場合）の概念図を図 19-8 に示す。

- ・ 曲げモーメントによって生じる作用力

$$\rho_{pi} = \frac{P_i}{n_i} \leq \rho_a$$

ここで、計算に用いる各記号は表 19-3 に示す。

表 19-3 ボルトの作用力算出に用いる記号

記号	単位	定義
$\rho_{pi}$	N	i 列目のボルト 1 本に作用する力
$n_i$	本	i 列目の接合線の片側にあるボルト群のボルト本数
$P_i$	N	i 列目の接合線の片側にあるボルト群に作用する力
$\rho_a$	N	高力ボルト許容摩擦力 (2 面分)

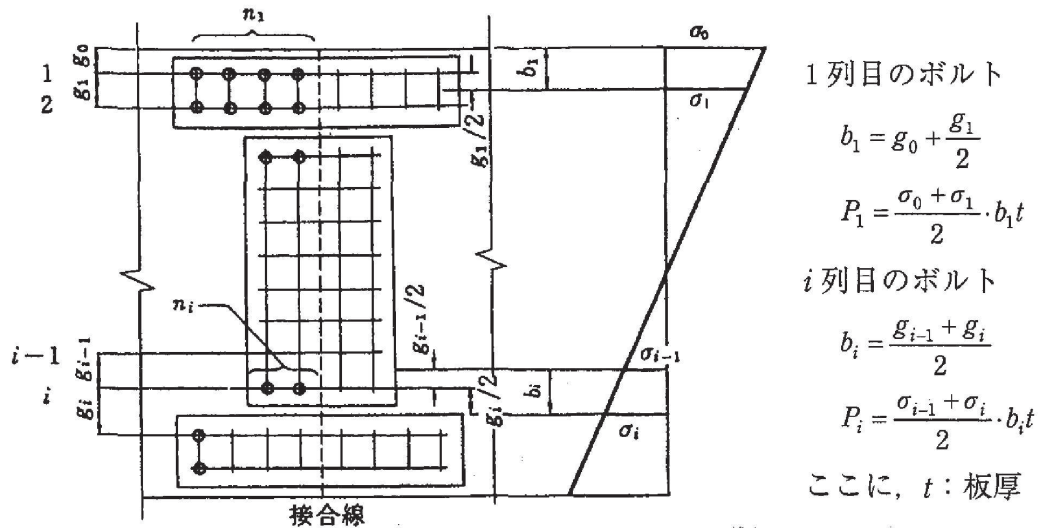


図 19-8 ボルトに作用する力  
(垂直応力の分布が均等でない場合)

- せん断力によって生じる作用力

$$\rho_s = \frac{S}{n} = \frac{\tau \times A}{n} < \rho_a$$

ここで、計算に用いる各記号は表 19-4 に示す。

表 19-4 ボルトの応力度照査に用いる記号

記号	単位	定義
$\rho_s$	N	せん断力によってボルト 1 本に作用する力
S	N	せん断力
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	発生せん断応力度
A	mm <sup>2</sup>	ウェブ断面積
n	本	接合線の片側にあるボルトの全本数
$\rho_a$	N	高力ボルト許容摩擦力 (2 面分)

- 曲げモーメント、軸方向力及びせん断力の同時作用によって生じる作用力

$$\rho_{cl} = \sqrt{\rho_p^2 + \rho_s^2} < \rho_a$$

ここで、計算に用いる各記号は表 19-5 に示す。

表 19-5 ボルトの応力度照査に用いる記号

記号	単位	定義
$\rho_{cl}$	N	ボルト 1 本に作用する力
$\rho_p$	N	曲げモーメントによってボルト 1 本に作用する力
$\rho_s$	N	せん断力によってボルト 1 本に作用する力
$\rho_a$	N	高力ボルト許容摩擦力 (2 面分)

#### 4. 評価結果

##### (1) 連結板

連結板の断面積が必要断面積(母材断面積)以上を確保していることを確認する。

連結板と母材の断面積の比較を表 19-6～表 19-8 に示す。いずれの継ぎ手位置においても、連結板が必要断面積(母材断面積)以上を確保していることを確認した。なお、材料強度はいずれも母材と同一のものを使用する(鋼桁 1, 4 は SM570, 鋼桁 2, 3, 5, 6 は SM490Y)。

表 19-6 断面積の比較 (鋼桁 1)

継ぎ手位置	項目	Top PL*	Bott PL*	Lweb, MLweb, MRweb, Rweb*
J1, J8	母材断面積 (mm <sup>2</sup> )	11662	9996	23740
	連結板断面積 (mm <sup>2</sup> )	14000	12707	37449
J2, J7	母材断面積 (mm <sup>2</sup> )	18326	15827	23590
	連結板断面積 (mm <sup>2</sup> )	19504	17460	37449
J3, J6	母材断面積 (mm <sup>2</sup> )	18326	15827	23590
	連結板断面積 (mm <sup>2</sup> )	19504	17460	37449
J4, J5	母材断面積 (mm <sup>2</sup> )	18326	15827	23590
	連結板断面積 (mm <sup>2</sup> )	19504	17460	37449

注記\* : 最も裕度の小さい位置の値を示す。

表 19-7 断面積の比較 (鋼桁 4)

継ぎ手位置	項目	Top PL*	Bott PL*	Lweb, MLweb, MRweb, Rweb*
J1, J8	母材断面積 (mm <sup>2</sup> )	16000	12000	23720
	連結板断面積 (mm <sup>2</sup> )	17340	15500	37089
J2, J7	母材断面積 (mm <sup>2</sup> )	27000	20000	23530
	連結板断面積 (mm <sup>2</sup> )	30385	22590	37089
J3, J6	母材断面積 (mm <sup>2</sup> )	27000	20000	23530
	連結板断面積 (mm <sup>2</sup> )	30385	22590	37089
J4, J5	母材断面積 (mm <sup>2</sup> )	27000	20000	30589
	連結板断面積 (mm <sup>2</sup> )	30385	25135	37089

注記\* : 最も裕度の小さい位置の値を示す。

表 19-8 断面積の比較 (鋼桁 2, 3, 5, 6)

項目	Top PL*	Bott PL*	Lweb, MLweb, MRweb, Rweb*
母材断面積 (mm <sup>2</sup> )	11662	7497	8793
連結板断面積 (mm <sup>2</sup> )	13732	13068	14931

注記\* : 最も裕度の小さい位置の値を示す。

(2) 高力ボルト

高力ボルトは、軸方向力、せん断力、曲げモーメントに対して以下に示す式により、ボルトの作用力を算出し、許容限界以下であることを確認する。

評価結果を表 19-9～表 19-11 に示す。いずれの継ぎ手位置においても、高力ボルトの作用力が、許容限界以下であることを確認した。

表 19-9 高力ボルトの照査結果 (鋼桁 1)

連結部	応力成分	作用力 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
Top PL*	垂直応力による ボルト作用力 (N)	126234	162000	0.78
Bott PL*	垂直応力によるボ ルト作用力 (N)	123115	162000	0.76
Lweb, MLweb, MRweb, Rweb*	垂直応力による ボルト作用力 (N)	131898	162000	0.82
	せん断力による ボルト作用力 (N)	45485	162000	0.29
	合成応力による ボルト作用力 (N)	135126	162000	0.84

注記\* : 最も裕度の小さい位置の値を示す。



表 19-10 高力ボルトの照査結果（鋼桁 4）

連結部	応力成分	作用力 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
Top PL*	垂直応力による ボルト作用力 (N)	146498	162000	0.91
Bott PL*	垂直応力による ボルト作用力 (N)	139072	162000	0.86
Lweb, MLweb, MRweb, Rweb*	垂直応力による ボルト作用力 (N)	127419	162000	0.79
	せん断力による ボルト作用力 (N)	57155	162000	0.36
	合成応力による ボルト作用力 (N)	137253	162000	0.85

注記\*：最も裕度の小さい位置の値を示す。

表 19-11 高力ボルトの照査結果（鋼桁 2, 3, 5, 6）

連結部	応力成分	作用力 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
Top PL*	垂直応力による ボルト作用力 (N)	142729	162000	0.89
Bott PL*	垂直応力による ボルト作用力 (N)	84160	162000	0.52
Lweb, MLweb, MRweb, Rweb*	垂直応力による ボルト作用力 (N)	116421	162000	0.72
	せん断力による ボルト作用力 (N)	26870	162000	0.17
	合成応力による ボルト作用力 (N)	119481	162000	0.74

注記\*：最も裕度の小さい位置の値を示す。

- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明

目 次

- 6.5.3.1 浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）の耐震性についての計算書に関する補足説明
- 6.5.3.2 浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）の強度計算書に関する補足説明
- 6.5.3.3 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の耐震性についての計算書に関する補足説明
- 6.5.3.4 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の強度計算書に関する補足説明
- 6.5.3.5 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋）の耐震性についての計算書に関する補足説明
- 6.5.3.6 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋）の強度計算書に関する補足説明
- 6.5.3.7 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））の耐震性についての計算書に関する補足説明
- 6.5.3.8 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））の強度計算書に関する補足説明
- 6.5.3.9 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））の耐震性についての計算書に関する補足説明
- 6.5.3.10 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））の強度計算書に関する補足説明
- 6.5.3.11 浸水防止蓋（第2号機軽油タンクエリア）の耐震性についての計算書に関する補足説明
- 6.5.3.12 浸水防止蓋（第2号機軽油タンクエリア）の強度計算書に関する補足説明

参考資料1 浸水防止蓋の開閉運用について

：本日の説明範囲

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明
- 6.5.3.1 浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）の耐震性についての計算書に関する補足説明

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	4
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	6
2.5 記号の説明	7
3. 評価対象部位	12
4. 固有値解析	14
4.1 固有振動数の計算方法	14
4.2 固有振動数の計算条件	15
4.3 固有振動数の計算結果	15
5. 構造強度評価	16
5.1 構造強度評価方法	16
5.2 荷重及び荷重の組合せ	16
5.3 許容限界	18
5.4 設計用地震力	23
5.5 評価方法	27
5.6 評価条件	48
6. 評価結果	53
(別紙1) ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価	56
(別紙2) 海水ポンプ室と原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の最大加速度応答の比較	65

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）（以下、「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防止設備としてSクラスの施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

浸水防止蓋は，原子炉機器冷却海水配管ダクト上部からの浸水を防止するために設置する。  
浸水防止蓋の設置位置図を図 2-1 に，流入対策図を図 2-2 に示す。

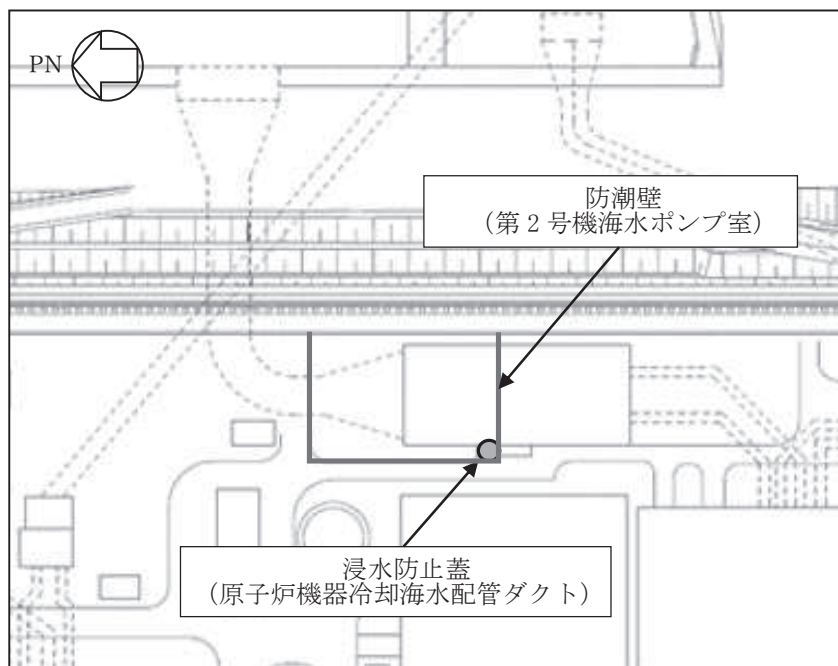


図 2-1 浸水防止蓋の設置位置図

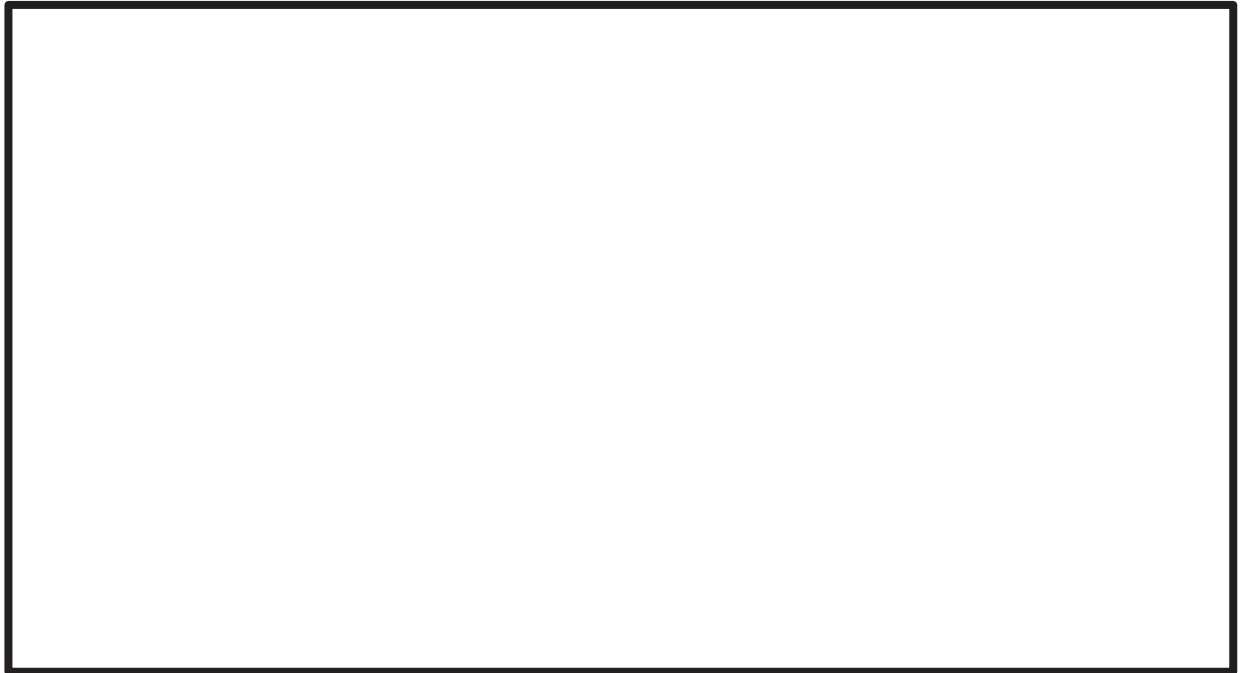


図 2-2 (1) 第 2 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (平面図)

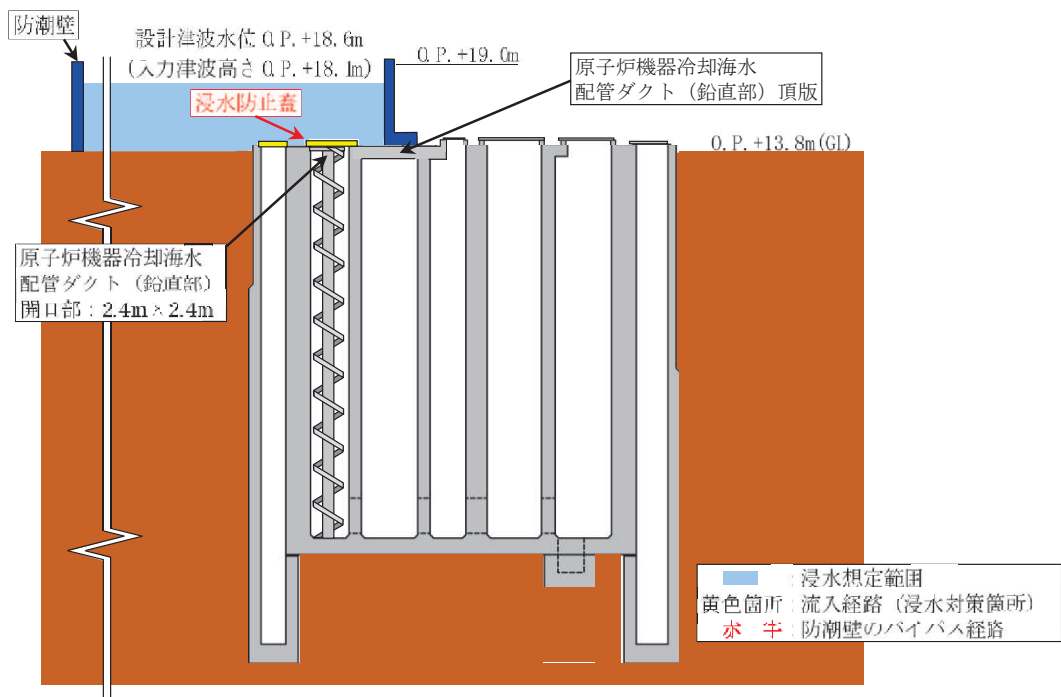


図 2-2 (2) 第 2 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (B-B 断面図)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

## 2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形のスキンプレートに主桁（H 型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。ハッチ部の開閉運用の詳細については、「6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明 参考資料 1 浸水防止蓋の開閉運用について」に示す。

浸水防止蓋は、原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋、ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

### 2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。耐震評価フローを図 2-3 に示す。

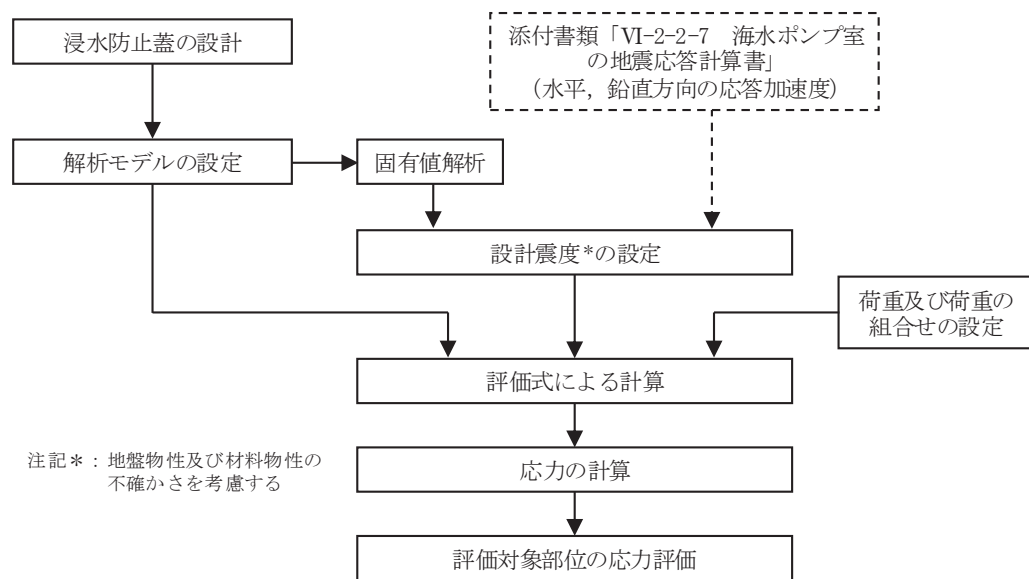


図 2-3 耐震評価フロー



#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (4) ダム堰施設技術協会 平成28年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

## 2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

記号	単位	定義
$S_s$	kN	基準地震動 $S_s$ による地震荷重
$k_H$	—	基準地震動 $S_s$ の水平方向の設計震度
$k_V$	—	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度
$G$	kN	固定荷重
$P_s$	kN	積雪荷重
$W_s$	N/m <sup>2</sup>	1 cm 当りの積雪荷重
$d_s$	cm	積雪高さ
$A$	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	kN/m <sup>2</sup>	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	最大せん断応力度
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	最大曲げ応力度
$Q$	kN	最大せん断力
$M$	kN・m	最大曲げモーメント
$x$	N/mm <sup>2</sup>	組合せ応力度
$A_s$	mm <sup>2</sup>	せん断断面積
$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
$L_1$	mm	主桁の負担幅
$L_2$	mm	主桁全長
$L_3$	mm	固定ボルト中心位置から主桁 (戸当り部) 中心までの距離
$L_4$	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
$L_5$	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
$B$	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの有効幅
$t_b$	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの厚さ
$\beta_2$	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数
$t$	mm	スキンプレートの厚さ
$N$	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
$T_d$	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
$q$	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	$W_{HR}$	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	$W_{HP}$	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	$W_V$	kN	鉛直荷重
	$W_R$	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	$k_H$	—	基準地震動 $S_s$ の水平方向の設計震度
	$k_V$	—	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度
	$G$	kN	ハッチの固定荷重
	$P_s$	kN	積雪荷重
	$L_c$	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離
	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
	$F_{v2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重
ヒンジプレート (ハッチ側)	$\sigma_N$	N/mm <sup>2</sup>	軸方向引張応力度
	$\sigma_{bR}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bP}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bV1}$	N/mm <sup>2</sup>	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	$\tau_R$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	$\tau_P$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	$\tau_v$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	$\tau_{PX}$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	$Z_D$	mm <sup>3</sup>	極断面係数
$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$\sigma_N$	N/mm <sup>2</sup>	軸方向引張応力度
	$\sigma_{bR}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bP}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	$\tau_R$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	$\tau_P$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積
	$B$	mm	ヒンジプレート幅
$t$	Mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離
	$B$	mm	荷重の載荷長
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
	$A$	mm <sup>2</sup>	ヒンジピンの断面積
$D$	mm	ヒンジピンの直径	

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P <sub>R</sub>	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P <sub>P</sub>	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P <sub>V</sub>	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Q	kN	ボルトせん断力
	Q <sub>R</sub>	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	Q <sub>P</sub>	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	L <sub>V</sub>	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	L <sub>H</sub>	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	N <sub>H</sub>	本	回転軸平行方向のボルト本数
N <sub>V</sub>	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P <sub>R</sub>	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P <sub>P</sub>	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P <sub>V</sub>	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm <sup>2</sup>	エンドプレートの有効断面積
	L	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
t	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイングボルト	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	A	mm <sup>2</sup>	断面積
スイングボルトピン	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	x	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	A	mm <sup>2</sup>	スイングボルトピンの断面積
	D	mm	スイングボルトピンの直径
ナット受部	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	x	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	F <sub>v2</sub>	kN	締付部に作用する鉛直荷重
	L	mm	腕長さ
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm <sup>2</sup>	ナット受部の有効断面積
スイングボルトピン受部	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	R <sub>v2</sub>	kN	スイングボルトピン受金具が負担する締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm <sup>2</sup>	スイングボルトピン受部の断面積
	B	mm	スイングボルトピン受部の幅
	t	mm	スイングボルトピン受部の板厚

### 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、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋のスキンプレート、主桁に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、主桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。

浸水防止蓋のハッチ部の運用について、原則閉止運用とするとともに、定期点検時等により開状態となる場合においても速やかに閉操作できる人員を、ハッチ付近に待機させる運用とすることから（詳細は、「6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明 参考資料1 浸水防止蓋の開閉運用について」に示す。）、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、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。なお、ヒンジ部については開放時における評価も実施する。開放時における評価については、「別紙1 ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価」に示す。

評価対象部位を図3-1に示す。

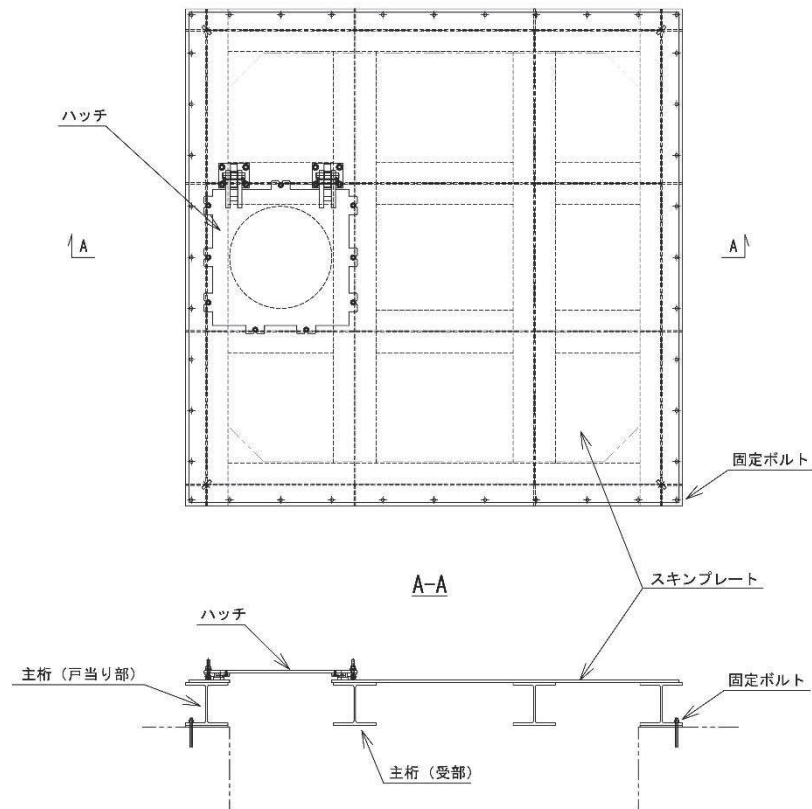
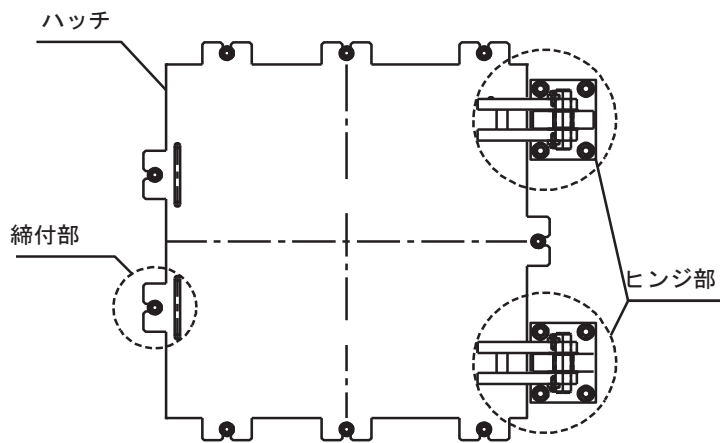
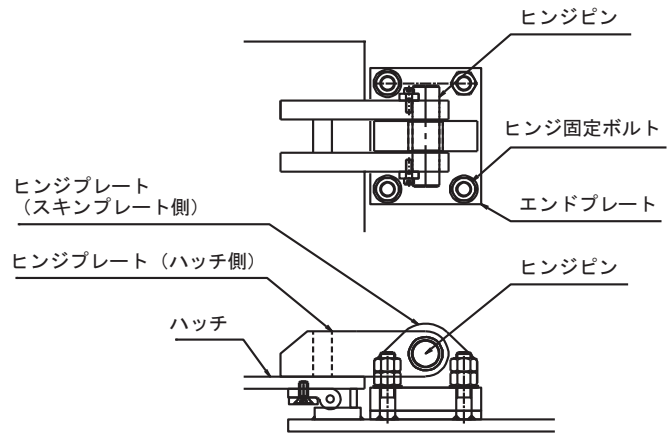


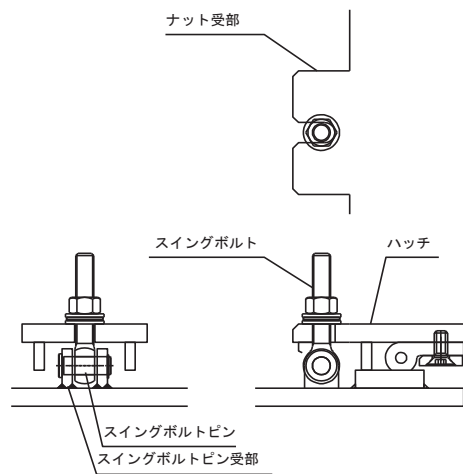
図3-1 (1) 評価対象部位 (スキンプレート、主桁及び固定ボルト)



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)



#### 4. 固有値解析

##### 4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

##### 4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止蓋は、スキンプレート及び主桁の組合せにより剛な断面を有しているとともに、固定ボルトを介し、浸水防止蓋と躯体を固定する構造であることから、浸水防止蓋の主桁を両端ピン支持に単純化したモデルとし、モデル化に用いるはり長さは、主桁の全長とする。図4-1に解析モデル図を示す。

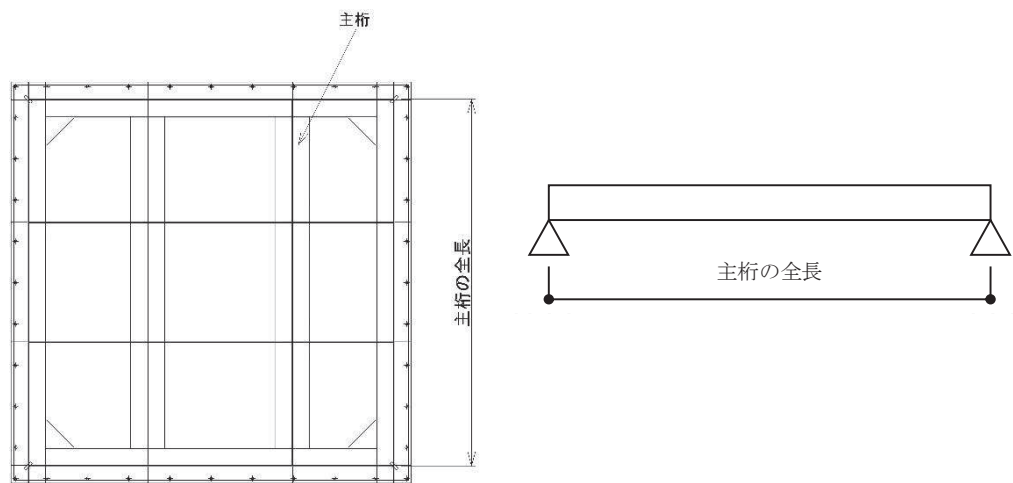


図4-1 浸水防止蓋の固有値解析モデル

#### 4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 浸水防止蓋の固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	mm	はりの長さ
E	N/mm <sup>2</sup>	ヤング率
I	mm <sup>4</sup>	主桁の断面二次モーメント
m	kg/mm	質量分布

#### 4.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「土木学会構造力学公式集」を参考に以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

#### 4.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件

はり長さ L  (mm)	ヤング率 E  (N/mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I  (mm <sup>4</sup> )	質量分布 m  (kg/mm)
2670	2.05 × 10 <sup>5</sup>	3.65 × 10 <sup>7</sup>	7.18 × 10 <sup>-2</sup>

#### 4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

固有振動数 (Hz)	71.13
---------------	-------

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

### 5.2 荷重及び荷重の組合せ

#### 5.2.1 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下記に示す。

$$G + S_s + P_s$$

ここで、  
G : 固定荷重 (kN)  
S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震荷重 (kN)  
P<sub>s</sub> : 積雪荷重 (kN)

#### 5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

##### (1) 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。

##### (2) 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

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の式より算出する。

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

ここで、  
P<sub>s</sub> : 積雪荷重 (kN)  
W<sub>s</sub> : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m<sup>2</sup>)  
d<sub>s</sub> : 積雪高さ 43 (cm)  
A : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

(3) 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重として、基準地震動  $S_s$  に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : 固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k$  : 基準地震動  $S_s$  の設計震度

### 5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

#### 5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表5-1に示す。

表5-1 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
主桁	SM490Y	H-250×250×9×14 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

#### 5.3.2 許容限界

##### (1) スキンプレート, 主桁

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を踏まえて表5-2の値とする。

表5-2 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

## (2) 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。

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 ( $P_{a1}$ )、付着力により決まる許容荷重 ( $P_{a3}$ ) 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 ( $q_{a1}$ )、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 ( $q_{a2}$ ) 及びコーン状破壊により決まる許容荷重 ( $q_{a3}$ ) を比較して、いずれか小さい値を採用する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重の設定に用いる入力値を表 5-3 に、許容荷重を表 5-4 に示す。

### 引張力を受ける場合

$$P_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s c a$$

$$P_{a3} = \Phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

ここで、 $P_{a1}$  : 固定ボルトの降伏により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

$P_{a3}$  : 固定ボルトの付着力により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

$\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)

$\Phi_3$  : 低減係数 (短期荷重用)

$s \sigma_{pa}$  : 固定ボルトの引張強度 ( $= s \sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)

$s \sigma_y$  : 固定ボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s c a$  : 固定ボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$d_a$  : 固定ボルトの径 (mm)

$l_{ce}$  : 固定ボルトの強度算定用埋込み長さ ( $= l_e - 2 d_a$ ) (mm)

$\tau_a$  : へりあき及び固定ボルトのピッチによる付着強度の低減係数

### せん断力を受ける場合

$$q_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \Phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a3} = \Phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、 $q_{a1}$  : 固定ボルトのせん断強度により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容せん断力 (N)

$q_{a2}$  : 定着した躯体の支圧強度により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容せん断力 (N)

- $q_{a3}$  : 定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の固定ボルト  
 1本当たりの許容せん断力 (N)
- $\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)
- $\Phi_2$  : 低減係数 (短期荷重用)
- ${}_s\sigma_{qa}$  : 固定ボルトのせん断強度 ( $=0.7 \cdot {}_s\sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)
- ${}_s\sigma_y$  : 固定ボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- ${}_s c a$  : 固定ボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)
- ${}_c\sigma_{qa}$  : コンクリートの支圧強度 (N/mm<sup>2</sup>) ( $=0.5\sqrt{F_c \cdot E_c}$ )
- ${}_c\sigma_t$  : コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $(=0.31\sqrt{F_c})$
- $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)
- $A_{qc}$  : せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 (mm<sup>2</sup>)

表 5-3 固定ボルトの許容荷重の設定に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
$\Phi_1$	—	低減係数 (短期荷重用)	1.0
$\Phi_2$	—	低減係数 (短期荷重用)	2/3
$\Phi_3$	—	低減係数 (短期荷重用)	2/3
${}_s\sigma_{pa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの引張強度	325
${}_s\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの規格降伏点強度	325
${}_s c a$	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの断面積	157
$d_a$	mm	固定ボルトの径	16
$l_{ce}$	mm	固定ボルトの強度算定用埋込み長さ	168
$\tau_a$	—	へりあき及び固定ボルトのピッチによる付着強度の 低減係数	6.71
${}_s\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトのせん断強度	227.50
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの支圧強度	346.82
${}_c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.40
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	20.5
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数	23470
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	35343

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

材質	短期許容荷重 (kN)						
	引張			せん断			
	$P_{a1}$	$P_{a3}$	設定値	$q_{a1}$	$q_{a2}$	$q_{a3}$	設定値
SM490Y	51.0	37.7	37.7	35.7	36.3	32.9	32.9



(2) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム堰施設技術協会 平成 28 年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 5-5 の値とする。

表 5-5 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

#### 5.4 設計用地震力

浸水防止蓋を設置する原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、規模及び重量共に大きい海水ポンプ室に懸架されており、海水ポンプ室と一体となって挙動する。また、「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止蓋の固有振動数は 20Hz 以上であることから、浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は、海水ポンプ室の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。地震応答解析ケースを表 5-6 に示す。耐震評価に用いる応答加速度は、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）が接する図 5-1 に示すスクリーンエリア及び補機ポンプエリアのうち最大加速度が大きい方を用いる。なお、海水ポンプ室の地震応答解析結果を用いることの保守性については、「別紙 2 海水ポンプ室と原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の最大加速度応答の比較」に示す。

耐震評価で用いる海水ポンプ室の最大加速度分布図を図 5-2 に、最大加速度を表 5-7 に、設計震度を表 5-8 に示す。

表 5-6 海水ポンプ室の地震応答解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ : ヤング係数)	地盤物性	
		盛土, 旧表土, 改良地盤, $D$ 級岩盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	$C_L$ 級岩盤, $C_M$ 級岩盤, $C_H$ 級岩盤, $B$ 級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+1 $\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値-1 $\sigma$	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記\* : 既設建造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

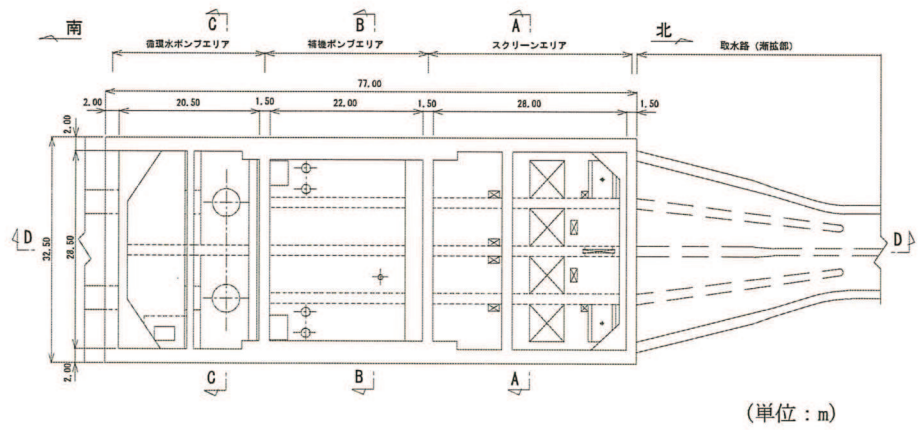


図 5-1 (1) 海水ポンプ室平面図

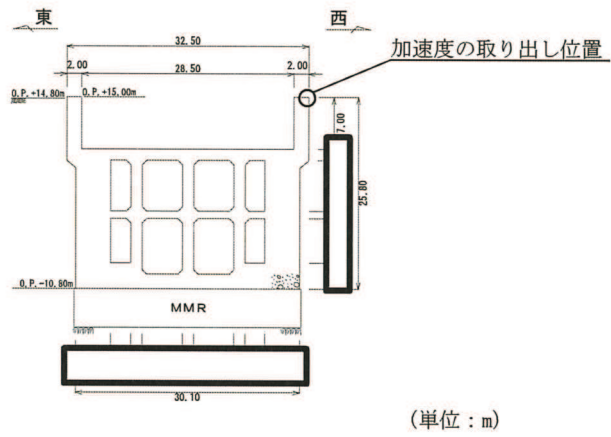


図 5-1 (2) 海水ポンプ室断面図 (スクリーンエリア) (A-A 断面)

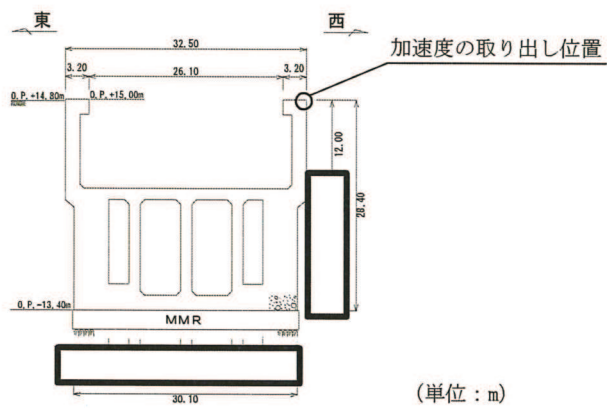
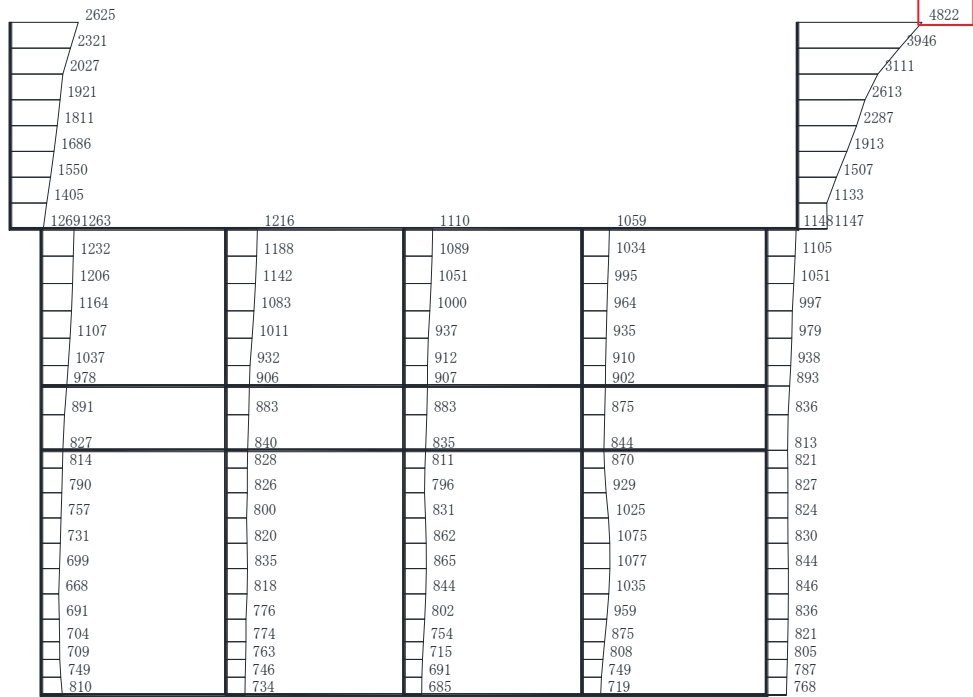


図 5-1 (3) 海水ポンプ室断面図 (補機ポンプエリア) (B-B 断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

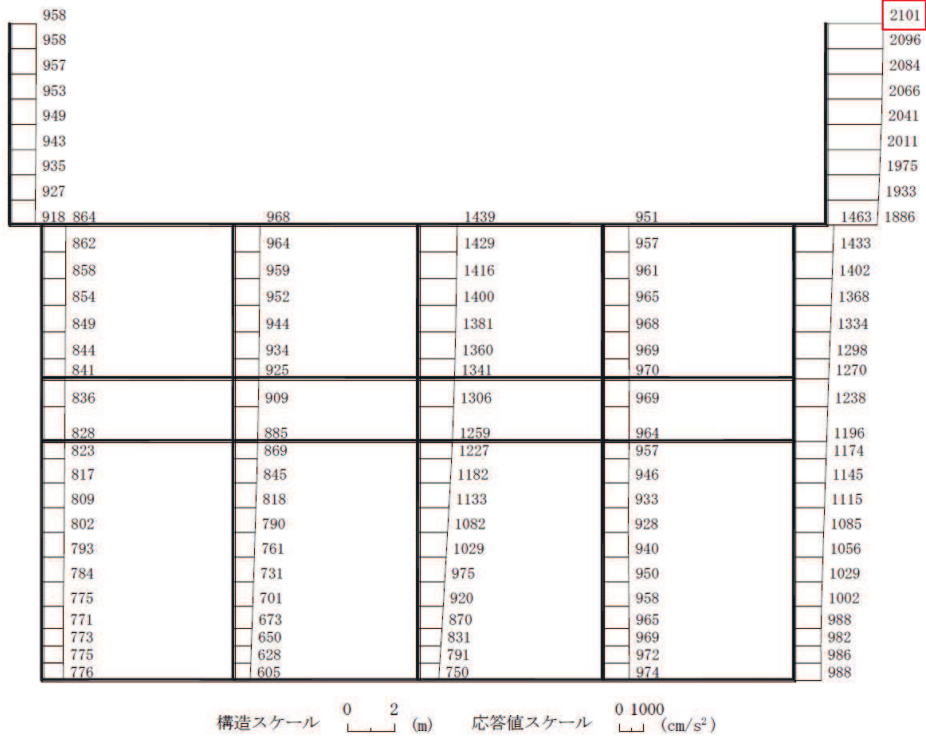
☐ : 耐震評価に用いる最大加速度



(スクリーンエリア (東西方向), S s - D 1 (++) , 解析ケース②)

図 5-2 (1) 最大加速度分布図 (水平方向)

☐ : 耐震評価に用いる最大加速度



(スクリーンエリア (東西方向), S s - N 1 (++) , 解析ケース④)

図 5-2 (2) 最大加速度分布図 (鉛直方向)

表 5-7 (1) 最大加速度 (水平方向)

地震時荷重算出断面	地震動	位相	解析ケース	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
スクリーンエリア (東西方向)	S s - D 1	++	ケース②	4822

表 5-7 (2) 最大加速度 (鉛直方向)

地震時荷重算出断面	地震動	位相	解析ケース	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
スクリーンエリア (東西方向)	S s - N 1	++	ケース④	2101

表 5-8 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S s の設計震度	
		水平方向 k <sub>H</sub>	鉛直方向 k <sub>v</sub>
原子炉機器冷却 海水配管ダクト	O.P. 14.0	4.92	2.15

## 5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。主桁については、スキンプレートからの荷重を主で負担する主桁（受部）と固定ボルトで躯体と固定する主桁（戸当り部）の評価を実施する。主桁（受け部）の評価は、評価上最も厳しい条件となる断面で実施する。主桁（戸当り部）については、スキンプレートに上向きの荷重が作用する場合の主桁と固定ボルトの偏心荷重の影響について評価を実施する。図 5-3 に評価の対象とする主桁を示す。スキンプレートについては、評価上最も厳しい条件となる断面で評価を実施する。図 5-4 に評価の対象とするスキンプレートを示す。また、図 5-5 に固定ボルトの納まりを示す。

### 5.5.1 主桁

#### (1) 主桁（受部）

主桁（受部）の支持条件は両端をピン支持とし、図 5-3 に示すとおり、主桁（受部）が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

#### (a) 基準地震動 $S_s$ による地震荷重 $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_v$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

#### (b) 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s s'}$

$$W_{s s'} = (G + S_s + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 $W_{s s'}$  : 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)  
 $G$  : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $L_1$  : 主桁（受部）の負担幅 (mm)  
 $A$  : 浸水防止蓋の面積 ( $m^2$ )

(c) 主桁 (受部) に作用する最大せん断応力度  $\tau$

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

$\tau$  : 主桁 (受部) に作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q$  : 主桁 (受部) に作用する最大せん断力 (kN)

$A_s$  : 主桁 (受部) のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

$$\text{ここで, } Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$$

$Q$  : 主桁に作用する最大せん断力 (kN)

$W_{s s'}$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_2$  : 主桁 (受部) 全長 (mm)

(d) 主桁 (受部) に作用する最大曲げ応力度  $\sigma$

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

$\sigma$  : 主桁 (受部) に作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 主桁 (受部) に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$Z$  : 主桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$$\text{ここで, } M = 1/8 \cdot W_{s s'} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$$

$M$  : 主桁 (受部) に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$W_{s s'}$  : 主桁 (受部) に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_2$  : 主桁 (受部) 全長 (mm)

(e) 主桁 (受部) に作用する組合せ応力度

主桁 (受部) に作用する曲げ応力度, せん断応力度を算定し, 主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また, 主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から, 組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し, 短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで,  $x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

## (2) 主桁（戸当り部）

図 5-3 に示すとおり，スキンプレートに上向きの荷重が作用する場合の主桁（戸当り部）と固定ボルトの偏心荷重の影響について，支持条件を片持ち梁として評価を実施する。

### (a) 基準地震動 $S_s$ による地震荷重 $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで， $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_v$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

### (b) 主桁（戸当り部）に作用する最大曲げ応力度 $\sigma$

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

$\sigma$  : 主桁（戸当り部）に作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $M$  : 主桁（戸当り部）に作用する最大曲げモーメント (kN・m)  
 $Z$  : 主桁（戸当り部）の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$$\text{ここで, } M = T_d \cdot L_3 \cdot 10^{-3}$$

$$Z = (B \cdot t_b) / 6$$

$M$  : 主桁（戸当り部）に作用する最大曲げモーメント (kN・m)  
 $T_d$  : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)  
 $L_3$  : 固定ボルト中心位置から主桁（戸当り部）中心位置までの距離 (mm)  
 $B$  : 主桁（戸当り部）下フランジの有効幅 (mm)  
 $t_b$  : 主桁（戸当り部）下フランジの厚さ (mm)

### (c) 主桁（戸当り部）に作用する最大せん断応力度 $\tau$

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

$\tau$  : 主桁（戸当り部）に作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $Q$  : 主桁（戸当り部）に作用する最大せん断力 (kN)  
 $A_s$  : 主桁（戸当り部）のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

$$\text{ここで, } Q = T_d$$

$T_d$  : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)



(d) 主桁（戸当り部）に作用する組合せ応力度

主桁（戸当り部）に作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また，主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，  
x : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
σ : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
τ : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

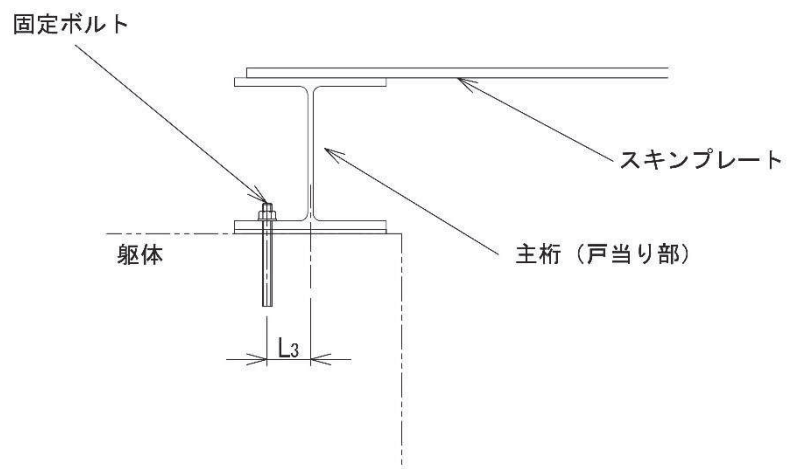
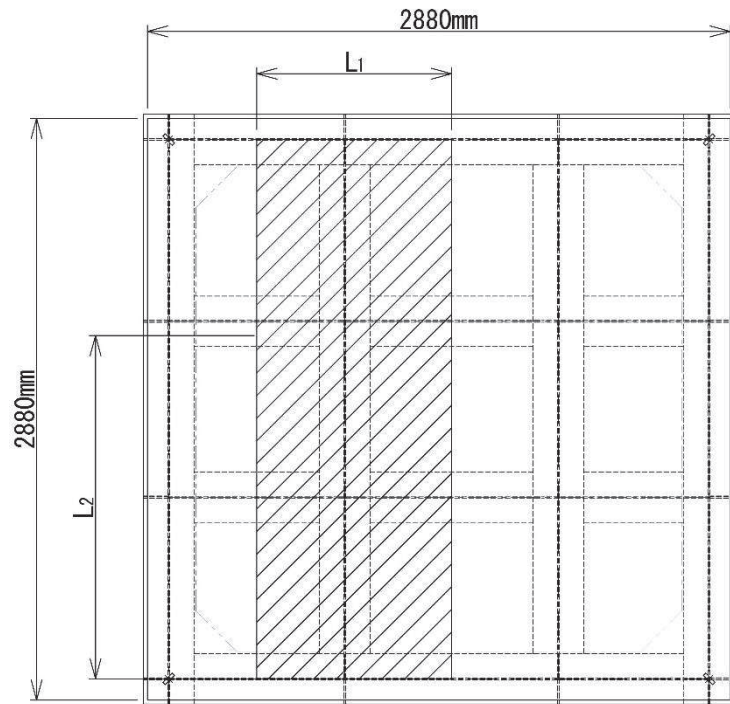


図 5-3 評価の対象とする主桁

### 5.5.2 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 5-4 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力度及びせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

#### (1) 基準地震動 $S_s$ による地震荷重 $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_v$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

#### (2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重 $W_{ss}$

$$W_{ss} = (G + S_s + P_s) / A$$

ここで、 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

#### (3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 $\sigma$

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_5^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 $\sigma$  : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\beta_2$  : スキンプレートの辺長比に応じた係数  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $L_5$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度  $\tau$

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_4 \cdot L_5 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_3 + L_4) \cdot 2)$$

- ここで、  $\tau$  : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $L_4$  : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)  
 $L_5$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ここで、  $x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

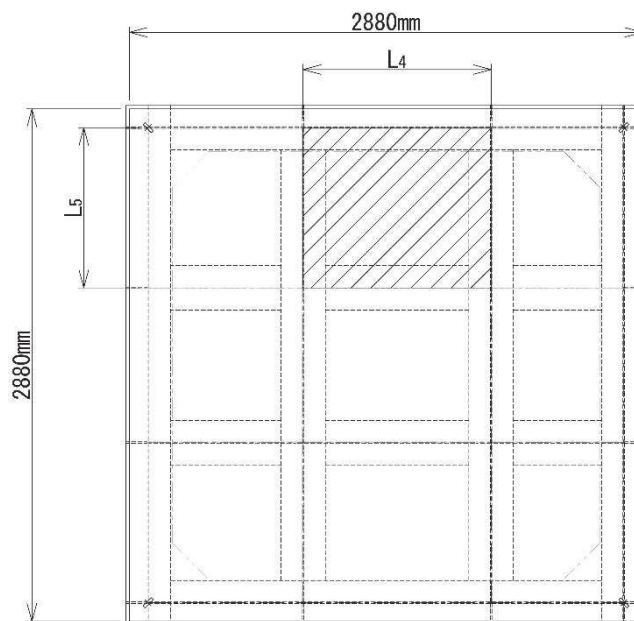


図 5-4 評価の対象とするスキンプレート

### 5.5.3 固定ボルト

- (1) 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)  
 $G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_H$  : 基準地震動  $S_s$  の水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)  
 $G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_V$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルトに作用する引張力  $T_d$

$$T_d = S_s / N$$

ここで、 $T_d$  : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)  
 $N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

- (4) 固定ボルトに作用するせん断力  $q$

$$q = S_s / N$$

ここで、 $q$  : 固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)  
 $N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

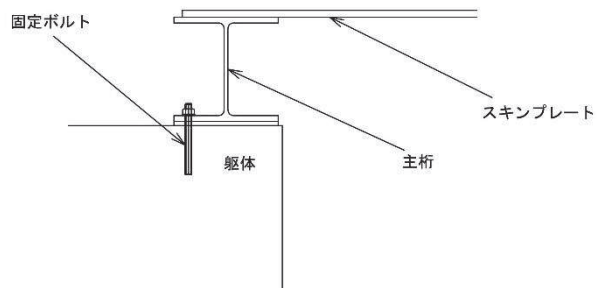
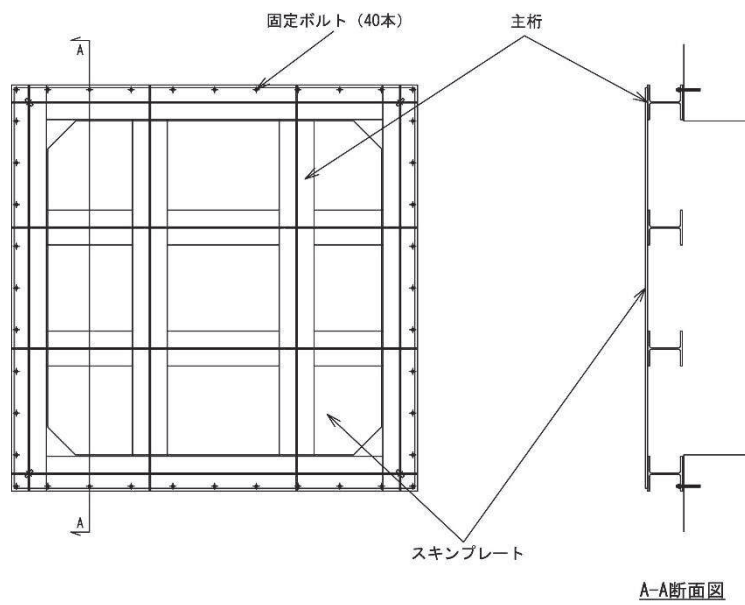


図 5-5 固定ボルトの納まり

#### 5.5.4 ハッチ固定部

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図5-6に、荷重算定式を図5-7に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については、スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。なお、ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価については、「別紙1 ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価」に示す。

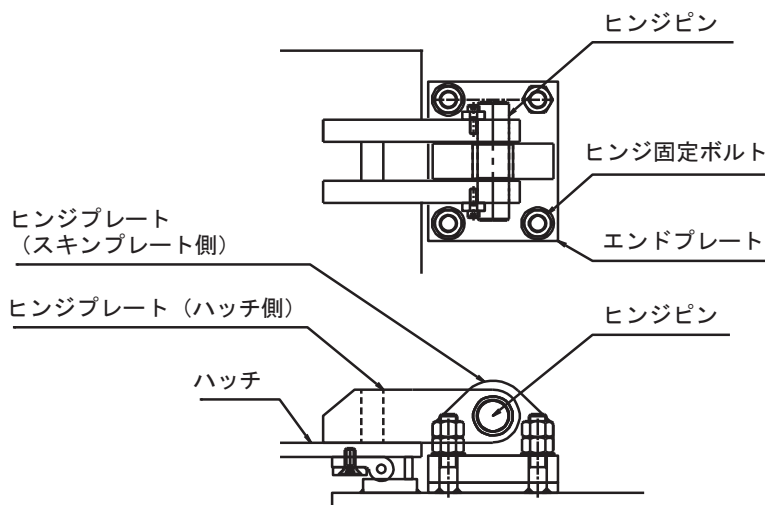


図5-6 (1) ヒンジ部の構造概要

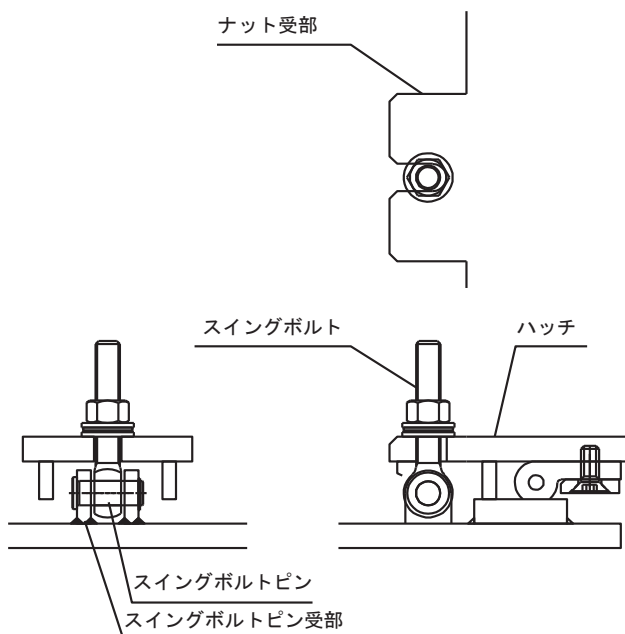
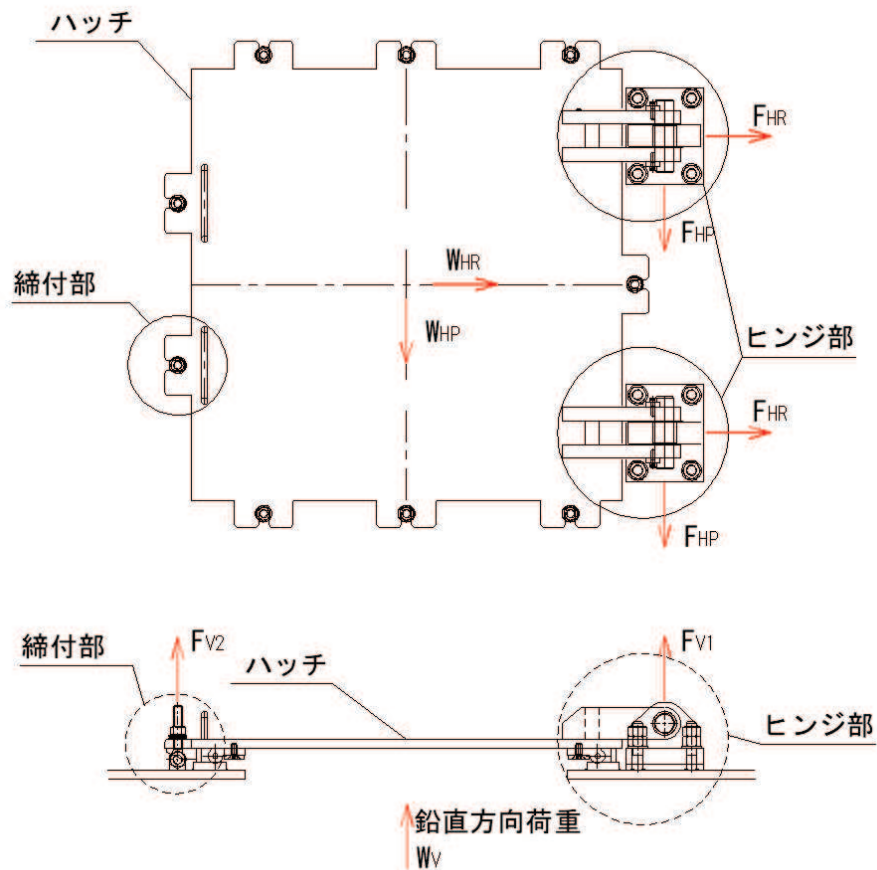


図5-6 (2) 締付部の構造概要



$$W_{HR} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_{HP} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_V = (G + P_s) + (G + P_s) \cdot k_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{V1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{V2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

- $W_{HR}$  : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $W_{HP}$  : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $W_V$  : 鉛直荷重 (kN)
- $W_R$  : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- $L_c$  : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- $L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- $G$  : ハッチの固定荷重 (kN)
- $P_s$  : 積雪荷重 (kN)
- $k_H$  : 基準地震動  $S_s$  の水平方向の設計震度
- $k_V$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度
- $F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{V2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$  : 分担率

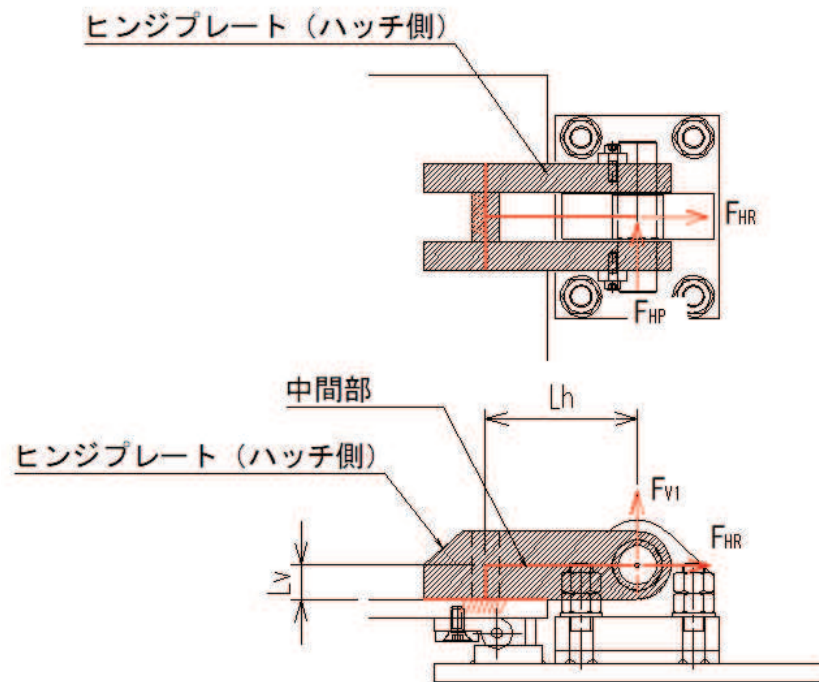
$$(\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.5, \alpha_3=0.1, \beta=0.1)$$

図 5-7 ハッチの構造概要及び荷重算定式



#### 5.5.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図5-8に示す。



#### ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bV1}$  : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_v$  : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

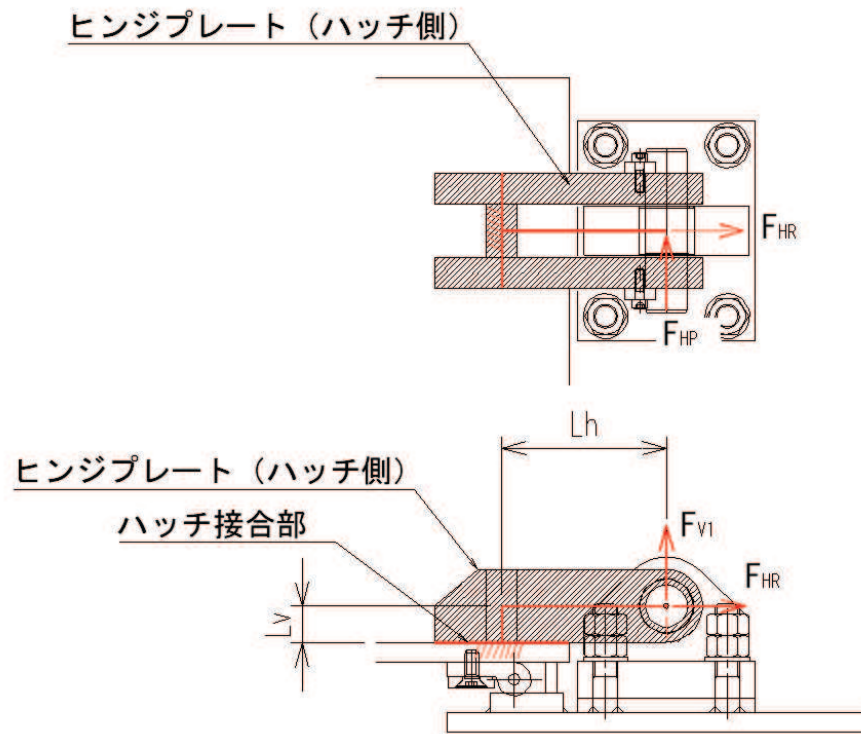
$L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

$Z_1$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm<sup>3</sup>)

$Z_2$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm<sup>3</sup>)

$A_1$  : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

図5-8 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP} \quad \text{ここで,}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$$

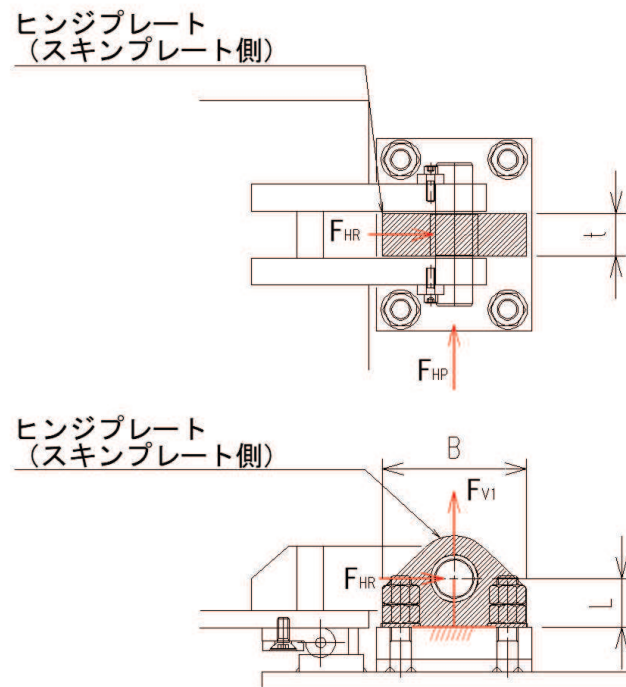
$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- $\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bR}$  : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bV1}$  : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_R$  : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_{PX}$  : 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- $L_v$  : ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
- $Z_3$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm<sup>3</sup>)
- $Z_4$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm<sup>3</sup>)
- $Z_p$  : 極断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $A_2$  : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

図5-8 (2) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

#### 5.5.4.2 ヒンジプレート（スキンプレート側）

ヒンジプレート（スキンプレート側）のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式を図5-9に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bR}$  : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_R$  : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$L$  : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

$Z_1$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$Z_2$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A$  : ヒンジプレート（スキンプレート側）の断面積 (mm<sup>2</sup>)

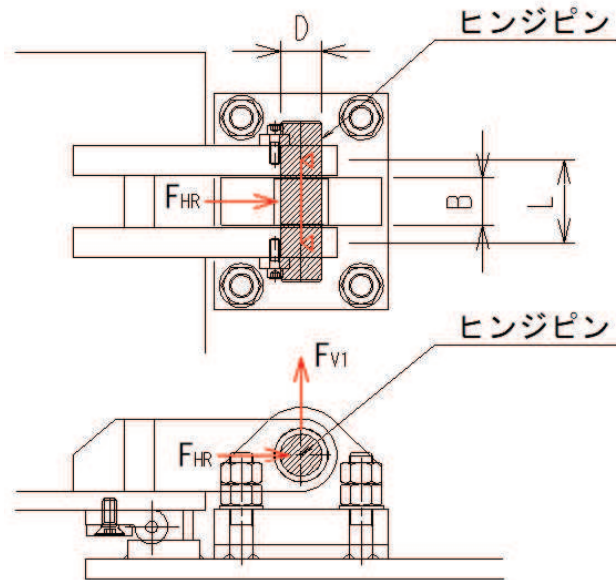
$B$  : ヒンジプレート幅 (mm)

$t$  : ヒンジプレート板厚 (mm)

図5-9 ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式

### 5.5.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図5-10に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : ヒンジ支点間距離 (mm)

$B$  : 荷重の載荷長 (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

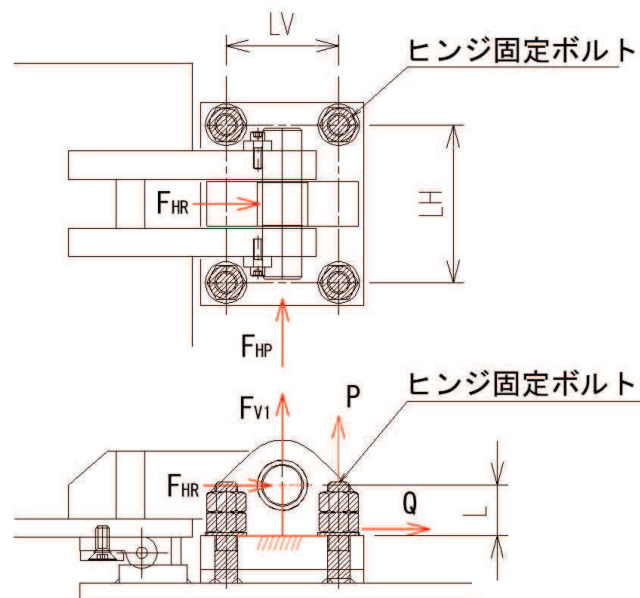
$A$  : ヒンジピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$D$  : ヒンジピンの直径 (mm)

図5-10 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図5-11に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : ボルト引張力 (kN)

$P_R$  : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

$P_P$  : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

$P_V$  : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

$Q$  : ボルトせん断力 (kN)

$Q_R$  : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

$Q_P$  : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : ヒンジ基部ーピン穴間距離 (mm)

$L_V$  : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

$L_H$  : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

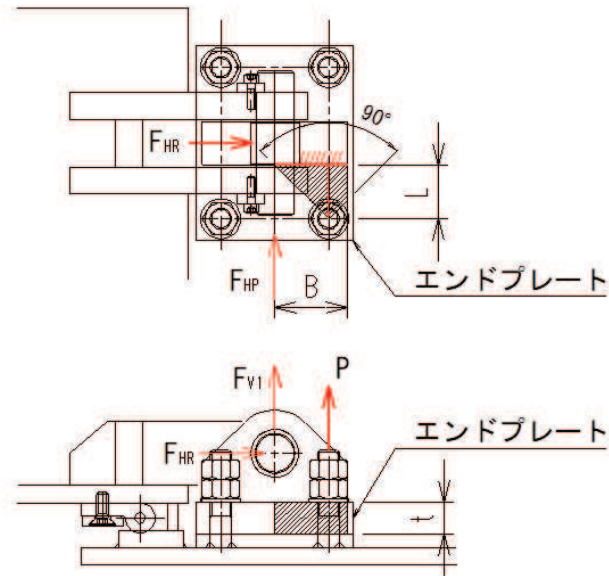
$N_H$  : 回転軸平行方向のボルト本数

$N_V$  : 回転軸直角方向のボルト本数

図5-11 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図5-12に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{VI} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : ボルト引張力 (kN)

$P_R$  : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

$P_P$  : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

$P_V$  : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : 有効断面幅 (mm)

$A$  : エンドプレートの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

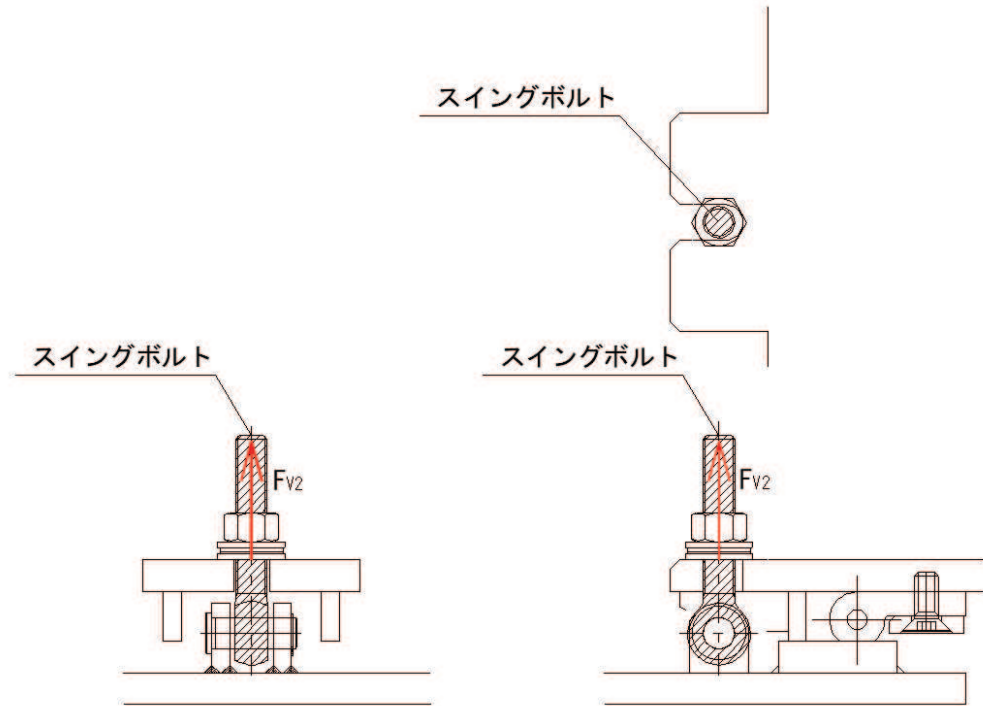
$L$  : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)

$t$  : エンドプレートの板厚 (mm)

図5-12 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図5-13に示す



$$\sigma = F_{v2} / A$$

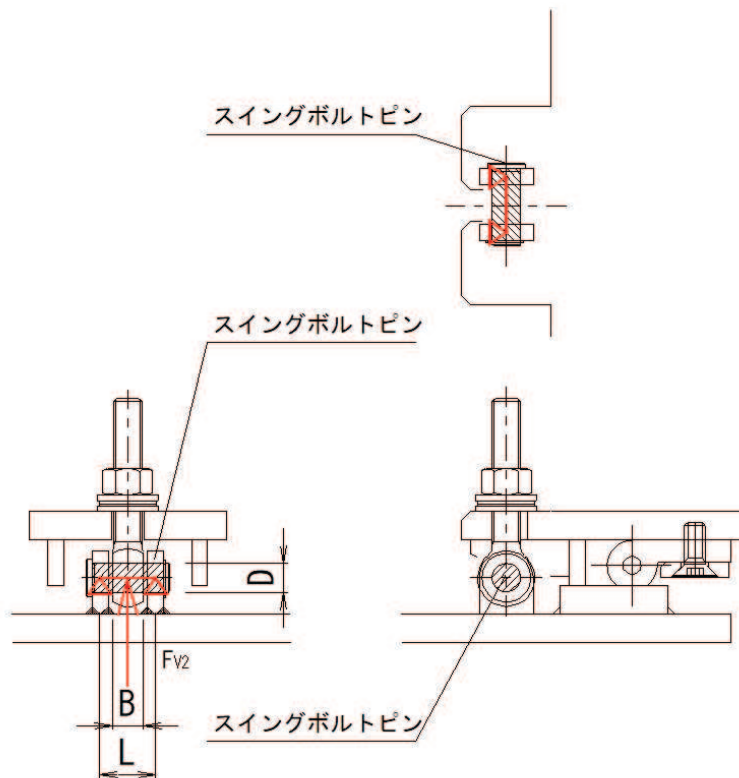
ここで、

- $\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $A$  : スイングボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

図5-13 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 5-14 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

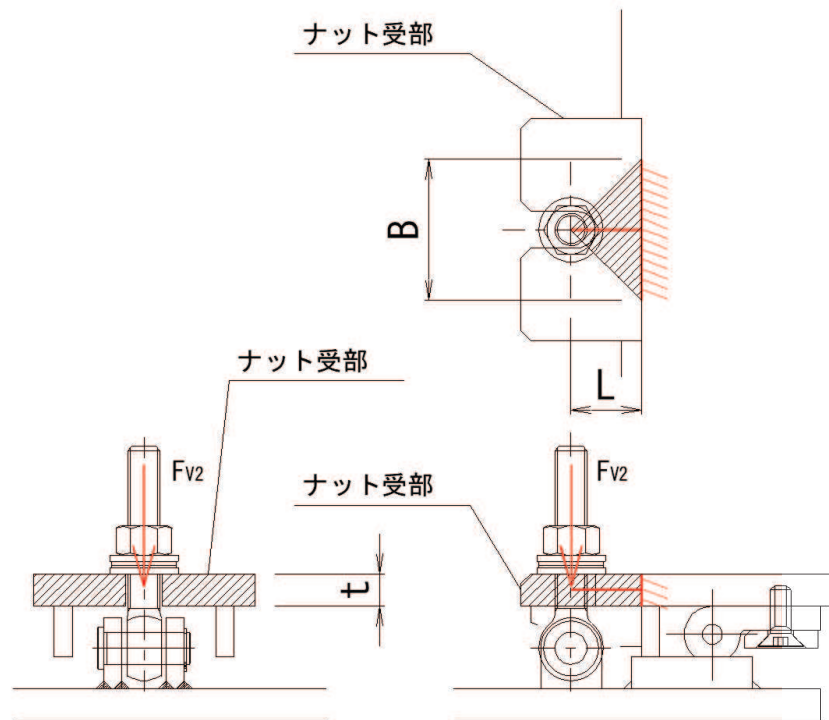
- $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $L$  : ヒンジ支点間距離 (mm)
- $B$  : 荷重の载荷長 (mm)
- $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $A$  : スイングボルトピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $D$  : ピンの直径 (mm)

図 5-14 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式



#### 5.5.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受金具のモデル図及び応力算定式を図5-15に示す



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : 腕長さ (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : 有効断面幅 (mm)

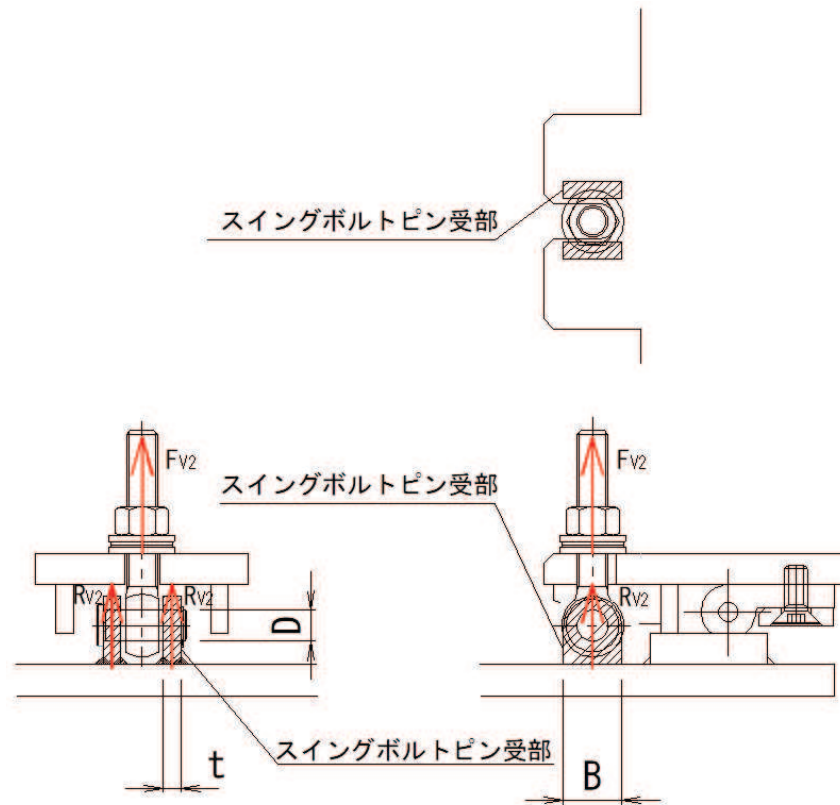
$A$  : ナット受部の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$t$  : ナット受部の板厚 (mm)

図5-15 ナット受部のモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 5-16 に示す



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- $\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $R_{v2}$  : スイングボルトピン受金具が負担する縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{v2}$  : 縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $A$  : スイングボルトピン受部の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $B$  : スイングボルトピン受部の幅 (mm<sup>2</sup>)
- $t$  : スイングボルトピン受部の板厚 (mm<sup>2</sup>)

図 5-16 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

## 5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-9 に示す。

表 5-9 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
主桁 (受部)	G	kN	主桁とスキンプレーートの固定荷重	25.85
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	2.50
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	8.29
	L <sub>1</sub>	mm	主桁 (受部) の負担幅	963
	L <sub>2</sub>	mm	主桁 (受部) 全長	2670
	A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	主桁 (受部) のせん断断面積	1998
	Z	mm <sup>3</sup>	主桁 (受部) の断面係数	8.46×10 <sup>5</sup>
主桁 (戸当り 部)	G	kN	主桁とスキンプレーートの固定荷重	25.85
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	2.50
	L <sub>3</sub>	mm	固定ボルト中心位置から主桁 (戸当り部) 中心 位置までの距離	90
	B	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの有効幅 (mm)	171
	t <sub>b</sub>	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの厚さ	14
スキン プレート	G	kN	スキンプレーートの固定荷重	12.22
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	2.50
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	8.29
	L <sub>3</sub>	mm	スキンプレーートの支持長辺長さ	1055
	L <sub>4</sub>	mm	スキンプレーートの支持短辺長さ	900
	β <sub>2</sub>	—	スキンプレーートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレーートの厚さ	16
固定 ボルト	G	kN	主桁とスキンプレーートの固定荷重	25.85
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	2.50
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	40

表 5-9 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_v$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_h$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_h$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_v$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-9 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	2.42
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.31
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160
スイングボルト	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	157
スイングボルトピン	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	402
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	201
ナット受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	121.50

表 5-9 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_v$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_h$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_h$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_v$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-8 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	4.22
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	1.73
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.31
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160
スイングボルト	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	157
スイングボルトピン	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	402
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	201
ナット受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	121.50

6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 (1) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁 (受け部)	曲げ	11	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	せん断	7	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	17	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
主桁 (戸当り部)	曲げ	180	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.56 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	181	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.56 < 1.0
スキンプレート	曲げ	8	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	9	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
固定ボルト	引張	1.6	kN	37.7	kN	0.05 < 1.0
	せん断	3.5	kN	32.9	kN	0.11 < 1.0
	組合せ	—		—		0.02 < 1.0



表 6-1 (2) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	7	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	7	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	6	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	5	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	19	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	せん断	4	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	21	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	12	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	10	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	組合せ	21	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
エンドプレート	曲げ	11	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	11	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
スイングボルト	引張	8	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	17	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	せん断	4	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	18	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
ナット受部	曲げ	15	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	15	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	6	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0

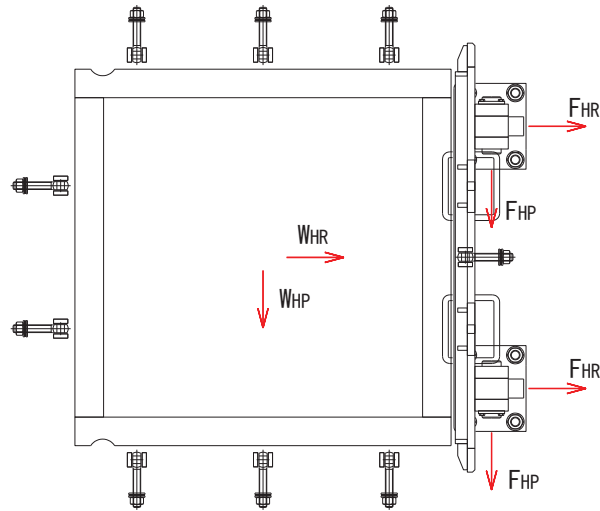
表 6-1 (3) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	23	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
	せん断	4	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	24	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	10	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	せん断	28	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.19 < 1.0
	組合せ	50	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.18 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	21	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	23	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	33	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.13 < 1.0
	せん断	7	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	組合せ	35	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.13 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	26	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
	せん断	20	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
	組合せ	43	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.15 < 1.0
エンドプレート	曲げ	25	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	25	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
スイングボルト	引張	8	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	17	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	せん断	4	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	18	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
ナット受部	曲げ	15	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	15	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	6	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0

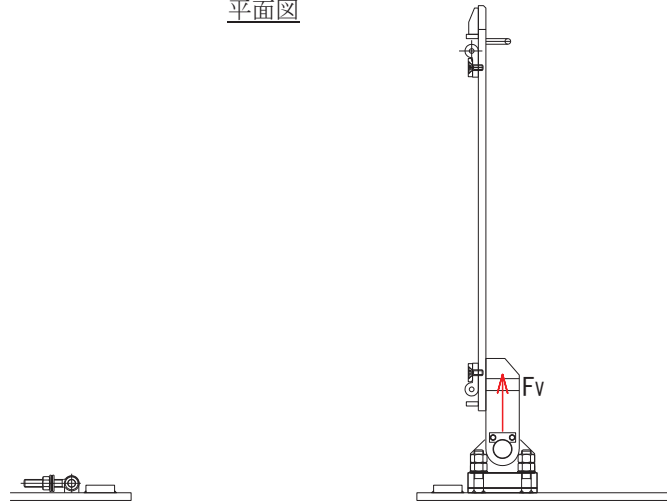
## (別紙1) ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価

### 1. 概要

ハッチ開放時におけるヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）について評価を行う。ハッチ開放時の荷重算定式を図 1 に示す。なお，各部材のモデル及び応力算定式については，本文「5.5.4 ハッチ」に示すとおりである。



平面図



鉛直方向荷重  
Wv

断面図 (開放時)

$$\begin{aligned}
 W_{HR} &= (G + P_s) \cdot k_H \\
 W_{HP} &= (G + P_s) \cdot k_H \\
 W_V &= (G + P_s) \\
 &\quad + (G + P_s) \cdot k_V \\
 F_{HR} &= \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R \\
 F_{HP} &= \alpha_2 \cdot W_{HP} \\
 F_{V1} &= \alpha_3 \cdot W_V \\
 F_{V2} &= \beta \cdot W_V
 \end{aligned}$$

ここで,

- $$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$
- $W_{HR}$  : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
  - $W_{HP}$  : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
  - $W_V$  : 鉛直荷重 (kN)
  - $W_R$  : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
  - $L_c$  : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
  - $L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
  - $G$  : ハッチの固定荷重 (kN)
  - $P_s$  : 積雪荷重 (kN)
  - $k_H$  : 基準地震動  $S_s$  の水平方向の設計震度
  - $k_V$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度
  - $F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
  - $F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
  - $F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
  - $F_{V2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
  - $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  : 分担率 ( $\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.5, \alpha_3=0.1$ )

図1 ハッチ開放時の構造概要及び荷重算定式

## 2. 各部材の評価

ヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）のモデル及び応力算定式については，本文「5.5.4 ハッチ」に示すとおりである。

### 3. 評価条件

各部材の耐震評価に用いる入力値を表1に示す。

表1 (1) ヒンジ部の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.92
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	3.15
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
	$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.92
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.92
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	3.15
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257

表 1 (2) ヒンジ部の耐震評価に用いる入力値（荷重：回転軸直角方向）（2/2）

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジ 固定 ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重（回転軸直角方向）	4.92
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重（回転軸平行方向）	0
	$F_{V1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	3.15
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_V$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_H$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_H$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_V$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2
エンド プレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	1.23
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.79
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160

表 1 (3) ヒンジ部の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	8.59
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	4.92
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	3.15
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	8.59
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	4.92
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	8.59
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	3.15
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257



表 1 (4) ヒンジ部の耐震評価に用いる入力値（荷重：回転軸平行方向）（2/2）

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジ 固定 ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重（回転軸直角方向）	8.59
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重（回転軸平行方向）	4.92
	$F_{V1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	3.15
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_V$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_H$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_H$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_V$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2
エンド プレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	2.15
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0.88
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.79
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160

#### 4. 評価結果

各部材の耐震評価結果を表2に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表2(1) ヒンジ部の耐震評価結果(荷重:回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	12	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05<1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01<1.0
	組合せ	12	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.05<1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	7	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.03<1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01<1.0
	組合せ	7	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03<1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	3	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02<1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01<1.0
	組合せ	4	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02<1.0
ヒンジピン	曲げ	12	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05<1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02<1.0
	組合せ	13	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.05<1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	9	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04<1.0
	せん断	6	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.04<1.0
	組合せ	12	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.05<1.0
エンドプレート	曲げ	8	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04<1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01<1.0
	組合せ	9	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.04<1.0

表 2 (2) ヒンジ部の耐震評価結果 (荷重 : 回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	21	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	21	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	9	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	せん断	15	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
	組合せ	26	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	11	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	12	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	18	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	せん断	4	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	19	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	16	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	せん断	11	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	組合せ	24	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
エンドプレート	曲げ	15	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	16	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0

(別紙2) 海水ポンプ室と原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の最大加速度応答の比較

1. 概要

浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度について、海水ポンプ室の最大加速度（スクリーンエリアの東西方向及び南北方向のうち、最大加速度が大きいスクリーンエリア（東西方向）を使用）を用いている。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震評価においても、東西方向の最大加速度は海水ポンプ室の地震応答解析結果を用いているが、南西方向について地震応答解析を実施していることから、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の浸水防止蓋設置相当位置における南西方向の最大加速度と比較し、海水ポンプ室の最大加速度を用いることの保守性を確認する。

2. 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の最大加速度抽出位置

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の地震応答解析に用いている解析モデルのうち、浸水防止蓋設置位置相当となる解析モデル及び最大加速度抽出位置を図1に示す。なお、原子炉機器冷却海水配管ダクトの地震応答解析の詳細については、添付書類「VI-2-2-12-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震性についての計算書」に示す。

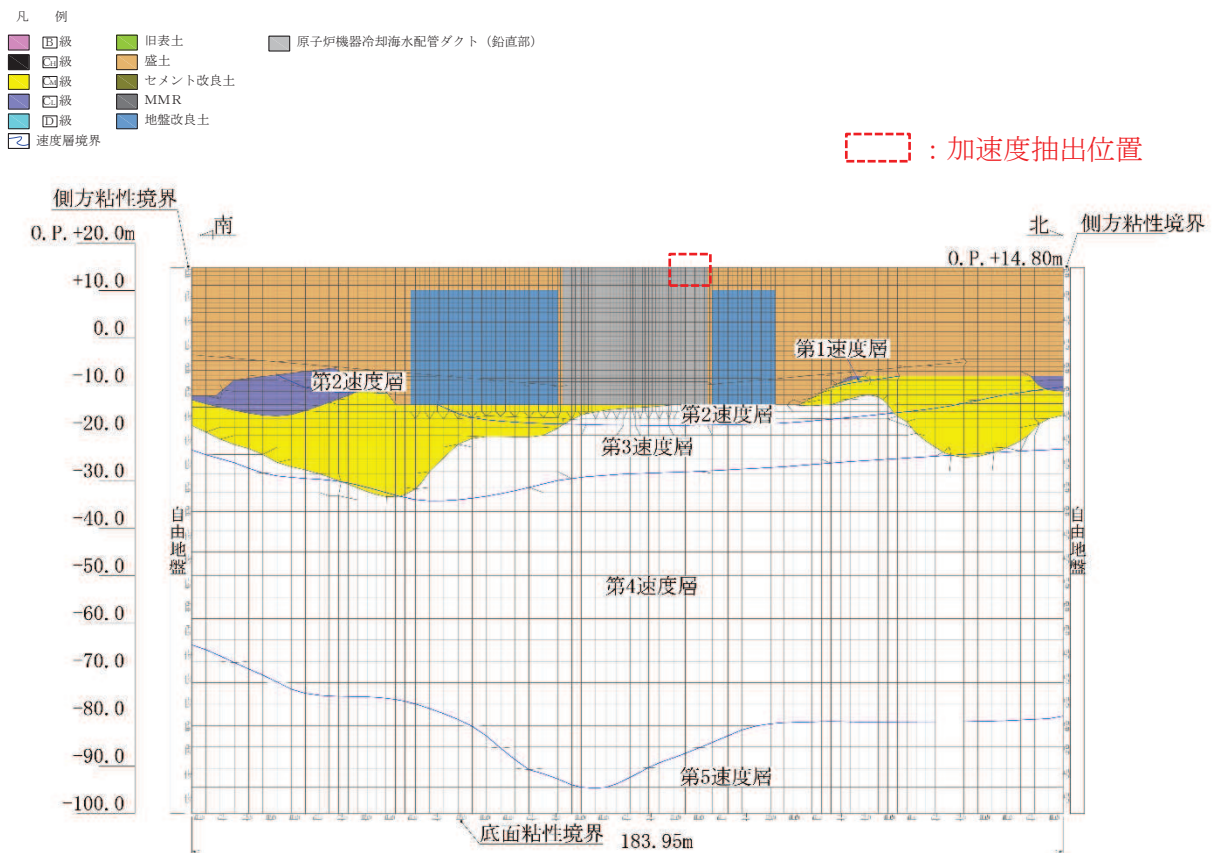


図1 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部） 最大加速度（南西方向）抽出位置

### 3. 最大応答加速度の比較結果

海水ポンプ室と原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の最大加速度の比較結果を表1に示す。

表1より、海水ポンプ室の最大加速度は水平方向及び鉛直方向ともに、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の最大加速度を上回っていることから、浸水防止蓋の耐震評価にて海水ポンプ室の最大加速度を用いることの保守性を確認した。

表1 最大加速度の比較

単位：cm/s<sup>2</sup>

	海水ポンプ室		原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）
	東西方向	南西方向	南西方向
水平方向	4822	1065	878
鉛直方向	2101	898	466

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明
- 6.5.3.2 浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）の強度計算書に関する補足説明

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	4
2.3 評価方針	5
2.4 適用基準	6
2.5 記号の説明	7
3. 評価対象部位	12
4. 構造強度評価	14
4.1 構造強度評価方法	14
4.2 荷重及び荷重の組合せ	14
4.3 許容限界	20
4.4 評価方法	25
4.5 評価条件	44
5. 評価結果	49

## 1. 概要

本資料は、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」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）（以下「浸水防止蓋」という。）が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、主要な構造部材が十分な構造強度を有していることを説明するものである。

なお、浸水防止蓋の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

浸水防止蓋は、原子炉機器冷却海水配管ダクト上部からの浸水を防止するために設置する。  
浸水防止蓋の設置位置図を図 2-1 に、流入対策図を図 2-2 に示す。

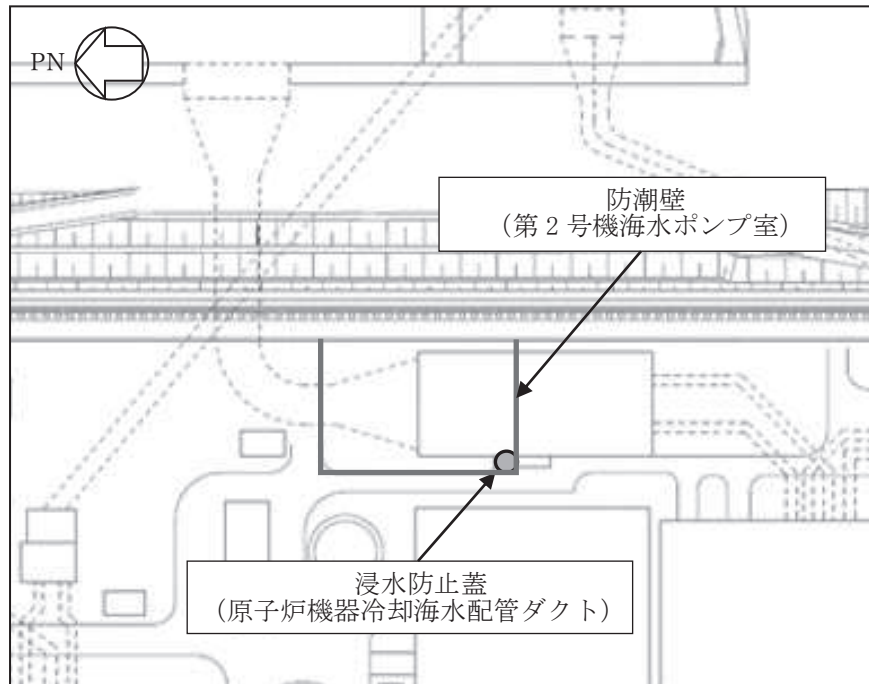


図 2-1 浸水防止蓋の設置位置図



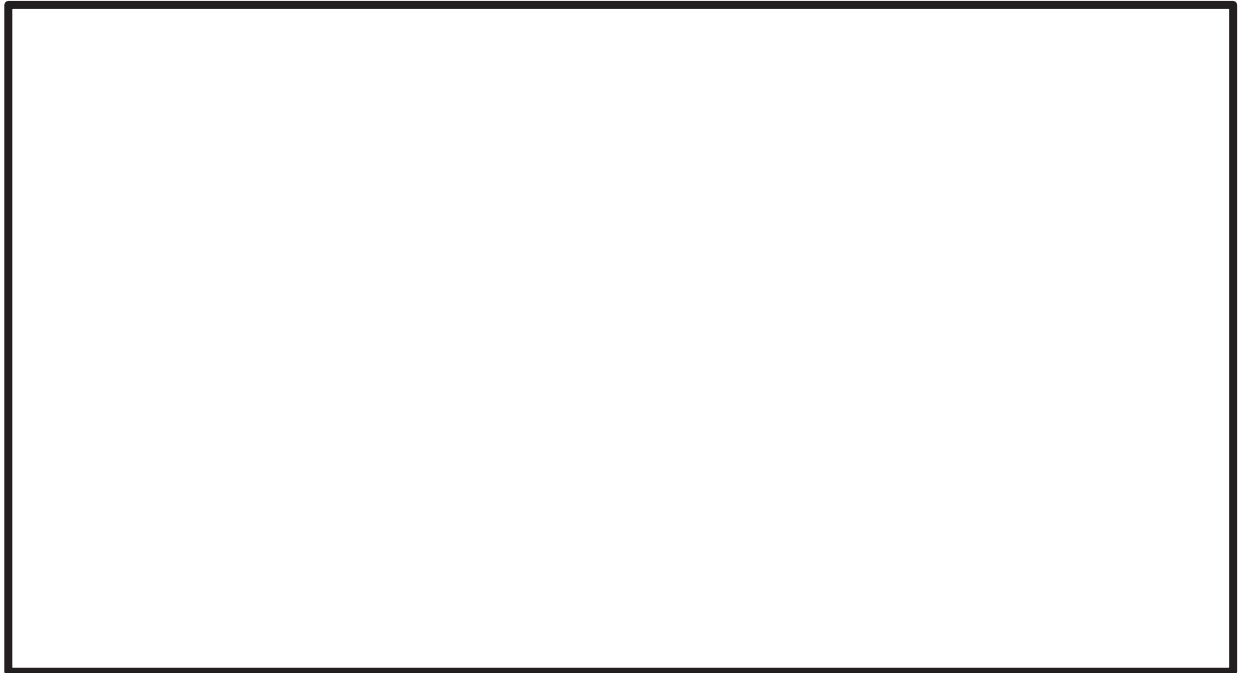


図 2-2 (1) 第 2 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (平面図)

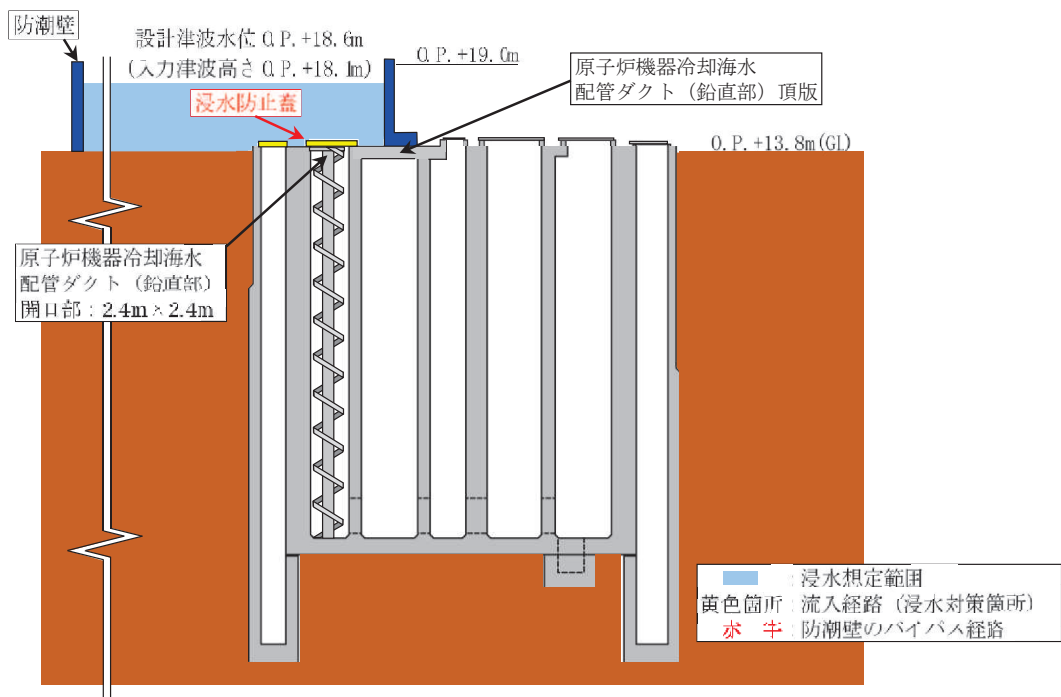


図 2-2 (2) 第 2 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (B-B 断面図)

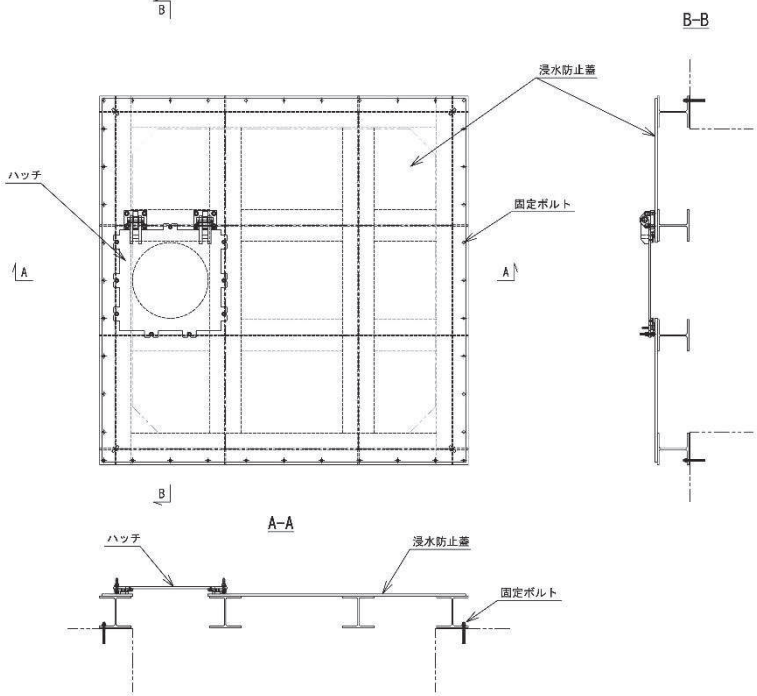
枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

## 2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形のスキンプレートに主桁（H型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。

浸水防止蓋は、原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋、ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

### 2.3 評価方針

浸水防止蓋の強度評価は、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」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4.4 評価方法」で算出した応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。強度評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-3 に示す。

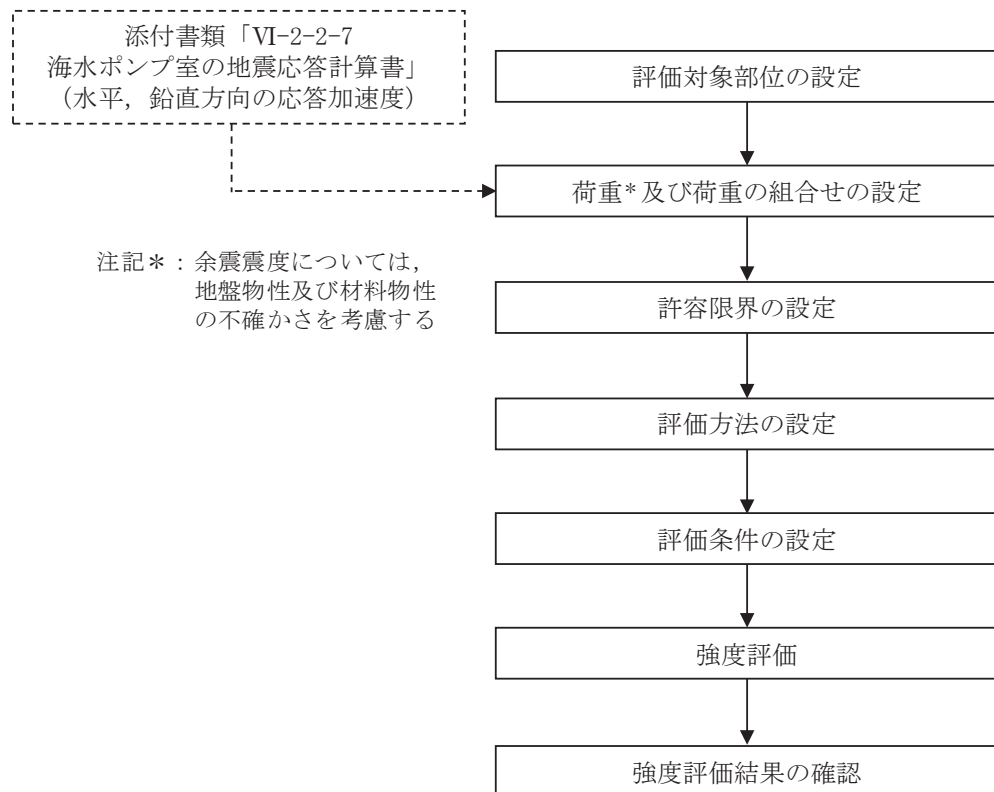


図 2-3 強度評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (4) ダム堰施設技術協会 平成28年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

## 2.5 記号の説明

浸水防止蓋の強度評価に用いる記号を表 2-2 にそれぞれ示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

記号	単位	定義
$S_d$	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による余震荷重
$\alpha_H$	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向の余震震度
$\alpha_V$	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の鉛直方向の余震震度
$G$	kN	固定荷重
$P_h$	kN	浸水津波荷重
$\rho_o$	t/m <sup>3</sup>	水の密度
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
$h_1$	O. P. m	設計津波水位
$h_2$	O. P. m	浸水防止蓋の設置高さ
$A$	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積
$P_s$	kN	積雪荷重
$W_s$	N/m <sup>2</sup>	1 cm 当りの積雪荷重
$d_s$	cm	積雪高さ
$W_{s s}$	kN/m <sup>2</sup>	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	最大せん断応力度
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	最大曲げ応力度
$Q$	kN	最大せん断力
$M$	kN・m	最大曲げモーメント
$x$	N/mm <sup>2</sup>	組合せ応力度
$A_s$	mm <sup>2</sup>	せん断断面積
$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
$L_1$	mm	主桁の負担幅
$L_2$	mm	主桁全長
$L_3$	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
$L_4$	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
$\beta_2$	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数
$t$	mm	スキンプレートの厚さ
$N$	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
$T_d$	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
$q$	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	$W_{HR}$	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	$W_{HP}$	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	$W_V$	kN	鉛直荷重
	$W_R$	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	$k_H$	—	基準地震動 $S_s$ の水平方向の設計震度
	$k_V$	—	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度
	$G$	kN	ハッチの固定荷重
	$P_s$	kN	積雪荷重
	$L_c$	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離
	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
	$F_{v2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重
ヒンジプレート (ハッチ側)	$\sigma_N$	N/mm <sup>2</sup>	軸方向引張応力度
	$\sigma_{bR}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bP}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bV1}$	N/mm <sup>2</sup>	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	$\tau_R$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	$\tau_P$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	$\tau_v$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	$\tau_{PX}$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	$Z_D$	mm <sup>3</sup>	極断面係数
$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$\sigma_N$	N/mm <sup>2</sup>	軸方向引張応力度
	$\sigma_{bR}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bP}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	$\tau_R$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	$\tau_P$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積
	$B$	mm	ヒンジプレート幅
$t$	Mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離
	$B$	mm	荷重の載荷長
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
	$A$	mm <sup>2</sup>	ヒンジピンの断面積
$D$	mm	ヒンジピンの直径	

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P <sub>R</sub>	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P <sub>P</sub>	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P <sub>V</sub>	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Q	kN	ボルトせん断力
	Q <sub>R</sub>	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	Q <sub>P</sub>	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	L <sub>V</sub>	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	L <sub>H</sub>	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	N <sub>H</sub>	本	回転軸平行方向のボルト本数
N <sub>V</sub>	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P <sub>R</sub>	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P <sub>P</sub>	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P <sub>V</sub>	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm <sup>2</sup>	エンドプレートの有効断面積
	L	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
t	mm	エンドプレートの板厚	



表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイングボルト	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	A	mm <sup>2</sup>	断面積
スイングボルトピン	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	x	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	A	mm <sup>2</sup>	スイングボルトピンの断面積
	D	mm	スイングボルトピンの直径
ナット受部	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	x	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	F <sub>v2</sub>	kN	締付部に作用する鉛直荷重
	L	mm	腕長さ
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm <sup>2</sup>	ナット受部の有効断面積
スイングボルトピン受部	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	R <sub>v2</sub>	kN	スイングボルトピン受金具が負担する締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm <sup>2</sup>	スイングボルトピン受部の断面積
	B	mm	スイングボルトピン受部の幅
	t	mm	スイングボルトピン受部の板厚

### 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、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。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、津波荷重及び余震荷重に伴う慣性力がスキンプレート、主桁に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、主桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。

浸水防止蓋のハッチ部の運用について、原則閉止運用とするとともに、定期点検時等により開状態となる場合においても速やかに閉操作できる人員を、ハッチ付近に待機させる運用とすることから（詳細は、「6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明 参考資料1 浸水防止蓋の開閉運用について」に示す。）、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、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。

浸水防止蓋の評価対象部位を、図3-1に示す。

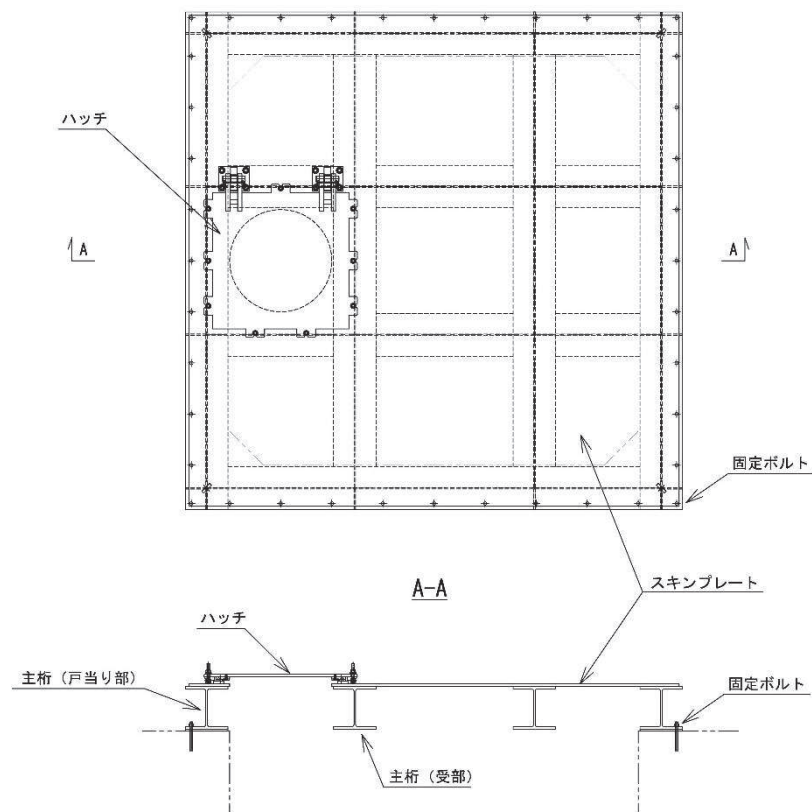
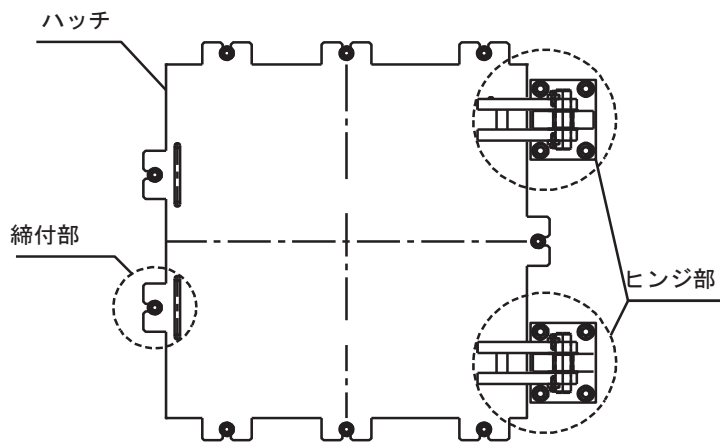
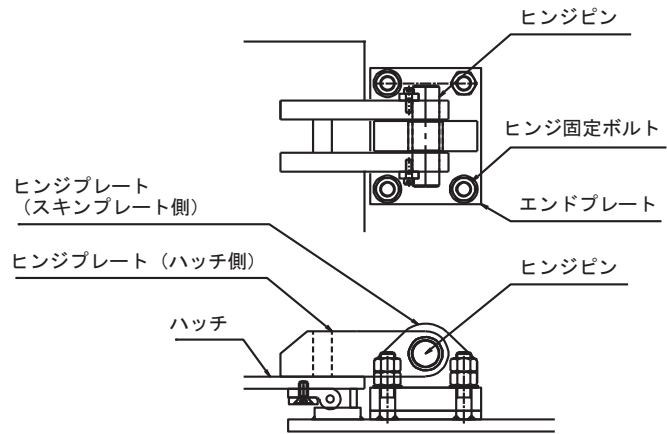


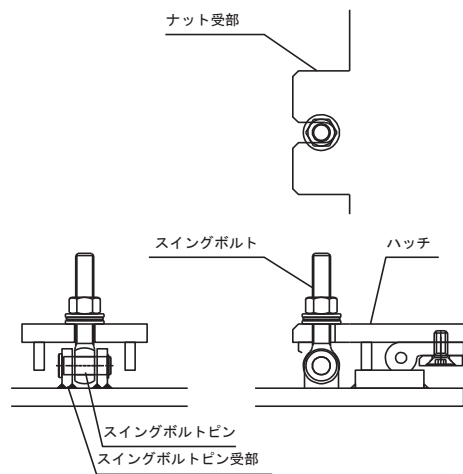
図3-1 (1) 評価対象部位（スキンプレート、主桁及び固定ボルト）



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の強度評価は、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「4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

##### 4.2 荷重及び荷重の組合せ

###### 4.2.1 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下記に示す。

$$G + P_h + S_d + P_s$$

ここで、	G	: 固定荷重 (kN)
	P <sub>h</sub>	: 浸水津波荷重 (kN)
	S <sub>d</sub>	: 余震荷重 (kN)
	P <sub>s</sub>	: 積雪荷重 (kN)

###### 4.2.2 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

###### (1) 固定荷重(D)

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。

###### (2) 浸水津波荷重(P<sub>h</sub>)

浸水津波荷重は、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」に示すとおり、津波高さ及び浸水防止蓋の設置高さを考慮した静水圧を次式により算出する。

$$P_h = \rho_o \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \cdot A$$

ここで、	$\rho_o$	: 水の密度 1.03 (t/m <sup>3</sup> )
	g	: 重力加速度 9.80665 (m/s <sup>2</sup> )
	h <sub>1</sub>	: 設計津波水位 (O.P. m)
	h <sub>2</sub>	: 浸水防止蓋の設置高さ (O.P. m)
	A	: 浸水防止蓋の面積 (m <sup>2</sup> )

### (3) 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

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の式より算出する。

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

ここで、	P <sub>s</sub>	: 積雪荷重 (kN)
	W <sub>s</sub>	: 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m <sup>2</sup> )
	d <sub>s</sub>	: 積雪高さ 43 (cm)
	A	: 浸水防止蓋の面積 (m <sup>2</sup> )

### (4) 余震荷重(S<sub>d</sub>)

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<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> に伴う地震力及び動水圧荷重を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> に伴う地震力を考慮する。鉛直方向については、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> に伴う地震力と動水圧荷重を考慮する。

浸水防止蓋を設置する原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、規模及び重量共に大きい海水ポンプ室に懸架されており、海水ポンプ室と一体となって挙動することから、浸水防止蓋の強度評価に用いる余震震度は、海水ポンプ室の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。地震応答解析ケースを表 4-1 に示す。強度評価に用いる応答加速度は、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）が接する図 4-1 に示すスクリーンエリア及び補機ポンプエリアのうち最大加速度が大きい方を用いる。

強度評価で用いる海水ポンプ室の最大加速度分布図を図 4-2 に、最大加速度を表 4-2 に、余震震度を表 4-3 に示す。

なお、地震力は、浸水防止蓋の固定荷重、浸水津波荷重及び積雪荷重に余震震度を乗じた次式により算出する。

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

ここで、	S <sub>d</sub>	: 弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> -D <sub>2</sub> による余震荷重 (kN)
	G	: 固定荷重 (kN)
	P <sub>h</sub>	: 浸水津波荷重 (kN)
	P <sub>s</sub>	: 積雪荷重 (kN)
	α <sub>H</sub>	: 弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> -D <sub>2</sub> による水平方向の余震震度
	α <sub>V</sub>	: 弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> -D <sub>2</sub> による鉛直方向の余震震度

表 4-1 海水ポンプ室の地震応答解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ : ヤング係数)	地盤物性	
		盛土, 旧表土, 改良地盤, $D$ 級岩盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	$C_L$ 級岩盤, $C_M$ 級岩盤, $C_H$ 級岩盤, $B$ 級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+1 $\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値-1 $\sigma$	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記\* : 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

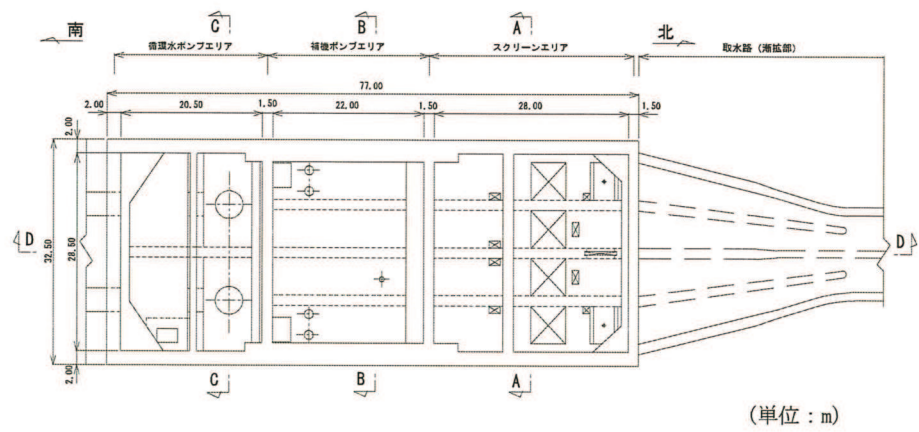


図 4-1 (1) 海水ポンプ室平面図

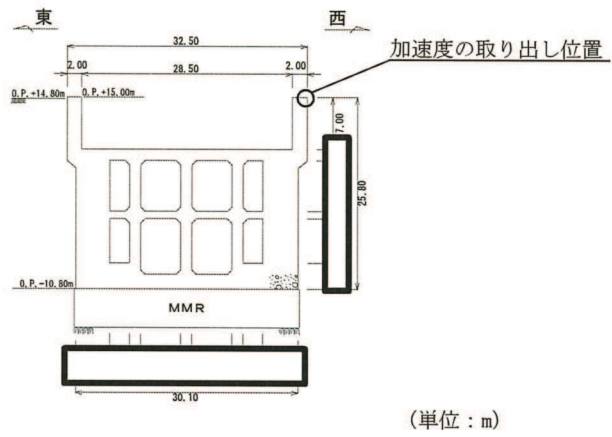


図 4-1 (2) 海水ポンプ室断面図 (スクリーンエリア) (A-A 断面)

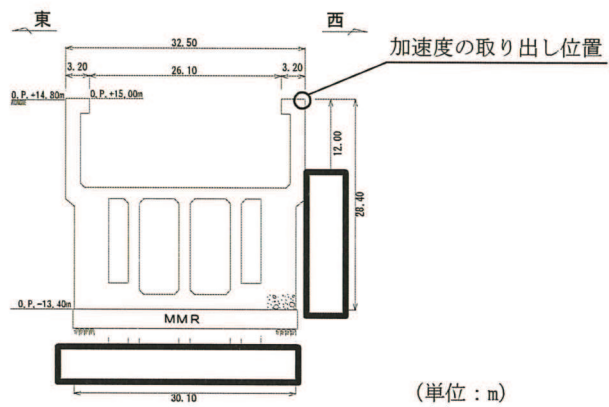
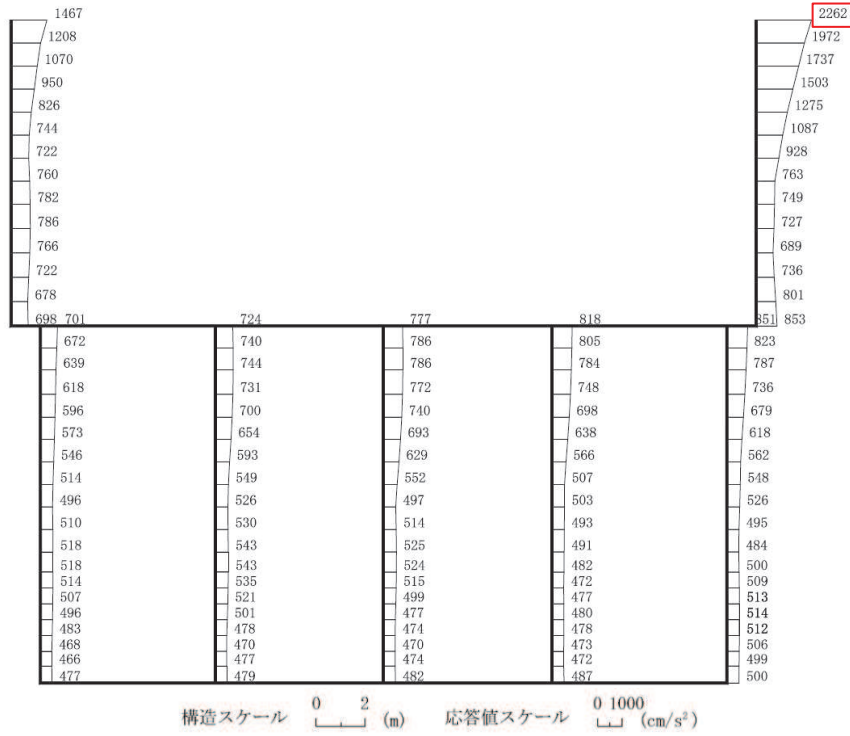


図 4-1 (3) 海水ポンプ室断面図 (補機ポンプエリア) (B-B 断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

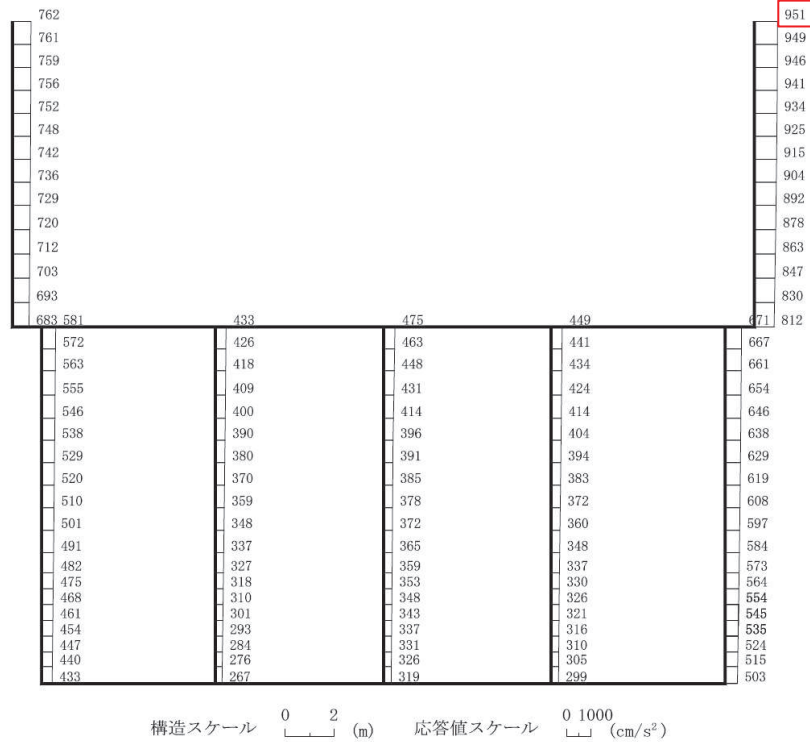
□ : 強度評価に用いる最大加速度



(補機ポンプエリア (東西方向), S d - D 2 (++) , 解析ケース③)

図 4-2 (1) 最大加速度分布図 (水平方向)

□ : 強度評価に用いる最大加速度



(補機ポンプエリア (東西方向), S d - D 2 (++) , 解析ケース②)

図 4-2 (2) 最大加速度分布図 (鉛直方向)



表 4-2 (1) 最大加速度 (水平方向)

地震時荷重算出断面	地震動	位相	解析ケース	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
補機ポンプエリア (東西方向)	S d - D 2	++	ケース③	2262

表 4-2 (2) 最大加速度 (鉛直方向)

地震時荷重算出断面	地震動	位相	解析ケース	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
補機ポンプエリア (東西方向)	S d - D 2	++	ケース②	951

表 4-3 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 $\alpha_H$	鉛直方向 $\alpha_v$
原子炉機器冷却 海水配管ダクト	O.P. 14.0	2.31	0.97

### 4.3 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。

#### 4.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 4-4 に示す。

表 4-4 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
主桁	SM490Y	H-250×250×9×14 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

#### 4.3.2 許容限界

##### (1) スキンプレート, 主桁

鋼材の許容応力度は、「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 4-5 の値とする。

表 4-5 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

## (2) 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。

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 ( $P_{a1}$ )、付着力により決まる許容荷重 ( $P_{a3}$ ) 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 ( $q_{a1}$ )、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 ( $q_{a2}$ ) 及びコーン状破壊により決まる許容荷重 ( $q_{a3}$ ) を比較して、いずれか小さい値を採用する。

津波荷重及び余震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重の設定に用いる入力値を表 4-6 に、許容荷重を表 4-7 に示す。

### 引張力を受ける場合

$$P_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s c a$$

$$P_{a3} = \Phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

ここで、 $P_{a1}$  : 固定ボルトの降伏により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

$P_{a3}$  : 固定ボルトの付着力により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

$\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)

$\Phi_3$  : 低減係数 (短期荷重用)

$s \sigma_{pa}$  : 固定ボルトの引張強度 ( $= s \sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)

$s \sigma_y$  : 固定ボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s c a$  : 固定ボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$d_a$  : 固定ボルトの径 (mm)

$l_{ce}$  : 固定ボルトの強度算定用埋込み長さ ( $= l_e - 2 d_a$ ) (mm)

$\tau_a$  : へりあき及び固定ボルトのピッチによる付着強度の低減係数

### せん断力を受ける場合

$$q_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \Phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a3} = \Phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、 $q_{a1}$  : 固定ボルトのせん断強度により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容せん断力 (N)

$q_{a2}$  : 定着した躯体の支圧強度により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容せん断力 (N)

- $q_{a3}$  : 定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の固定ボルト  
 1本当たりの許容せん断力 (N)
- $\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)
- $\Phi_2$  : 低減係数 (短期荷重用)
- ${}_s\sigma_{qa}$  : 固定ボルトのせん断強度 ( $=0.7 \cdot {}_s\sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)
- ${}_s\sigma_y$  : 固定ボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- ${}_s c a$  : 固定ボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)
- ${}_c\sigma_{qa}$  : コンクリートの支圧強度 (N/mm<sup>2</sup>) ( $=0.5\sqrt{F_c \cdot E_c}$ )
- ${}_c\sigma_t$  : コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $(=0.31\sqrt{F_c})$
- $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)
- $A_{qc}$  : せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 (mm<sup>2</sup>)

表 4-6 固定ボルトの許容荷重の設定に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
$\Phi_1$	—	低減係数 (短期荷重用)	1.0
$\Phi_2$	—	低減係数 (短期荷重用)	2/3
$\Phi_3$	—	低減係数 (短期荷重用)	2/3
$s\sigma_{pa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの引張強度	325
$s\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの規格降伏点強度	325
$sca$	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの断面積	157
$d_a$	mm	固定ボルトの径	16
$l_{ce}$	mm	固定ボルトの強度算定用埋込み長さ	168
$\tau_a$	—	へりあき及び固定ボルトのピッチによる付着強度の低減係数	6.71
$s\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトのせん断強度	227.50
$c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの支圧強度	346.82
$c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.40
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	20.5
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数	23470
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	35343

表 4-7 津波荷重及び余震荷重を考慮する場合の固定ボルトの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)						
	引張			せん断			
	$P_{a1}$	$P_{a3}$	設定値	$q_{a1}$	$q_{a2}$	$q_{a3}$	設定値
SM490Y	51.0	37.7	37.7	35.7	36.3	32.9	32.9

(3) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備設計マニュアル編）（ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 月）」を踏まえて表 4-8 の値とする。

表 4-8 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

#### 4.4 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

##### 4.4.1 主桁

主桁の支持条件は両端をピン支持とし、図 4-3 に示すとおり、主桁が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

##### (1) 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 $S_d$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_v$$

ここで、 $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  による余震荷重 (kN)  
 $G$  : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $\alpha_v$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  の鉛直方向の余震震度

##### (2) 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s s'}$

$$W_{s s'} = (G + P_h + S_d + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 $W_{s s'}$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)  
 $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  による余震荷重 (kN)  
 $G$  : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $L_1$  : 主桁の負担幅 (mm)  
 $A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

##### (3) 主桁に作用する最大せん断応力度 $\tau$

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

$\tau$  : 主桁に作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $Q$  : 主桁に作用する最大せん断力 (kN)  
 $A_s$  : 主桁のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)  
ここで、 $Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$   
 $Q$  : 主桁に作用する最大せん断力 (kN)  
 $W_{s s'}$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)  
 $L_2$  : 主桁全長 (mm)

(4) 主桁に作用する最大曲げ応力度  $\sigma$

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

$\sigma$  : 主桁に作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 主桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 主桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$$\text{ここで, } M = 1/8 \cdot W_{ss'} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$$

M : 主桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$W_{ss'}$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_2$  : 主桁全長 (mm)

(5) 主桁に作用する組合せ応力度

主桁に作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また，主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「**日本建築学会 2005 年** 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで, x : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)



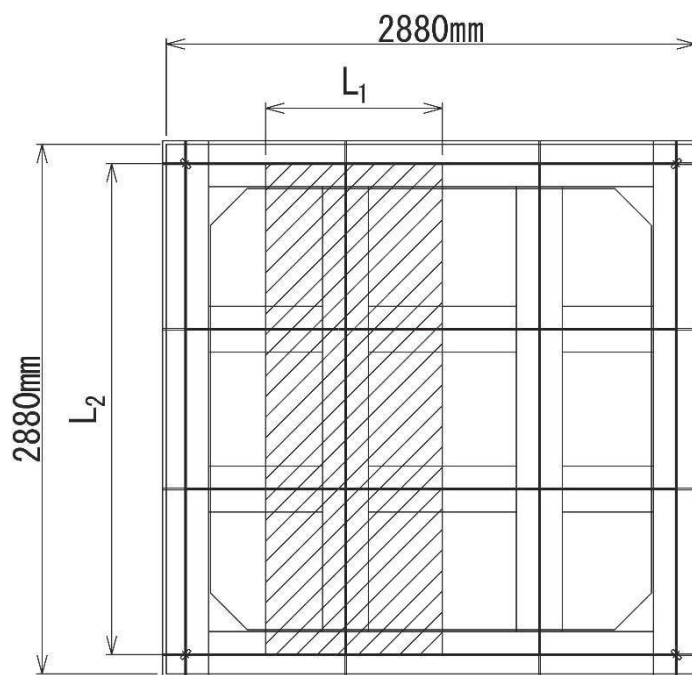


図 4-3 評価の対象とする主桁

#### 4.4.2 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 4-4 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力度及びせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

(1) 弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  による余震荷重  $S_d$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_v$$

ここで、 $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  による余震荷重 (kN)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $\alpha_v$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  の鉛直方向の余震震度

(2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重  $W_{ss}$

$$W_{ss} = (G + P_h + S_d + P_s) / A$$

ここで、 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)  
 $S_d$  : 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)  
 $A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

(3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度  $\sigma$

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_4^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 $\sigma$  : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\beta_2$  : スキンプレートの辺長比に応じた係数  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $L_4$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度  $\tau$

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_3 \cdot L_4 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_3 + L_4) \cdot 2)$$

- ここで、  $\tau$  : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $L_3$  : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)  
 $L_4$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ここで、  $x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

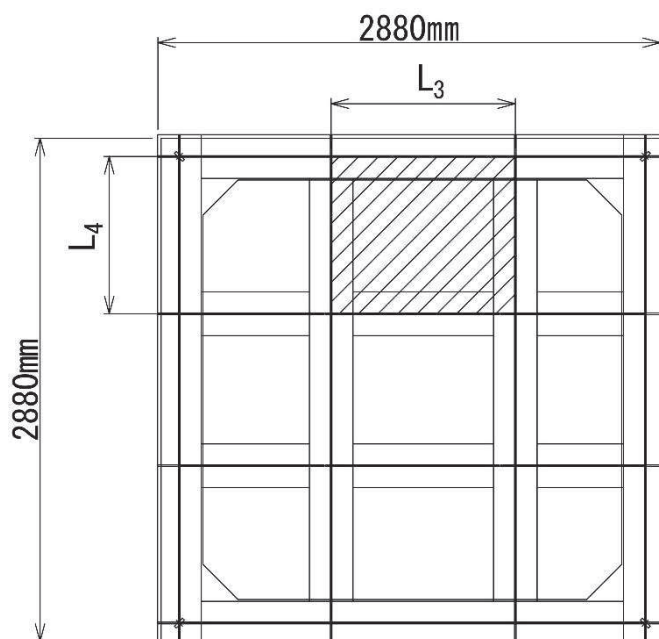


図 4-4 評価の対象とするスキンプレート

#### 4.4.3 固定ボルト

- (1) 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による水平方向の余震荷重  $S_d$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで,  $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による水平方向の余震荷重 (kN)

$G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

$P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_H$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  の水平方向の余震震度

- (2) 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による鉛直方向の余震荷重  $S_d$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

ここで,  $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による鉛直方向の余震荷重 (kN)

$G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

$P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_V$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  の鉛直方向の余震震度

- (3) 固定ボルトに作用する引張力  $T_d$

$$T_d = S_d / N$$

ここで,  $T_d$  : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

$S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による鉛直方向の余震荷重 (kN)

$N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

- (4) 固定ボルトに作用するせん断力  $q$

$$q = S_d / N$$

ここで,  $q$  : 固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

$S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による水平方向の余震荷重 (kN)

$N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

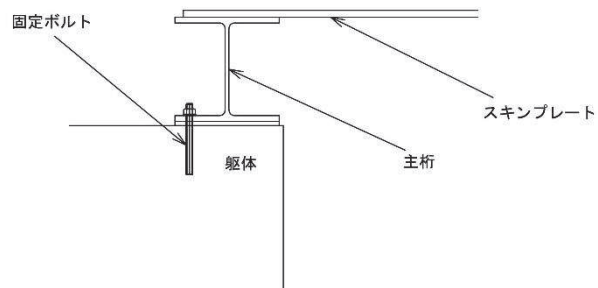
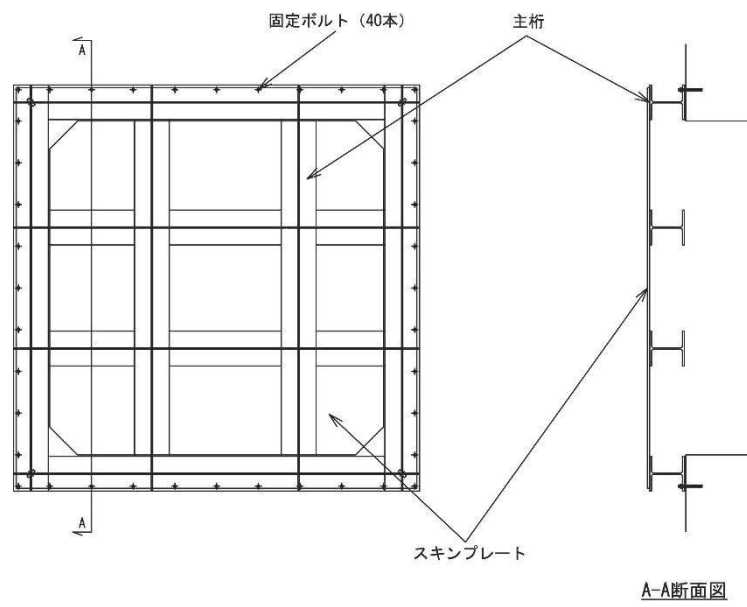


図 4-5 固定ボルトの納まり

#### 4.4.4 ハッチ

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図4-6に、荷重算定式を図4-7に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については、スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。

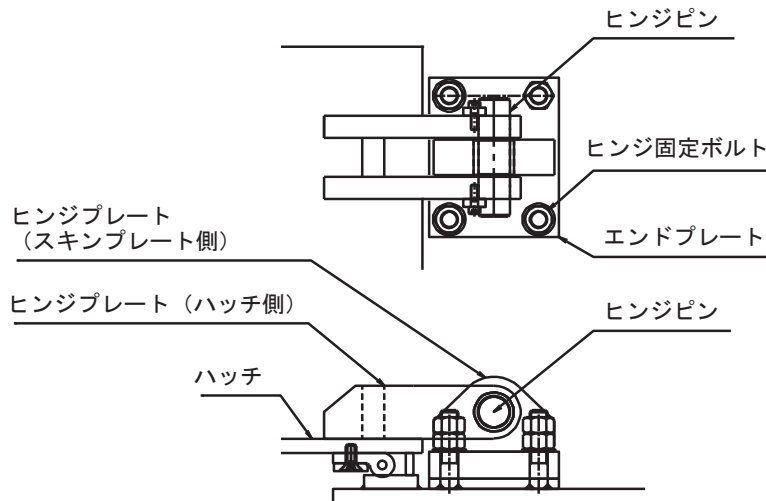


図4-6 (1) ヒンジ部の構造概要

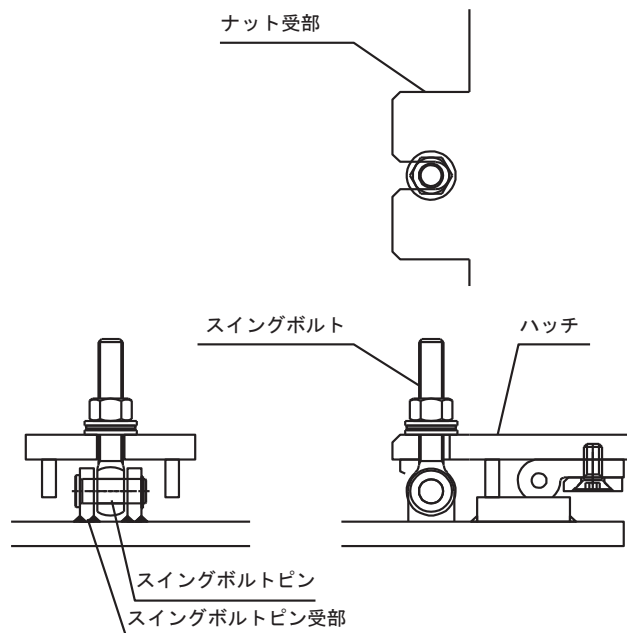
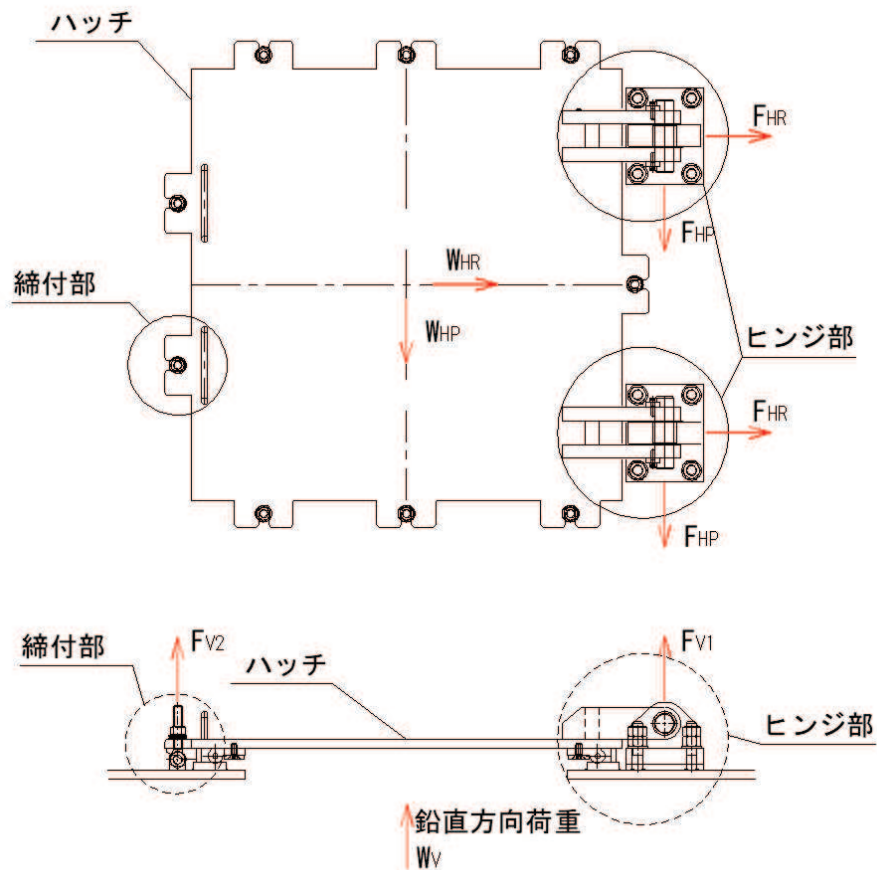


図4-6 (2) 締付部の構造概要



$$W_{HR} = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$W_{HP} = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$W_V = (G + P_h + P_s) + (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{V1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{V2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

$W_{HR}$  : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$W_{HP}$  : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$W_V$  : 鉛直荷重 (kN)

$W_R$  : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)

$L_c$  : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)

$L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

$G$  : ハッチの固定荷重 (kN)

$P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_H$  : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の水平方向の余震震度

$\alpha_V$  : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の鉛直方向の余震震度

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$F_{V2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

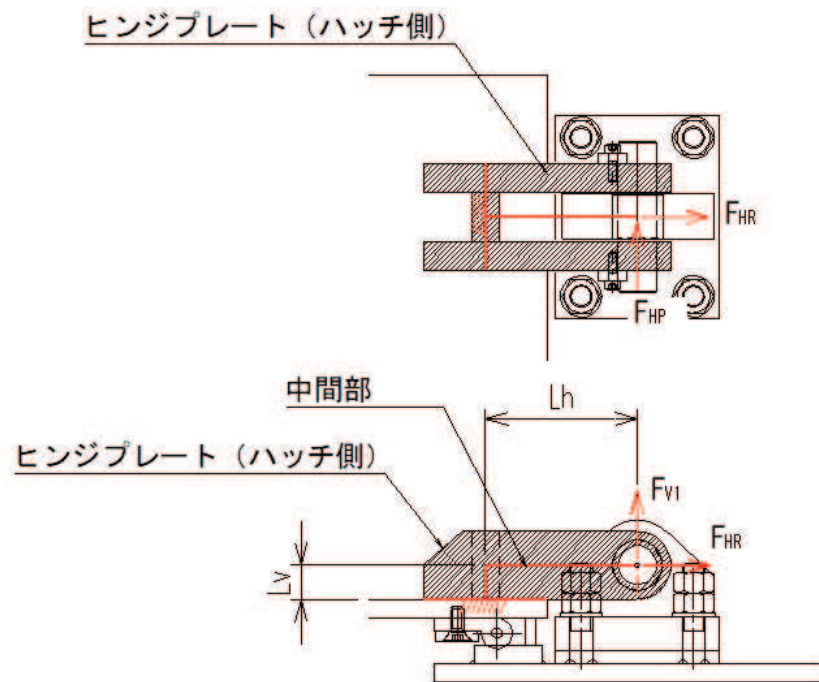
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$  : 分担率

$$(\alpha_1 = 0.5, \alpha_2 = 0.5, \alpha_3 = 0.1, \beta = 0.1)$$

図 4-7 ハッチの構造概要及び荷重算定式

#### 4.4.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図4-8に示す。



#### ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

$\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bV1}$  : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_v$  : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

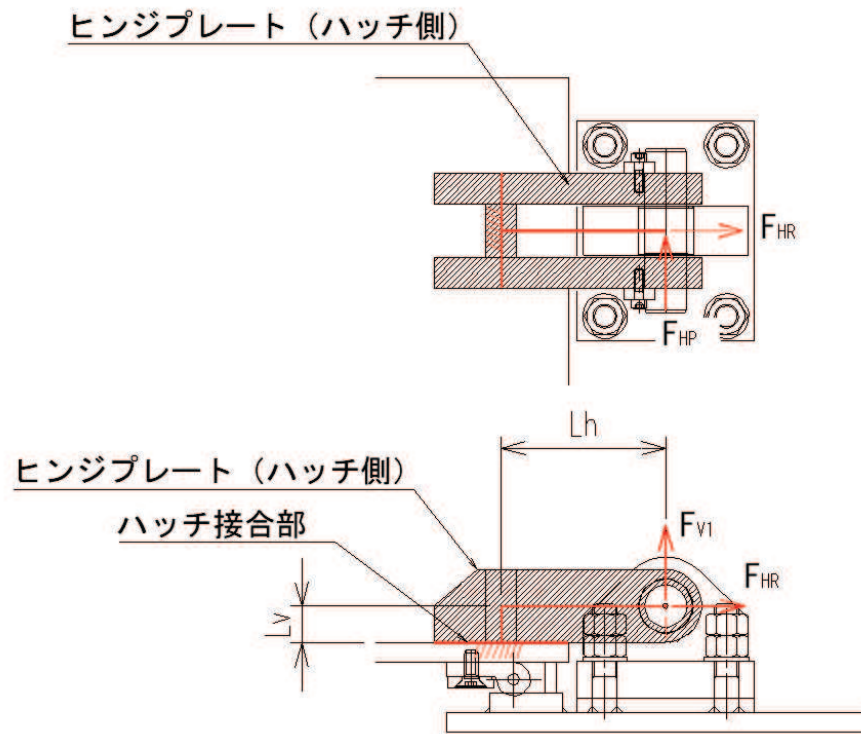
$Z_1$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm<sup>3</sup>)

$Z_2$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm<sup>3</sup>)

$A_1$  : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

図4-8 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式





ハッチ側

ハッチ接合部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP} \quad \text{ここで,}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$$

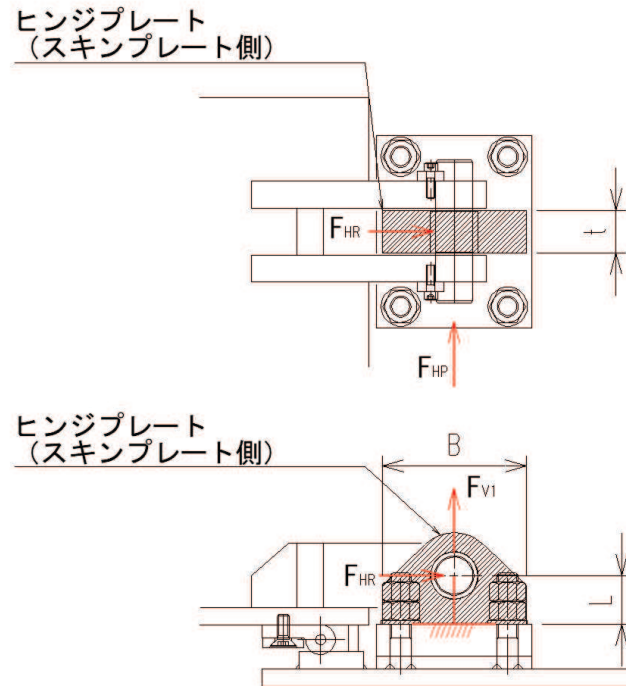
$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- $\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bR}$  : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bV1}$  : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_R$  : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_{PX}$  : 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- $L_v$  : ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
- $Z_3$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm<sup>3</sup>)
- $Z_4$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm<sup>3</sup>)
- $Z_p$  : 極断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $A_2$  : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

図 4-8 (2) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

#### 4.4.4.2 ヒンジプレート（スキンプレート側）

ヒンジプレート（スキンプレート側）のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式を図4-9に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bR}$  : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_R$  : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$L$  : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

$Z_1$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$Z_2$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A$  : ヒンジプレート（スキンプレート側）の断面積 (mm<sup>2</sup>)

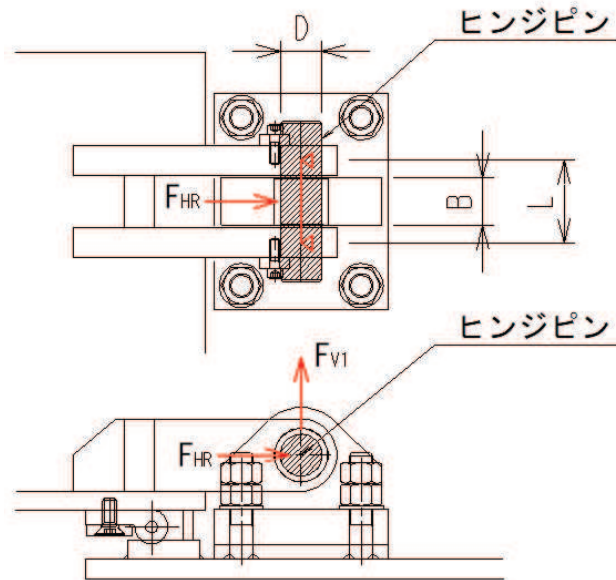
$B$  : ヒンジプレート幅 (mm)

$t$  : ヒンジプレート板厚 (mm)

図4-9 ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図4-10に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : ヒンジ支点間距離 (mm)

$B$  : 荷重の載荷長 (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

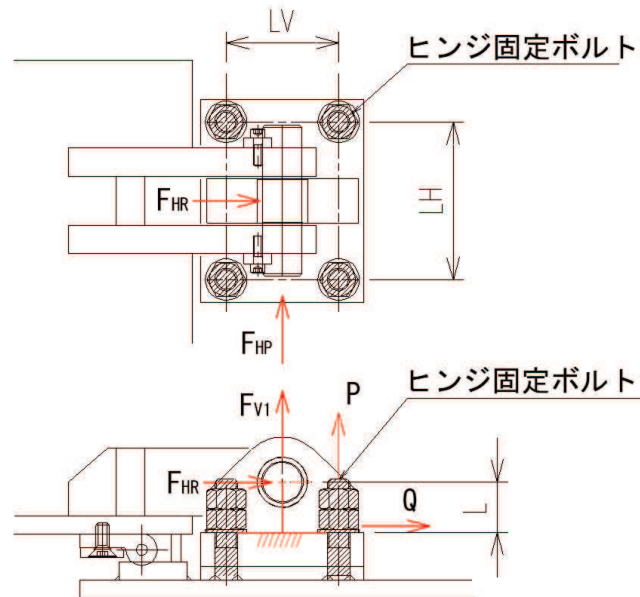
$A$  : ヒンジピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$D$  : ヒンジピンの直径 (mm)

図4-10 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図4-11に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : ボルト引張力 (kN)

$P_R$  : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

$P_P$  : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

$P_V$  : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

$Q$  : ボルトせん断力 (kN)

$Q_R$  : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

$Q_P$  : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : ヒンジ基部ーピン穴間距離 (mm)

$L_V$  : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

$L_H$  : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

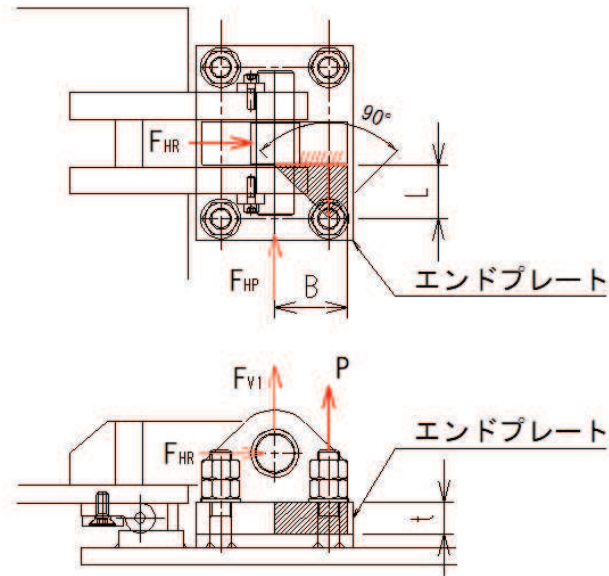
$N_H$  : 回転軸平行方向のボルト本数

$N_V$  : 回転軸直角方向のボルト本数

図4-11 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図4-12に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{VI} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : ボルト引張力 (kN)

$P_R$  : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

$P_P$  : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

$P_V$  : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : 有効断面幅 (mm)

$A$  : エンドプレートの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

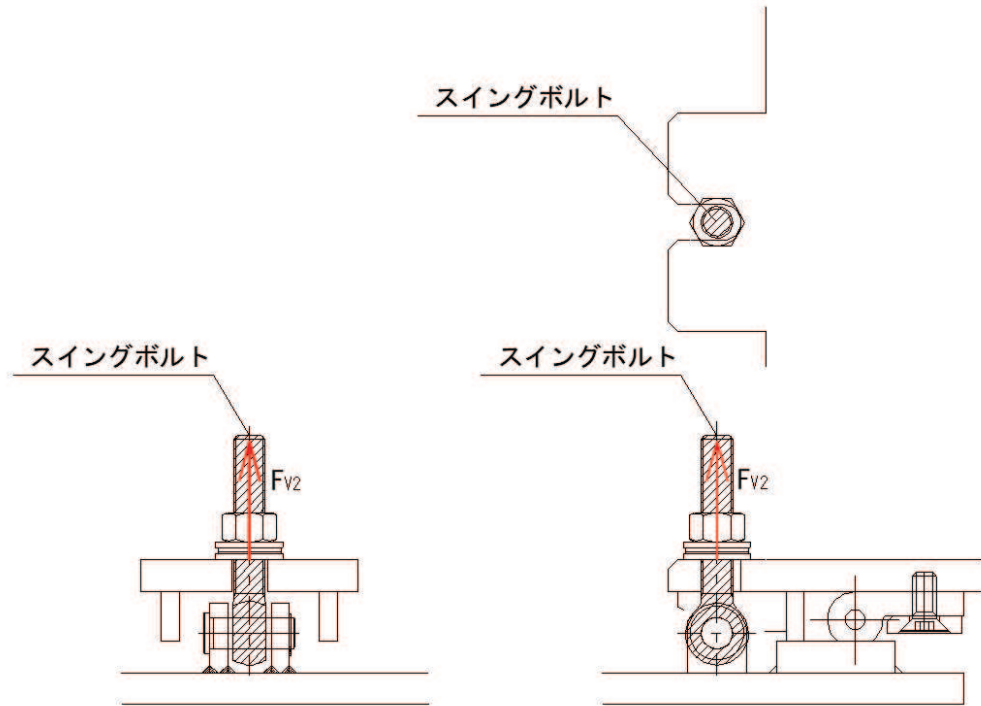
$L$  : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)

$t$  : エンドプレートの板厚 (mm)

図4-12 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図4-13に示す



$$\sigma = F_{v2} / A$$

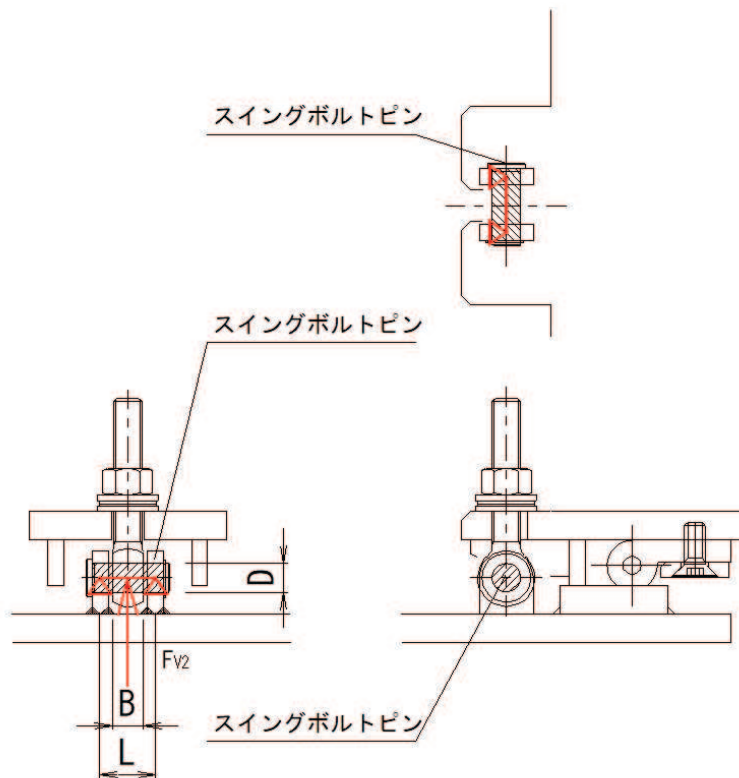
ここで、

- $\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $A$  : スイングボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

図4-13 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図4-14に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

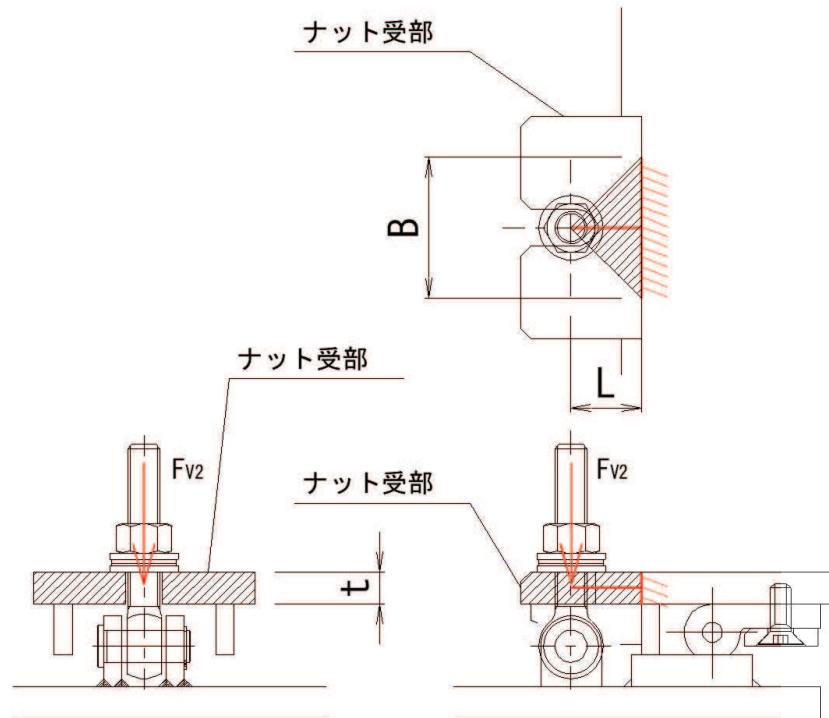
ここで、

- $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $L$  : ヒンジ支点間距離 (mm)
- $B$  : 荷重の载荷長 (mm)
- $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $A$  : スイングボルトピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $D$  : ピンの直径 (mm)

図4-14 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受部のモデル図及び応力算定式を図4-15に示す



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : 腕長さ (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : 有効断面幅 (mm)

$A$  : ナット受部の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

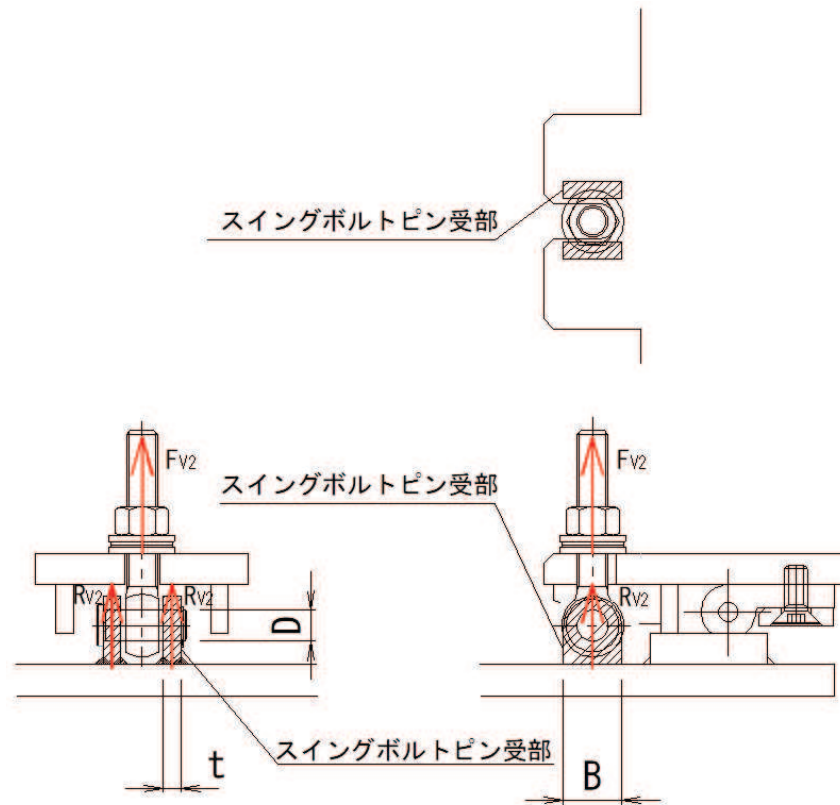
$t$  : ナット受部の板厚 (mm)

図4-15 ナット受部のモデル図及び応力算定式



#### 4.4.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 4-16 に示す



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- $\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $R_{v2}$  : スイングボルトピン受金具が負担する縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{v2}$  : 縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $A$  : スイングボルトピン受部の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $B$  : スイングボルトピン受部の幅 (mm<sup>2</sup>)
- $t$  : スイングボルトピン受部の板厚 (mm<sup>2</sup>)

図 4-16 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

#### 4.5 評価条件

浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値を表4-8に示す。

表4-8 (1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値（主桁，スキンプレート，固定ボルト）

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
主桁	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	25.85
	P <sub>h</sub>	kN	浸水津波荷重	385.19
	h <sub>1</sub>	O.P. m	設計津波水位	18.6
	h <sub>2</sub>	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	2.50
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	8.29
	L <sub>1</sub>	mm	主桁の負担幅	963
	L <sub>2</sub>	mm	主桁全長	2670
	A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	主桁のせん断断面積	1998
	Z	mm <sup>3</sup>	主桁の断面係数	8.46×10 <sup>5</sup>
スキンプレート	G	kN	スキンプレートの固定荷重	12.22
	P <sub>h</sub>	kN	浸水津波荷重	385.19
	h <sub>1</sub>	O.P. m	設計津波水位	18.6
	h <sub>2</sub>	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	2.50
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	8.29
	L <sub>3</sub>	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	1055
	L <sub>4</sub>	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	900
	β <sub>2</sub>	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
t	mm	スキンプレートの厚さ	16	
固定ボルト	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	25.85
	P <sub>h</sub>	kN	浸水津波荷重	385.19
	h <sub>1</sub>	O.P. m	設計津波水位	18.6
	h <sub>2</sub>	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	2.50
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	40

表 4-8 (2) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.587
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.388
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	40833
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	92514
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	101880
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	149160
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	55000
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.587
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	121500
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	36000
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.587
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.388
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283.19
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1256.64
ヒンジ固定ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.587
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.388
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_v$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_h$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_h$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_v$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 4-8 (3) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	7.897
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	1.347
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	11520
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160
スイングボルト	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.388
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	157
スイングボルトピン	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.388
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	402.12
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	201.06
ナット受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.388
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	2986.7
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.388
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	121.50

表 4-8 (4) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.134
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	31.587
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.388
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	40833
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	92514
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	101880
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	149160
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	55000
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.134
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	31.587
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	121500
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	36000
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.134
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.388
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283.19
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1256.64
ヒンジ固定ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.134
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	31.587
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.388
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_v$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_h$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_h$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_v$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 4-8 (5) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	13.784
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	5.641
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	1.347
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	11520
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160
スイングボルト	$F_{v2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.388
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	157
スイングボルトピン	$F_{v2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.388
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	402.12
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	201.06
ナット受部	$F_{v2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.388
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	2986.7
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	$F_{v2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.388
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	121.50

5. 評価結果

浸水防止蓋の強度評価結果を表5-1に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1(1) 浸水防止蓋の強度評価結果 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界 (応力度又は荷重)		検定値
主桁	曲げ	100	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.31 < 1.0
	せん断	64	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.35 < 1.0
	組合せ	150	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.47 < 1.0
スキンプレート	曲げ	121	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.38 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	122	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.38 < 1.0
固定ボルト	引張	10.1	kN	37.7	kN	0.27 < 1.0
	せん断	23.9	kN	32.9	kN	0.73 < 1.0
	組合せ	—		—		0.60 < 1.0

表 5-1 (2) 浸水防止蓋の強度評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	27	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.11 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	27	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	19	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	21	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	14	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
	せん断	6	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	18	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	63	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.24 < 1.0
	せん断	13	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
	組合せ	67	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.24 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	38	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.15 < 1.0
	せん断	33	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.22 < 1.0
	組合せ	68	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.24 < 1.0
エンドプレート	曲げ	37	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	37	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.13 < 1.0
スイングボルト	引張	35	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	73	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.27 < 1.0
	せん断	14	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
	組合せ	76	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.26 < 1.0
ナット受部	曲げ	64	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.24 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	64	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.22 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	23	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0



表 5-1 (3) 浸水防止蓋の強度評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	80	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.31 < 1.0
	せん断	11	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	組合せ	82	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.29 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	35	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
	せん断	91	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.60 < 1.0
	組合せ	161	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.56 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	68	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.26 < 1.0
	せん断	17	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.12 < 1.0
	組合せ	74	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.26 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	109	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.42 < 1.0
	せん断	23	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.16 < 1.0
	組合せ	115	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.40 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	85	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.33 < 1.0
	せん断	65	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.43 < 1.0
	組合せ	141	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.49 < 1.0
エンドプレート	曲げ	82	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.31 < 1.0
	せん断	10	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	組合せ	83	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.29 < 1.0
スイングボルト	引張	35	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	73	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.27 < 1.0
	せん断	14	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
	組合せ	76	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.26 < 1.0
ナット受部	曲げ	64	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.24 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	64	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.22 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	23	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0

- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明
- 6.5.3.5 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋）の耐震性についての計算書に関する補足説明

## 目次

1. 概要 .....	1
2. 一般事項 .....	2
2.1 配置概要 .....	2
2.2 構造計画 .....	4
2.3 評価方針 .....	5
2.4 適用規格・基準等 .....	6
2.5 記号の説明 .....	7
3. 評価対象部位及び評価対象設備 .....	9
4. 固有値解析 .....	11
4.1 固有値解析の計算方法 .....	11
4.2 固有振動数の計算条件 .....	12
4.3 固有振動数の計算結果 .....	13
5. 構造強度評価 .....	14
5.1 構造強度評価方法 .....	14
5.2 荷重及び荷重の組合せ .....	14
5.3 許容限界 .....	16
5.4 設計用地震力 .....	22
5.5 評価方法 .....	24
5.6 評価条件 .....	35
6. 評価結果 .....	37

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）及び浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）（No.1）、（No.2）（以下、「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

浸水防止蓋は、第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリアの床面に設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に、流入対策配置図を図2-2に示す。

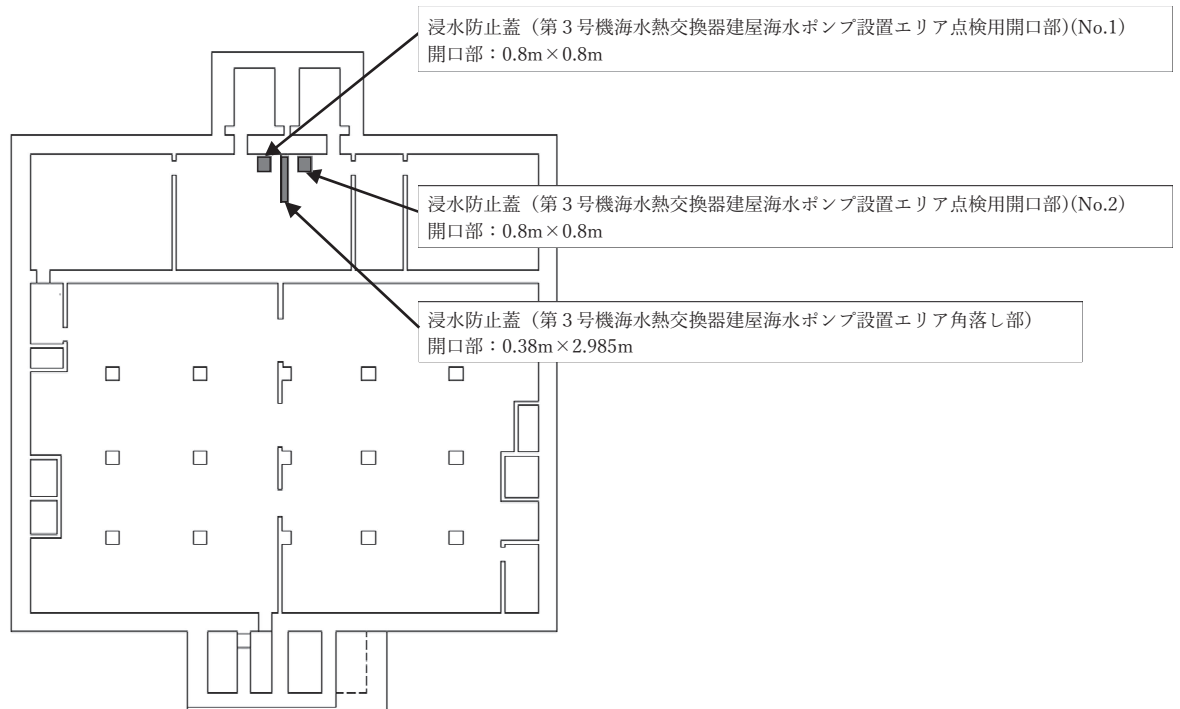
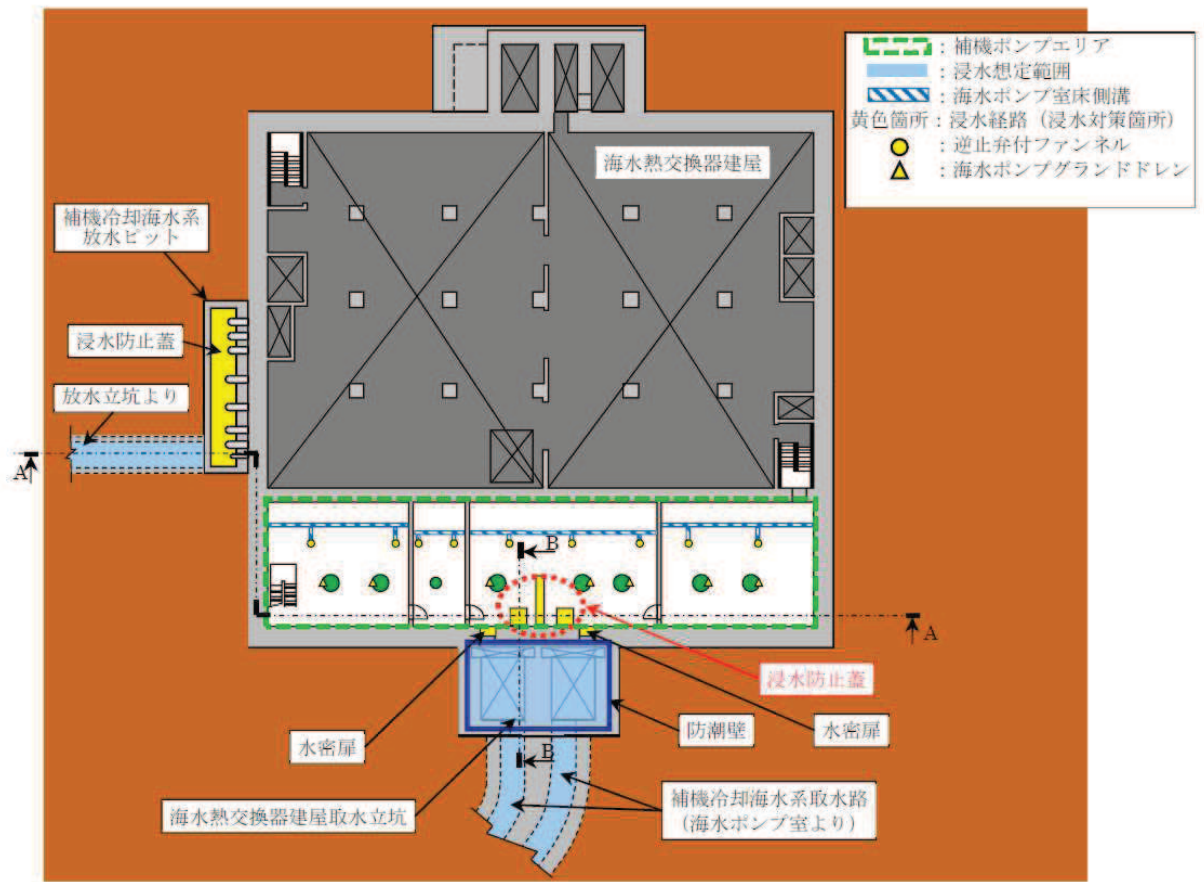
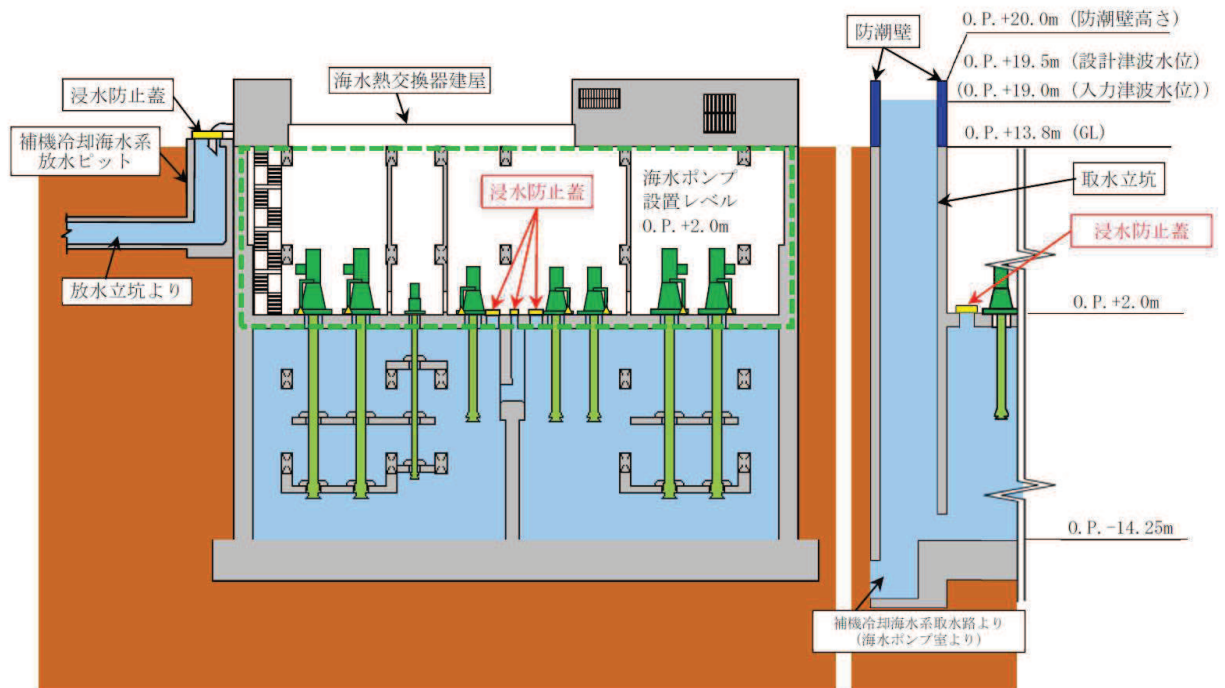


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図  
(第3号機海水熱交換器建屋 地下中2階)



平面図

図 2-2 第 3 号機海水熱交換器建屋 流入対策配置図 (1/2)



A-A 断面図

B-B 断面図

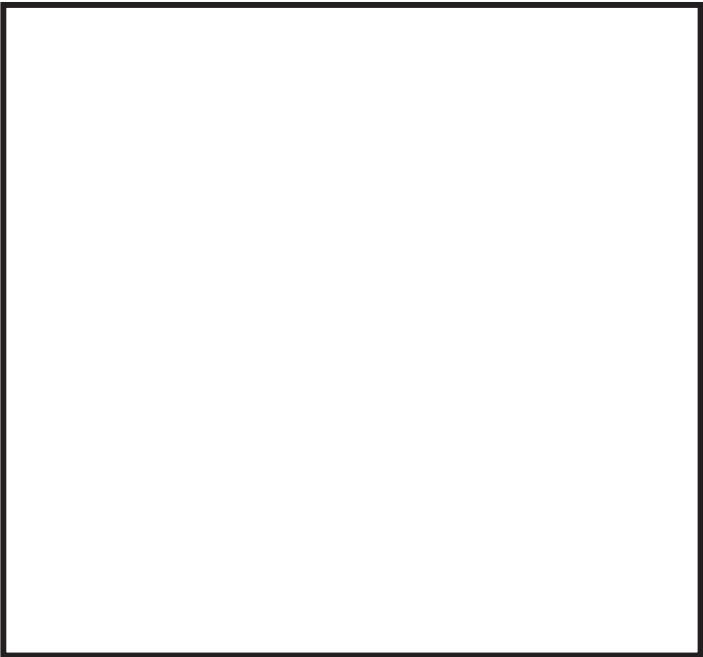

図 2-2 第 3 号機海水熱交換器建屋 流入対策配置図 (2/2)

## 2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形又は正方形のスキンプレートに主桁（溝形鋼又は鋼板）を組合せた構造とする。

浸水防止蓋は、第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア床面に設置する固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア床面に設置する固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋及び固定ボルトにより構成する。	
		<p>浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）</p> 
		<p>浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-3 に示す。

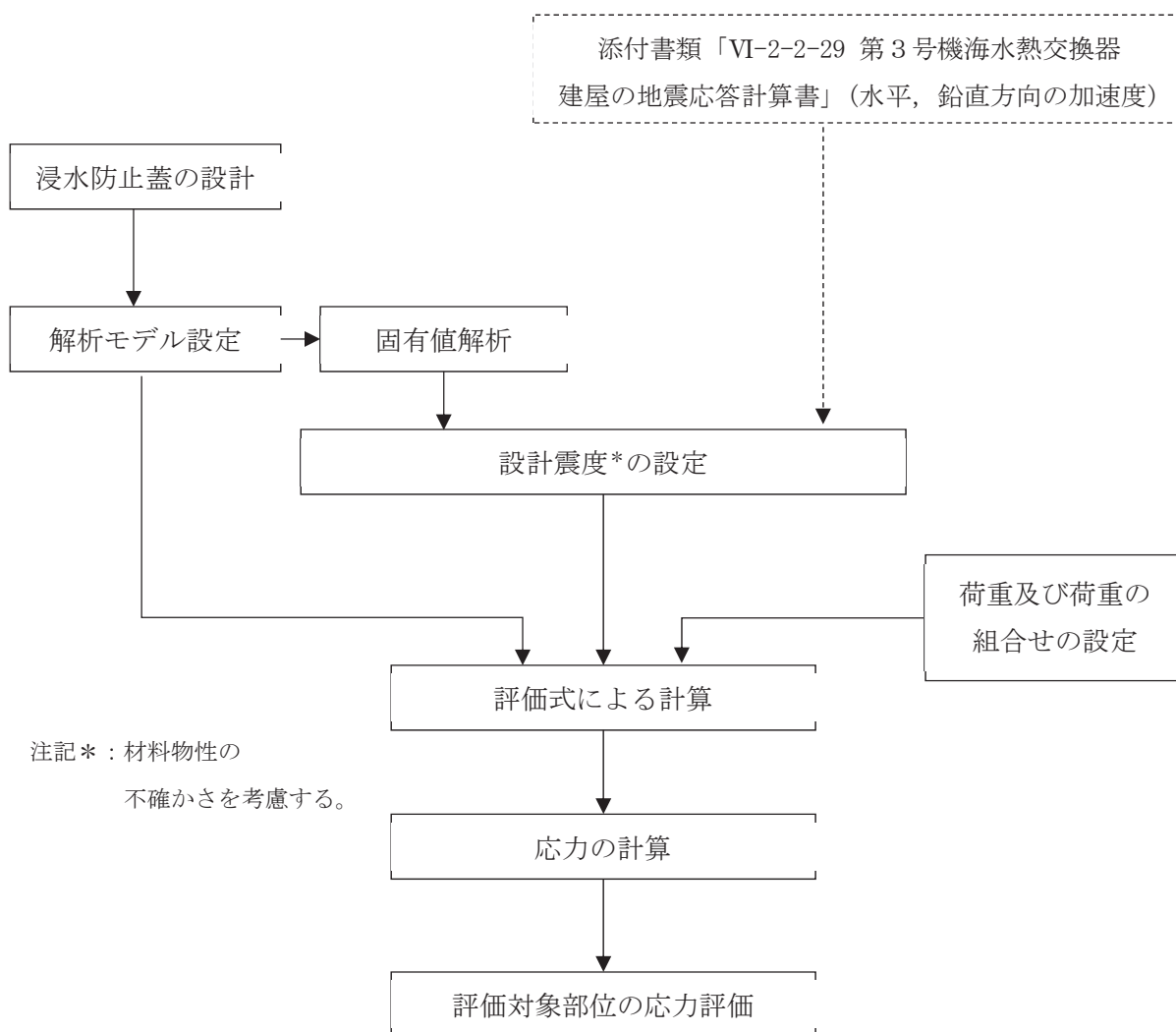


図 2-3 耐震評価フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- 機械工学便覧（日本機械学会）



## 2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$S_s$	kN	基準地震動 $S_s$ による地震荷重
$k_H$	-	基準地震動 $S_s$ に伴う水平方向の設計震度
$k_V$	-	基準地震動 $S_s$ に伴う鉛直方向の設計震度
$G$	kN	固定荷重
$P_s$	kN	積雪荷重
$W_s$	N/m <sup>2</sup>	1 cm 当りの積雪荷重
$d_s$	cm	積雪高さ
$A$	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	kN/m <sup>2</sup>	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	最大せん断応力度
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	最大曲げ応力度
$Q$	kN	最大せん断力
$M$	kN・m	最大曲げモーメント
$x$	N/mm <sup>2</sup>	組合せ応力度
$A_s$	mm <sup>2</sup>	主桁のせん断断面積
$Z$	mm <sup>3</sup>	主桁の断面係数
$L_1$	mm	主桁の負担幅
$L_2$	mm	主桁全長
$L_3$	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
$L_4$	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
$\beta_1$	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数
$t$	mm	スキンプレートの厚さ

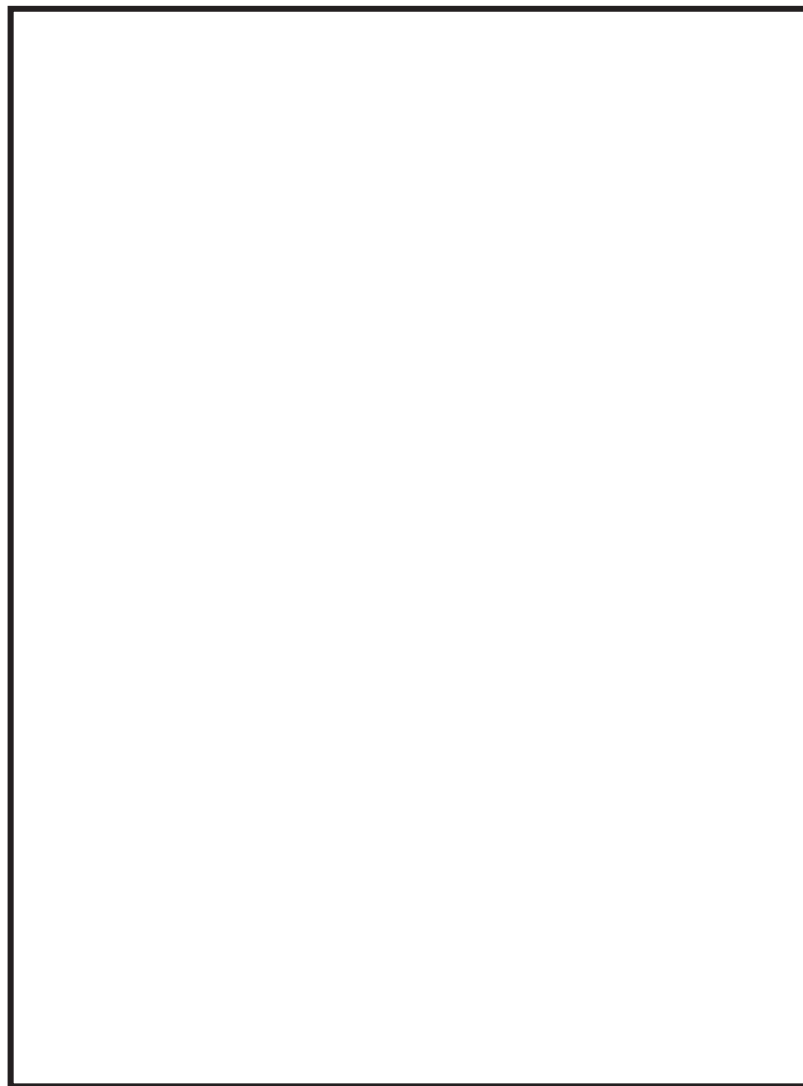
表 2-2 耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
N	本	固定ボルト (2) の本数
$T_d$	kN	固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力
$\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度
$\tau_s$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度
$T_s$	kN	固定ボルト (1) 1 本当りに作用する引張力
$q_s$	kN	固定ボルト (1) 1 本当りに作用するせん断力
$A'$	mm <sup>2</sup>	固定ボルト (1) の有効断面積
$n_s$	本	固定ボルト (1) の本数
$\sigma_f$	N/mm <sup>2</sup>	枠下フランジに生じる最大曲げ応力度
$M_f$	kN・m	枠下フランジに作用する最大曲げモーメント
$Z_f$	mm <sup>3</sup>	枠下フランジの断面係数
$L_7$	mm	枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離
$\tau_f$	N/mm <sup>2</sup>	枠下フランジに生じる最大せん断応力度
$Q_f$	kN	枠下フランジに生じる最大せん断力
$A_f$	mm <sup>2</sup>	枠下フランジのせん断断面積
$Q_w$	kN	枠ウェブに作用する最大せん断力
$\tau_w$	N/mm <sup>2</sup>	枠ウェブに生じる最大せん断応力度
$A_{s_w}$	mm <sup>2</sup>	枠ウェブのせん断断面積
$C_w$	kN	鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに作用する最大圧縮力
$\sigma_{c_w}$	N/mm <sup>2</sup>	鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに生じる最大圧縮応力度
$A_w$	mm <sup>2</sup>	枠ウェブの断面積
$T_a$	kN	固定ボルト (2) の短期許容引張荷重
$q_a$	kN	固定ボルト (2) の短期許容せん断荷重
$\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	ベースプレートに生じる最大曲げ応力度
$M_b$	kN・m	ベースプレートに作用する最大曲げモーメント
$Z_b$	mm <sup>3</sup>	ベースプレートの断面係数
$L_8$	mm	ベースプレートの評価長さ
B	mm	ベースプレートの有効幅
$t_b$	mm	ベースプレートの板厚
$\tau_b$	N/mm <sup>2</sup>	ベースプレートに生じる最大せん断応力度
$Q_b$	kN	ベースプレートに作用する最大せん断力
$A_{s_b}$	mm <sup>2</sup>	ベースプレートのせん断断面積

### 3. 評価対象部位及び評価対象設備

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。また、浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)は構成部材の寸法、規格が等しく、評価結果が変わらないことから、浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）及び浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1)を評価対象設備とする。

浸水防止蓋の評価対象部位は、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋のスキンプレート、主桁、固定ボルト(1)、**枠及びベースプレート**に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルト(2)を介して躯体に伝達されることから、浸水防止蓋の評価対象部位は、スキンプレート、主桁、固定ボルト(1)、固定ボルト(2)、**枠及びベースプレート**とする。評価対象部位を図3-1に示す。



浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）

図3-1 評価対象部位 (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）（No. 1），（No. 2）

図 3-1 評価対象部位（2/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4. 固有値解析

##### 4.1 固有値解析の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

##### 4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止蓋は、スキンプレート及び主桁の組合せにより剛な断面を有しているとともに、固定ボルト (1)、**枠及びベースプレート**を介し、固定ボルト (2) にて浸水防止蓋と躯体を固定する構造であることから、浸水防止蓋の主桁を両端支持はりに単純化したモデルとし、モデル化に用いるはり長さは、主桁の全長とする。図 4-1 に解析モデル図を示す。

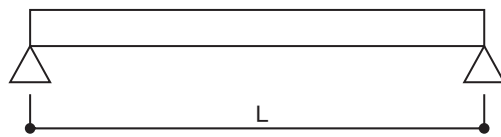


図 4-1 浸水防止蓋の固有値解析モデル

##### 4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	mm	はり長さ
E	N/mm <sup>2</sup>	ヤング率
I	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
m	kg/mm	質量分布

##### 4.1.3 固有振動数の算出方法

一次固有振動数 f を「土木学会構造力学公式集」を参考に以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2 \pi L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

#### 4.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件

設備名称	はり長さ L (mm)	ヤング率 E (N/mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I (mm <sup>4</sup> )	質量分布 m (kg/mm)
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建 屋海水ポンプ設置エリア角落し部）	420	$1.93 \times 10^5$	$7.11 \times 10^5$	0.097
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建 屋海水ポンプ設置エリア点検用開口 部）(No. 1), (No. 2)	1000	$1.93 \times 10^5$	$4.50 \times 10^6$	0.080

#### 4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は、20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の算出結果

設備名称	固有振動数(Hz)
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）	335
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)	163

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位に生じる応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

### 5.2 荷重及び荷重の組合せ

#### 5.2.1 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。

$$G + S_s + P_s$$

ここで、 $G$  : 固定荷重 (kN)

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

#### 5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

##### (1) 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。

##### (2) 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/m<sup>2</sup>)

$d_s$  : 積雪高さ 43 (cm)

$A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)



(3) 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重として、基準地震動  $S_s$  による慣性力を考慮する。ここで、地震荷重は、浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)

$G$  : 固定荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$k$  : 基準地震動  $S_s$  に伴う設計震度

### 5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

#### 5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成するスキンプレート、主桁、固定ボルト（1）、固定ボルト（2）、**枠**及び**ベースプレート**の使用材料を表5-1に示す。

表5-1 使用材料

設備名称	評価対象部位	材質	仕様
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	主桁	SUS304	C-80×40×5×5 (mm)
	固定ボルト（1）	SUS304	M16
	固定ボルト（2）	SUS304	M16
	<b>ベースプレート</b>	<b>SUS304</b>	<b>t = 19 (mm)</b>
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)	スキンプレート	SUS304	t = 12 (mm)
	主桁	SUS304	PL-16×150 (mm)
	固定ボルト（1）	SUS304	M30
	固定ボルト（2）	SUS304	M16
	枠	SUS304	H-150×150×7×10 (mm)
	<b>ベースプレート</b>	<b>SUS304</b>	<b>t = 19 (mm)</b>

#### 5.3.2 許容限界

(1) スキンプレート、主桁、固定ボルト（1）、枠、**ベースプレート**

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」を踏まえて表5-2の値とする。

表5-2 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )			
	曲げ	引張	せん断	圧縮
SUS304	205	205	118	192

注：許容応力度を決定する場合の基準値Fは、日本産業規格（JIS）に基づく。

## (2) 固定ボルト (2)

固定ボルト (2) の許容荷重は、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」に記載した固定ボルト (2) に作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会, 2010 年改定)」に基づき算定する。

固定ボルト (2) は躯体に埋め込まれていることから、固定ボルト (2) が引張力を受ける場合においては、固定ボルト (2) の降伏により決まる許容荷重 ( $P_{a1}$ )、付着力により決まる許容荷重 ( $P_{a3}$ ) 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 (2) がせん断力を受ける場合においては、固定ボルト (2) のせん断強度により決まる許容荷重 ( $q_{a1}$ )、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 ( $q_{a2}$ ) 及びコーン状破壊により決まる許容荷重 ( $q_{a3}$ ) を比較して、いずれか小さい値を採用する。

突き上げ津波荷重を考慮する場合の固定ボルト (2) の許容荷重設定に用いる入力値を表 5-3 及び表 5-4 に、許容荷重を表 5-5 及び表 5-6 に示す。

### 引張力を受ける場合

$$P_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s c a$$

$$P_{a3} = \Phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

ここで、 $P_{a1}$  : 固定ボルトの降伏により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

$P_{a3}$  : 固定ボルトの付着力により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

$\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)

$\Phi_3$  : 低減係数 (短期荷重用)

$s \sigma_{pa}$  : 固定ボルトの引張強度 ( $= s \sigma_y$ ) ( $N/mm^2$ )

$s \sigma_y$  : 固定ボルトの規格降伏点強度 ( $N/mm^2$ )

$s c a$  : 固定ボルトの断面積 ( $mm^2$ )

$d_a$  : 固定ボルトの径 (mm)

$l_{ce}$  : 固定ボルトの強度算定用埋込み長さ ( $= l_e - 2 d_a$ ) (mm)

$l_e$  : 固定ボルトのコンクリート内への有効埋込み長さ (mm)

$\tau_a$  : へりあき及び固定ボルトのピッチによる低減を考慮した付着強度 ( $N/mm^2$ )

### せん断力を受ける場合

$$q_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \Phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a3} = \Phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、 $q_{a1}$  : 固定ボルトのせん断強度により決まる場合の固定ボルト1本当たりの許容せん断力 (N)

$q_{a2}$  : 定着した躯体の支圧強度により決まる場合の固定ボルト1本当たりの許容せん断力 (N)

$q_{a3}$  : 定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の固定ボルト1本当たりの許容せん断力 (N)

$\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)

$\Phi_2$  : 低減係数 (短期荷重用)

$s \sigma_{qa}$  : 固定ボルトのせん断強度 ( $=0.7 \cdot s \sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)

$s \sigma_y$  : 固定ボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s c a$  : 固定ボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$c \sigma_{qa}$  : コンクリートの支圧強度 (N/mm<sup>2</sup>) ( $=0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$ )

$c \sigma_t$  : コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
( $=0.31 \sqrt{F_c}$ )

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_{qc}$  : せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 (mm<sup>2</sup>)

表 5-3 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）の  
固定ボルト（2）の許容荷重の設定に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
$\Phi_1$	—	低減係数（短期荷重用）	1.0
$\Phi_2$	—	低減係数（短期荷重用）	2/3
$\Phi_3$	—	低減係数（短期荷重用）	2/3
$s\sigma_{pa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの引張強度	205
$s\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの規格降伏点強度	205
$sca$	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの断面積	157
$d_a$	mm	固定ボルトの径	16
$l_{ce}$	mm	固定ボルトの強度算定用埋込み長さ	82
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	へりあき及び固定ボルトのピッチによる低減を考慮した付着強度	12.17
$s\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトのせん断強度	143.5
$c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの支圧強度	450
$c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.76
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	32.4
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数	25100
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	19007

表 5-4 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）  
 (No. 1) (No. 2) の固定ボルト (2) の許容荷重の設定に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
$\Phi_1$	—	低減係数（短期荷重用）	1.0
$\Phi_2$	—	低減係数（短期荷重用）	2/3
$\Phi_3$	—	低減係数（短期荷重用）	2/3
${}_s\sigma_{pa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの引張強度	205
${}_s\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの規格降伏点強度	205
${}_s\sigma_a$	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの断面積	157
$d_a$	mm	固定ボルトの径	16
$l_{ce}$	mm	固定ボルトの強度算定用埋込み長さ	82
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	へりあき及び固定ボルトのピッチによる低減を考慮した付着強度	12.42
${}_s\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトのせん断強度	143.5
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの支圧強度	450
${}_c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.76
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	32.4
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数	25100
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	37738

表 5-5 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）の  
固定ボルト（2）の短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)						
	引張			せん断			
	$P_{a1}$	$P_{a3}$	設定値	$q_{a1}$	$q_{a2}$	$q_{a3}$	設定値
SUS304	32.1	33.4	32.1	22.5	47.1	22.3	22.3

表 5-6 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）  
(No. 1), (No. 2)の固定ボルト（2）の短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)						
	引張			せん断			
	$P_{a1}$	$P_{a3}$	設定値	$q_{a1}$	$q_{a2}$	$q_{a3}$	設定値
SUS304	32.1	34.1	32.1	22.5	47.1	44.2	22.5

#### 5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり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、浸水防止蓋の耐震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地応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。地震応答解析ケースを表 5-7 に、設計震度を表 5-8 に示す。



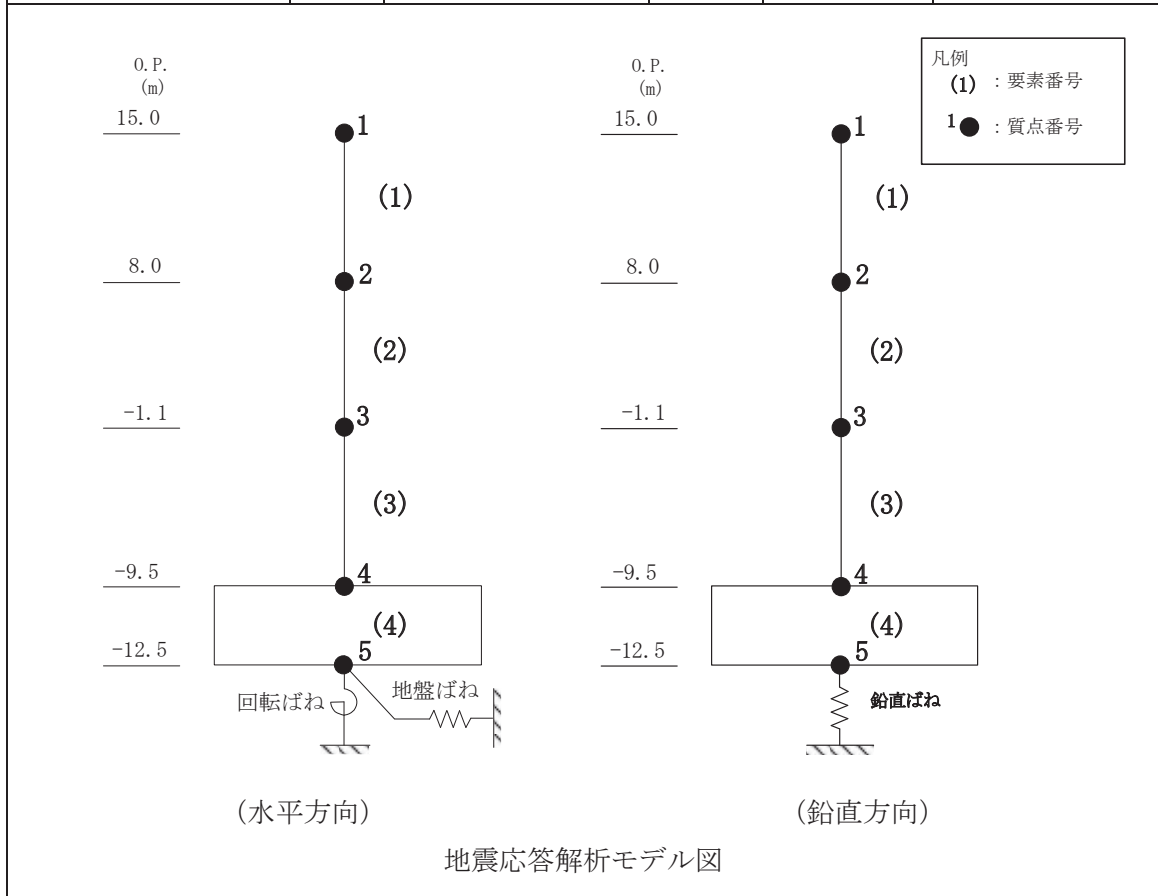
表 5-7 地震応答解析ケース

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋材料減衰	地盤物性	
		初期剛性	終局耐力		入力地震動	底面地盤ばね
基準地震動 S <sub>s</sub> (水平)	ケース 1 (基本ケース)	2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いたシミュレーション解析により補正	設計基準強度を用い JEAG 式で評価	5%	表層地盤の非線形性を考慮	標準地盤
	ケース 2	同上	同上	同上	同上	標準地盤 + $\sigma$
	ケース 3	同上	同上	同上	同上	標準地盤 - $\sigma$
	ケース 4	基本ケースの 0.53 倍*	同上	同上	同上	標準地盤
	ケース 5					標準地盤 + $\sigma$
	ケース 6					標準地盤 - $\sigma$
基準地震動 S <sub>s</sub> (鉛直)	ケース 1 (基本ケース)	設計剛性	-	5%	直接入力	標準地盤
	ケース 2	同上	-	同上	同上	標準地盤 + $\sigma$
	ケース 3					標準地盤 - $\sigma$

注記\*：建屋剛性（初期剛性）の不確かさについて、基準地震動 S<sub>s</sub> 入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動 S<sub>s</sub> について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮する。具体的には、基準地震動 S<sub>s</sub> 入力前後の 1 次固有振動数の比 ( $f_{Ss}$  入力後 /  $f_{Ss}$  入力前) を基本ケースの初期剛性に掛けることによって算定する。

表 5-8 設計震度

地震時荷重算出位置 (m)	地震応答解析結果				設計震度
	方向	基準地震動 S <sub>s</sub>	ケース	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	
O. P. 8.00	NS	S <sub>s</sub> - D 2	5	1827	k <sub>H</sub> = 1.87
	EW	S <sub>s</sub> - D 2	5	1531	
	UD	S <sub>s</sub> - D 3	2	1082	k <sub>V</sub> = 1.11



注：表中の O. P. は第三号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書での値を示す。

## 5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する主桁、スキンプレート、固定ボルト (1)、**枠及びベースプレート**に発生する応力度並びに固定ボルト (2) に発生する応力が、許容限界以下であることを確認する。

主桁とスキンプレートについては、箇所によって評価結果に差異が生じることから、図 5-1 及び図 5-2 にそれぞれ評価の対象とする主桁、スキンプレートを示す。

また、図 5-3 に、固定ボルト (1)、固定ボルト (2)、**枠及びベースプレート**の納まりを示す。

### 5.5.1 主桁

主桁の支持条件は両端をピン支持とし、図 5-1 に示すとおり、主桁が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

#### (1) 基準地震動 $S_s$ による地震荷重 $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)

$G$  : 固定荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$k_v$  : 基準地震動  $S_s$  に伴う鉛直方向の設計震度

#### (2) 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s_s}'$

$$W_{s_s}' = (G + S_s + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 $W_{s_s}'$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$G$  : 固定荷重 (kN)

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$L_1$  : 主桁の負担幅 (mm)

$A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

#### (3) 主桁に生じる最大せん断応力度 $\tau$

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

$\tau$  : 主桁に生じる最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q$  : 主桁に生じる最大せん断力 (kN)

$A_s$  : 主桁のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

ここで、 $Q = 1/2 \cdot W_{s_s}' \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

$W_{s_s}'$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_2$  : 主桁全長 (mm)

(4) 主桁に生じる最大曲げ応力度  $\sigma$

$$\sigma = M \cdot 10^6 / Z$$

$\sigma$  : 主桁に生じる最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 主桁に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 主桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

ここで,  $M = 1/8 \cdot W_{ss}' \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$

$W_{ss}'$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_2$  : 主桁全長 (mm)

(5) 主桁に生じる組合せ応力度  $x$

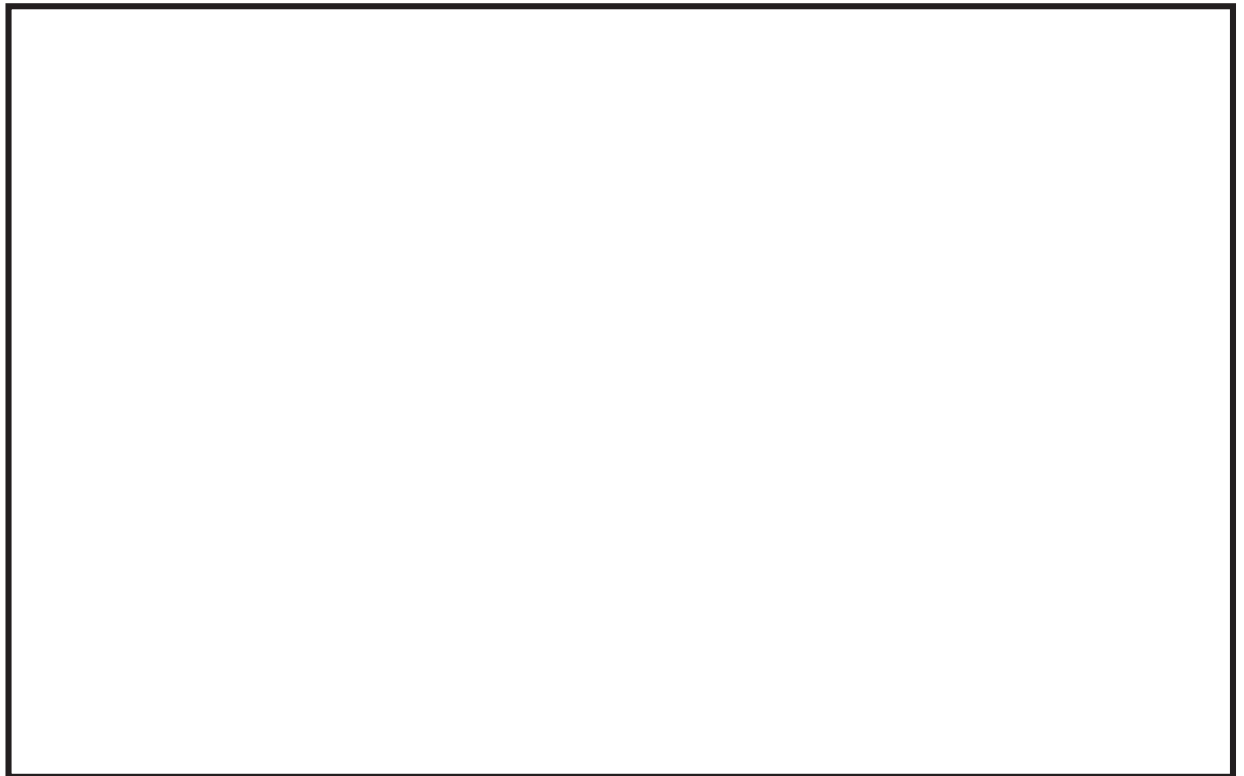
主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から, 組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」に基づく次式により算定し, 短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : 最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)



(a) 角落し部 (平面図)

(b) 点検用開口部 (平面図)

図 5-1 評価の対象とする主桁

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 5.5.2 スキンプレート

図5-2に示すとおり、スキンプレートが荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

#### (1) 基準地震動 $S_s$ による地震荷重 $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動 $S_s$ による地震荷重(kN)

$G$  : 固定荷重(kN)

$P_s$  : 積雪荷重(kN)

$k_v$  : 基準地震動 $S_s$ に伴う鉛直方向の設計震度

#### (2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s_s}$

$$W_{s_s} = (G + S_s + P_s) / A$$

ここで、 $W_{s_s}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m<sup>2</sup>)

$G$  : 固定荷重(kN)

$S_s$  : 基準地震動 $S_s$ による地震荷重(kN)

$P_s$  : 積雪荷重(kN)

$A$  : 浸水防止蓋の面積(m<sup>2</sup>)

#### (3) スキンプレートに生じる最大曲げ応力度 $\sigma$

スキンプレートに生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出する。

$$\sigma = \beta_1 \cdot W_{s_s} \cdot L_4^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 $\sigma$  : スキンプレートに生じる最大曲げ応力度(N/mm<sup>2</sup>)

ここで、 $W_{s_s}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m<sup>2</sup>)

$L_4$  : スキンプレートの支持短辺長さ(mm)

$\beta_1$  : スキンプレートの辺長比に応じた係数

$t$  : スキンプレートの厚さ(mm)

#### (4) スキンプレートに生じる最大せん断応力度 $\tau$

$$\tau = W_{s_s} \cdot L_3 \cdot L_4 \cdot 10^{-3} / \{2 \cdot (L_3 + L_4) \cdot t\}$$

ここで、 $\tau$  : スキンプレートに生じる最大せん断応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$W_{s_s}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m<sup>2</sup>)

$L_3$  : スキンプレートの支持長辺長さ(mm)

$L_4$  : スキンプレートの支持短辺長さ(mm)

$t$  : スキンプレートの厚さ(mm)

(5) スキンプレートに生じる組合せ応力度  $x$

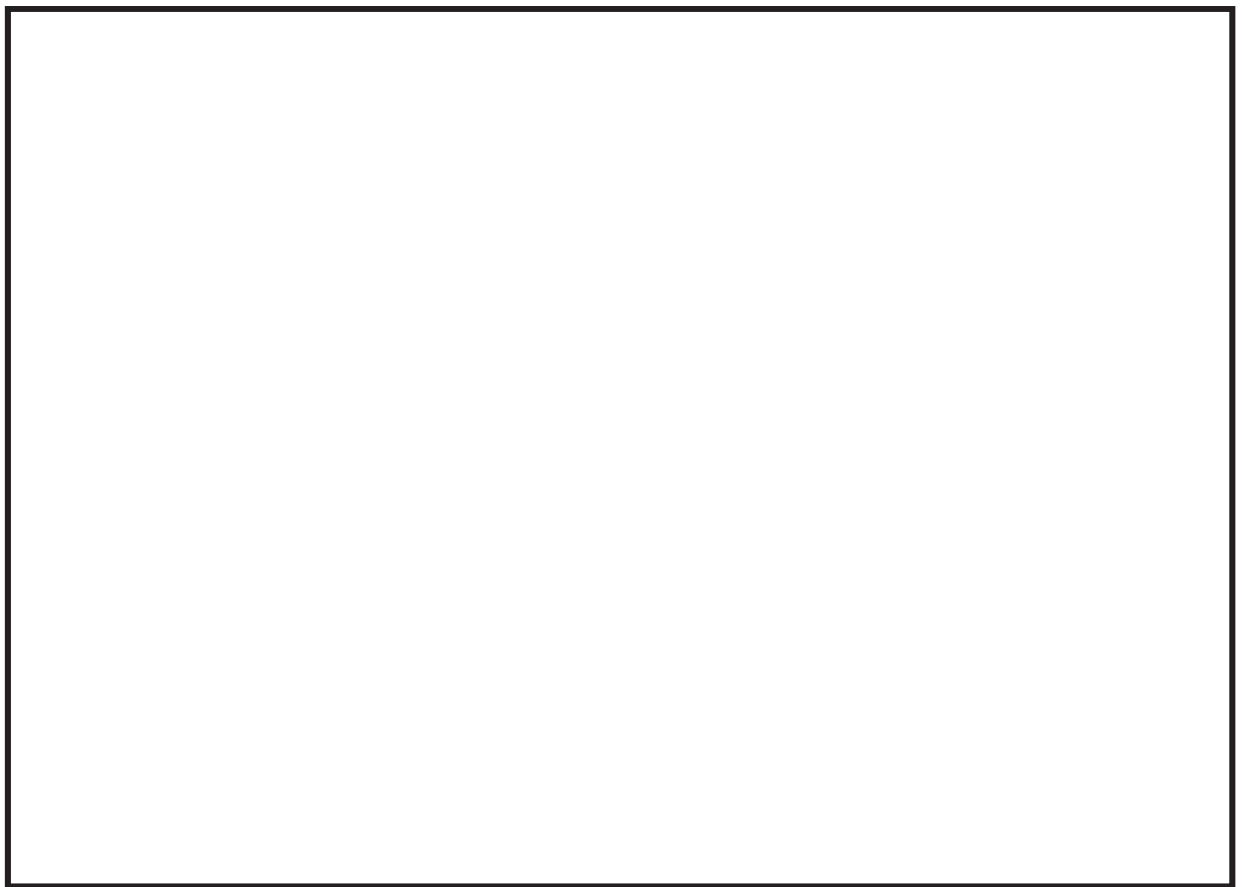
スキンプレートに生じる曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。またスキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 [許容応力度設計法]」に基づく次式により算定し，短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : 最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)



(a) 角落し部 (平面図)

(b) 点検用開口部 (平面図)

図 5-2 評価の対象とするスキンプレート

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 5.5.3 固定ボルト (1)

- (1) 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

- ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)  
 $G$  : 固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_H$  : 基準地震動  $S_s$  に伴う水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

- ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)  
 $G$  : 固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_V$  : 基準地震動  $S_s$  に伴う鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度  $\sigma_t$

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

ここで、 $T_s = S_s / n_s$

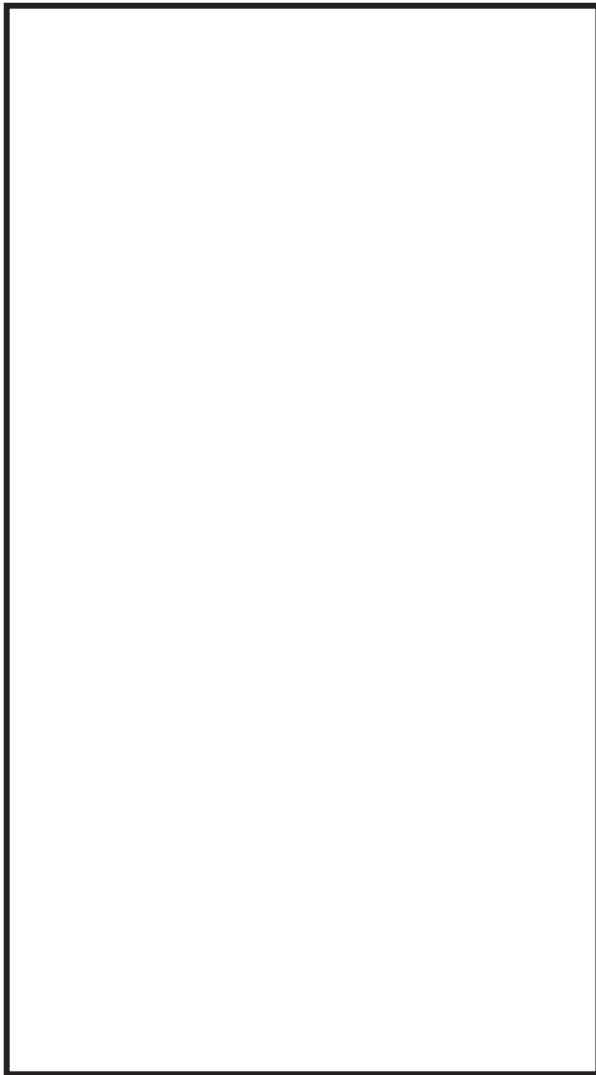
- $\sigma_t$  : 固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $T_s$  : 固定ボルト (1) 1 本当りに作用する引張力 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)  
 $n_s$  : 固定ボルト (1) の本数 (本)  
 $A'$  : 固定ボルト (1) の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

- (4) 固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度  $\tau_s$

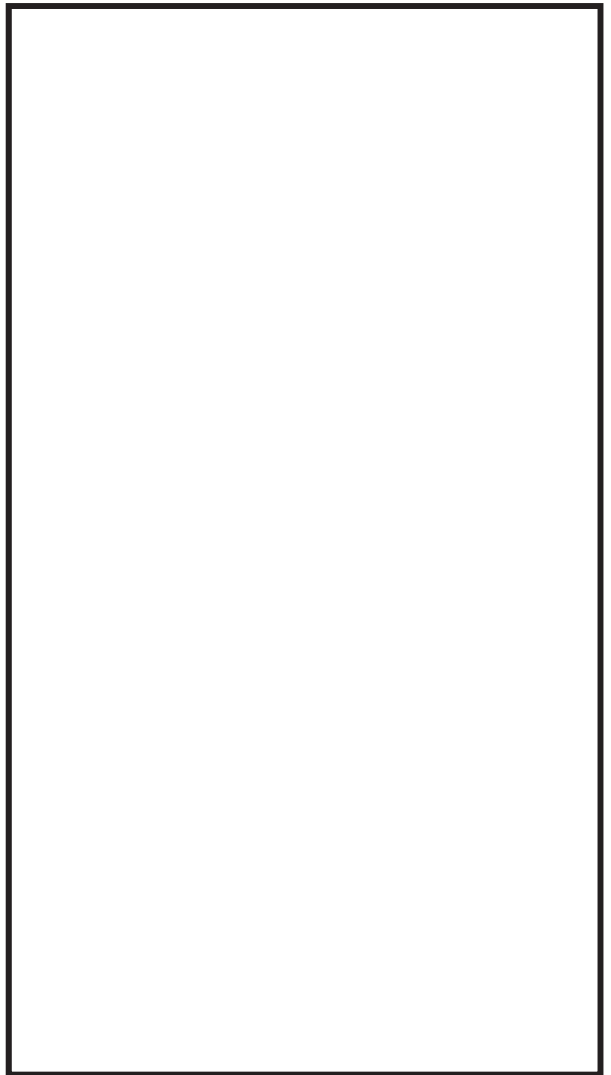
$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで、 $q_s = S_s / n_s$

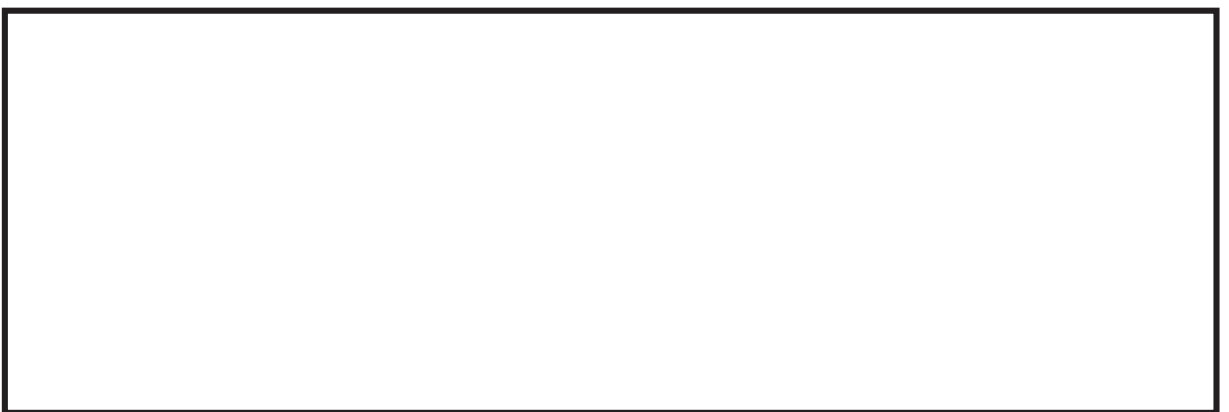
- $\tau_s$  : 固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $q_s$  : 固定ボルト (1) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)  
 $n_s$  : 固定ボルト (1) の本数 (本)  
 $A'$  : 固定ボルト (1) の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)



平面図



A-A 断面図



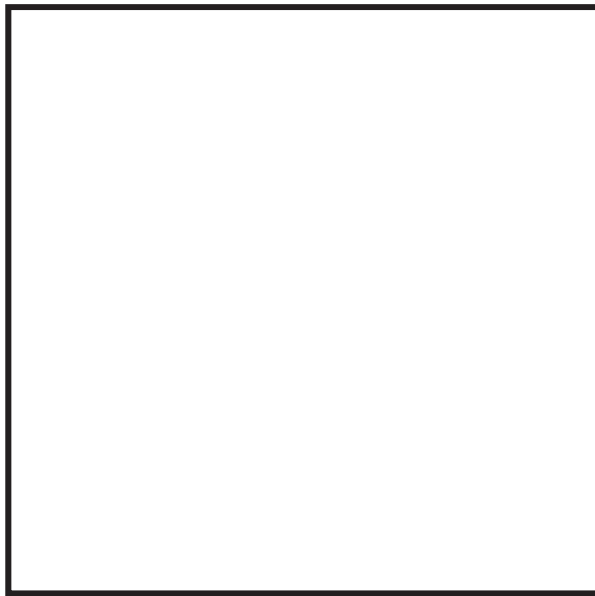
B-B 断面図

a 部詳細図

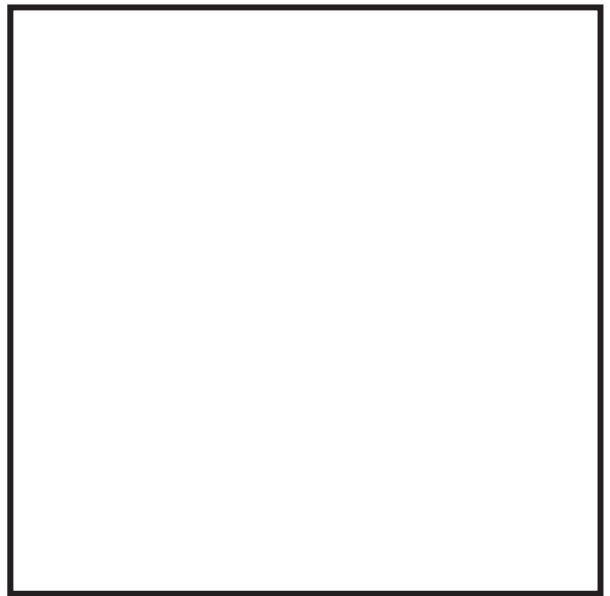
a-a 断面図

図 5-3 固定ボルト (1), 固定ボルト (2), 枠及びベースプレートの納まり (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



平面図



A-A 断面図



B-B 断面図



a 部詳細図

a-a 見下げ図

図 5-3 固定ボルト (1), 固定ボルト (2), 枠及びベースプレートの納まり (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



#### 5.5.4 固定ボルト (2)

- (1) 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

- ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)  
 $G$  : 固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_H$  : 基準地震動  $S_s$  に伴う水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

- ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)  
 $G$  : 固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_V$  : 基準地震動  $S_s$  に伴う鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力  $T_d$

$$T_d = S_s / N$$

- ここで、 $T_d$  : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)  
 $N$  : 固定ボルト (2) の本数 (本)

- (4) 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力  $q$

$$q = S_s / N$$

- ここで、 $q$  : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)  
 $N$  : 固定ボルト (2) の本数 (本)

- (5) 組合せ評価方法

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会, 2010 年改定)」に基づく次式により算出し、1 以下であることを確認する。

$$(T_d / T_a)^2 + (q / q_a)^2 \leq 1$$

- ここで、 $T_d$  : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力 (kN)  
 $T_a$  : 固定ボルト (2) の短期許容引張荷重 (kN)  
 $q$  : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)  
 $q_a$  : 固定ボルト (2) の短期許容せん断荷重 (kN)

### 5.5.5 枠

枠上フランジについては、直接荷重を負担しない構造となっていることから、下フランジ及びウェブについて評価を実施する。

#### (1) 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 $\sigma_f$

$$\sigma_f = (M_f \cdot 10^6) / Z_f$$

$\sigma_f$  : 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_f$  : 枠下フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$Z_f$  : 枠下フランジの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

ここで、 $M_f = S_s / 8 \cdot L_7 \cdot 10^{-3}$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)

$L_7$  : 枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離 (mm)

$G$  : 固定荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$k_v$  : 基準地震動  $S_s$  に伴う鉛直方向の設計震度

#### (2) 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 $\tau_f$

$$\tau_f = Q_f \cdot 10^3 / A_f$$

$$Q_f = S_s / 8$$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

$\tau_f$  : 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_f$  : 枠下フランジに生じる最大せん断力 (kN)

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)

$A_f$  : 枠下フランジのせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

$G$  : 固定荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$k_v$  : 基準地震動  $S_s$  に伴う鉛直方向の設計震度

#### (3) 枠下フランジに生じる組合せ応力度 $x$

$$x = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

$x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_f$  : 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_f$  : 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

- (4) 水平方向の地震荷重により枠ウェブに作用する最大せん断力  $Q_w$

$$Q_w = S_s / 2$$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

$Q_w$  : 枠ウェブに作用する最大せん断力 (kN)

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)

$G$  : 固定荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$k_H$  : 基準地震動  $S_s$  に伴う水平方向の設計震度

- (5) 水平方向の地震荷重により枠ウェブに生じる最大せん断応力度  $\tau_w$

$$\tau_w = (Q_w \cdot 10^3) / A_{s_w}$$

$\tau_w$  : 水平方向の地震荷重により枠ウェブに生じる  
最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_w$  : 枠ウェブに作用する最大せん断力 (kN)

$A_{s_w}$  : 枠ウェブのせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

- (6) 鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに作用する最大圧縮力  $C_w$

$$C_w = S_s / 4$$

$C_w$  : 鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに作用する最大圧縮力 (kN)

$S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)

- (7) 鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに生じる最大圧縮応力度  $\sigma_{c_w}$

$$\sigma_{c_w} = (C_w \cdot 10^3) / A_w$$

$\sigma_{c_w}$  : 鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに生じる最大圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_w$  : 枠ウェブの断面積 (mm<sup>2</sup>)

### 5.5.6 ベースプレート

ベースプレートは片持ち梁として評価を実施する。

- (1) ベースプレートに生じる最大曲げ応力度  $\sigma_b$

$$\sigma_b = (M_b \cdot 10^6) / Z_b$$

$\sigma_b$  : ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_b$  : ベースプレートに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$Z_b$  : ベースプレートの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

ここで,  $M_b = T_d \cdot L_s \cdot 10^{-3}$

$T_d$  : 固定ボルト (2) 1本当りに作用する引張力 (kN)

$L_s$  : ベースプレートの評価長さ (mm)

$$Z_b = (B \cdot t_b^2) / 6$$

$B$  : ベースプレートの有効幅 (mm)

$t_b$  : ベースプレートの板厚 (mm)

- (2) ベースプレートに生じる最大せん断応力度  $\tau_b$

$$\tau_b = (Q_b \cdot 10^3) / A_{sb}$$

$$Q_b = T_d$$

$\tau_b$  : ベースプレートに生じる最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_b$  : ベースプレートに作用する最大せん断力 (kN)

$A_{sb}$  : ベースプレートのせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

- (3) ベースプレートに生じる組合せ応力度  $x$

$$x = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_b^2}$$

$x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_b$  : ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_b$  : ベースプレートに生じる最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

## 5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-9 及び表 5-10 に示す。

表 5-9 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）  
の耐震評価に用いる入力値

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
共通	G	kN	固定荷重	3.040
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	0.481
主桁	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	1.6
	L <sub>1</sub>	mm	主桁の負担幅	430
	L <sub>2</sub>	mm	主桁全長	420
	A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	主桁のせん断断面積	400
	Z	mm <sup>3</sup>	主桁の断面係数	1.78×10 <sup>4</sup>
スキン プレート	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	1.6
	L <sub>3</sub>	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	430
	L <sub>4</sub>	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	420
	β <sub>1</sub>	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレートの厚さ	16
固定 ボルト(1)	n <sub>s</sub>	本	固定ボルト(1)の本数	36
	A'	mm <sup>2</sup>	固定ボルト(1)の有効断面積	157
固定 ボルト(2)	N	本	固定ボルト(2)の本数	27
ベース プレート	L <sub>8</sub>	mm	ベースプレートの評価長さ	36
	Z <sub>b</sub>	mm <sup>3</sup>	ベースプレートの断面係数	4332
	B	mm	ベースプレートの有効幅	72
	t <sub>b</sub>	mm	ベースプレートの板厚	19
	A <sub>s<sub>b</sub></sub>	mm <sup>2</sup>	ベースプレートのせん断断面積	1368

表 5-10 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1) の

耐震評価に用いる入力値

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
共通	G	kN	固定荷重	3.138
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	0.301
主桁	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	1.0
	L <sub>1</sub>	mm	主桁の負担幅	250
	L <sub>2</sub>	mm	主桁全長	1000
	A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	主桁のせん断断面積	2400
	Z	mm <sup>3</sup>	主桁の断面係数	6.00×10 <sup>4</sup>
スキン プレート	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	1.0
	L <sub>3</sub>	mm	スキンプレーートの支持長辺長さ	250
	L <sub>4</sub>	mm	スキンプレーートの支持短辺長さ	200
	β <sub>1</sub>	-	スキンプレーートの辺長比に応じた係数	0.5
	t	mm	スキンプレーートの厚さ	12
固定 ボルト(1)	n <sub>s</sub>	本	固定ボルト(1)の本数	8
	A'	mm <sup>2</sup>	固定ボルト(1)の有効断面積	561
固定 ボルト(2)	N	本	固定ボルト(2)の本数	15
枠	L <sub>7</sub>	mm	枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離	75
	A <sub>w</sub>	mm <sup>2</sup>	枠ウェブの断面積	7000
	A <sub>s<sub>w</sub></sub>	mm <sup>2</sup>	枠ウェブのせん断断面積	7000
	Z <sub>f</sub>	mm <sup>3</sup>	枠下フランジの断面係数	14170
	A <sub>f</sub>	mm <sup>2</sup>	枠下フランジのせん断断面積	10000
ベース プレート	L <sub>8</sub>	mm	ベースプレートの評価長さ	80
	Z <sub>b</sub>	mm <sup>3</sup>	ベースプレートの断面係数	9627
	B	mm	ベースプレートの有効幅	160
	t <sub>b</sub>	mm	ベースプレートの板厚	19
	A <sub>s<sub>b</sub></sub>	mm <sup>2</sup>	ベースプレートのせん断断面積	3040

## 6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 浸水防止蓋(第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)  
の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁	曲げ	3	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	5	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
スキンプレート	曲げ	2	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
固定ボルト (1)	引張	1	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
固定ボルト (2)	引張	0.2	kN	32.1	kN	0.01 < 1.0
	せん断	0.3	kN	22.3	kN	0.02 < 1.0
	組合せ	-		-		0.01 < 1.0
ベースプレート	曲げ	2	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0

表 6-2 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1) の

耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値	
主桁	曲げ	4	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0	
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0	
	組合せ	5	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0	
スキンプレート	曲げ	2	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0	
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0	
	組合せ	3	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0	
固定ボルト (1)	引張	1	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0	
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0	
固定ボルト (2)	引張	0.3	kN	32.1	kN	0.01 < 1.0	
	せん断	0.5	kN	22.5	kN	0.03 < 1.0	
	組合せ	-		-		0.01 < 1.0	
枠	下フランジ	曲げ	3	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
		せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
		組合せ	4	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	ウェブ	圧縮	1	N/mm <sup>2</sup>	192	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
		せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
ベースプレート	曲げ	3	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0	
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0	
	組合せ	4	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0	



- 6. 浸水防護施設に関する補足資料
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明
- 6.5.3.6 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋）の強度計算書に関する補足説明

## 目 次

1.	概要 .....	1
2.	一般事項 .....	2
2.1	配置概要 .....	2
2.2	構造計画 .....	4
2.3	評価方針 .....	5
2.4	適用規格・基準等 .....	6
2.5	記号の説明 .....	7
3.	評価対象部位及び評価対象設備.....	9
4.	構造強度評価 .....	11
4.1	構造強度評価方法 .....	11
4.2	荷重及び荷重の組合せ .....	11
4.3	許容限界 .....	15
4.4	評価方法 .....	21
4.5	評価条件 .....	32
5.	評価結果 .....	36

## 1. 概要

本資料は、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」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）及び浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No.1)，(No.2)（以下、「浸水防止蓋」という。）が津波の冠水に伴う突き上げ荷重及び余震を考慮した荷重に対して津波防護対象設備を内包する建屋及び区画の設置された敷地に浸水することを防止するために、十分な構造健全性を有していることを説明するものである。

なお、浸水防止蓋の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

浸水防止蓋は、第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリアの床面に設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に、流入対策図を図2-2に示す。

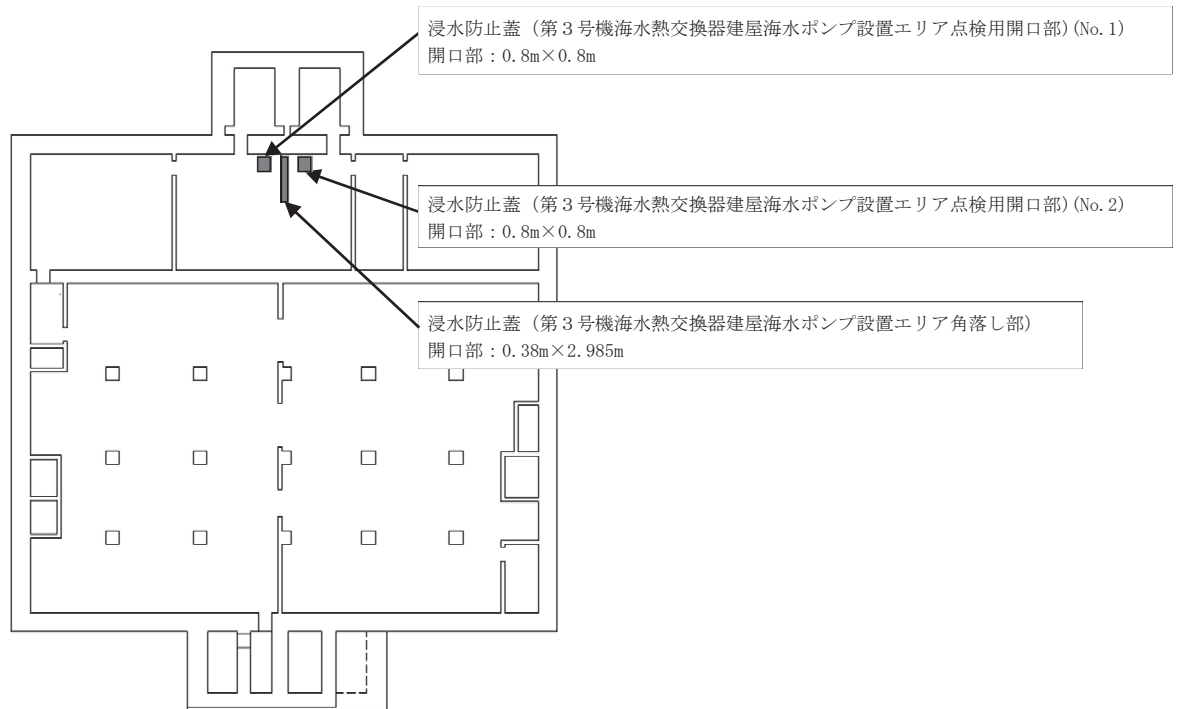


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図  
(第3号機海水熱交換器建屋 地下中2階)

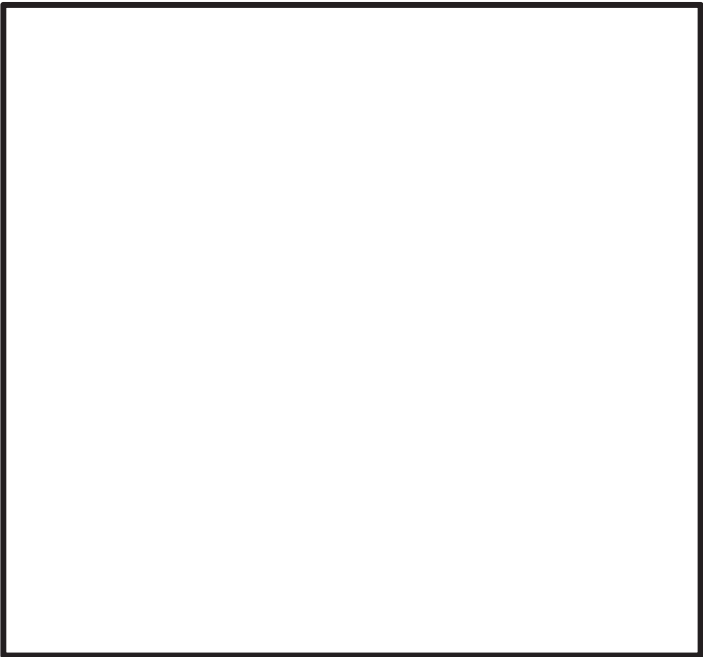



## 2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形又は正方形のスキンプレートに主桁（溝形鋼又は鋼板）を組合せた構造とする。

浸水防止蓋は、第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア床面に設置する固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア床面に設置する固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋及び固定ボルトにより構成する。	
		<p>浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）</p> 

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.3 評価方針

浸水防止蓋の強度評価は、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」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位において、「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。強度評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-3 に記す。

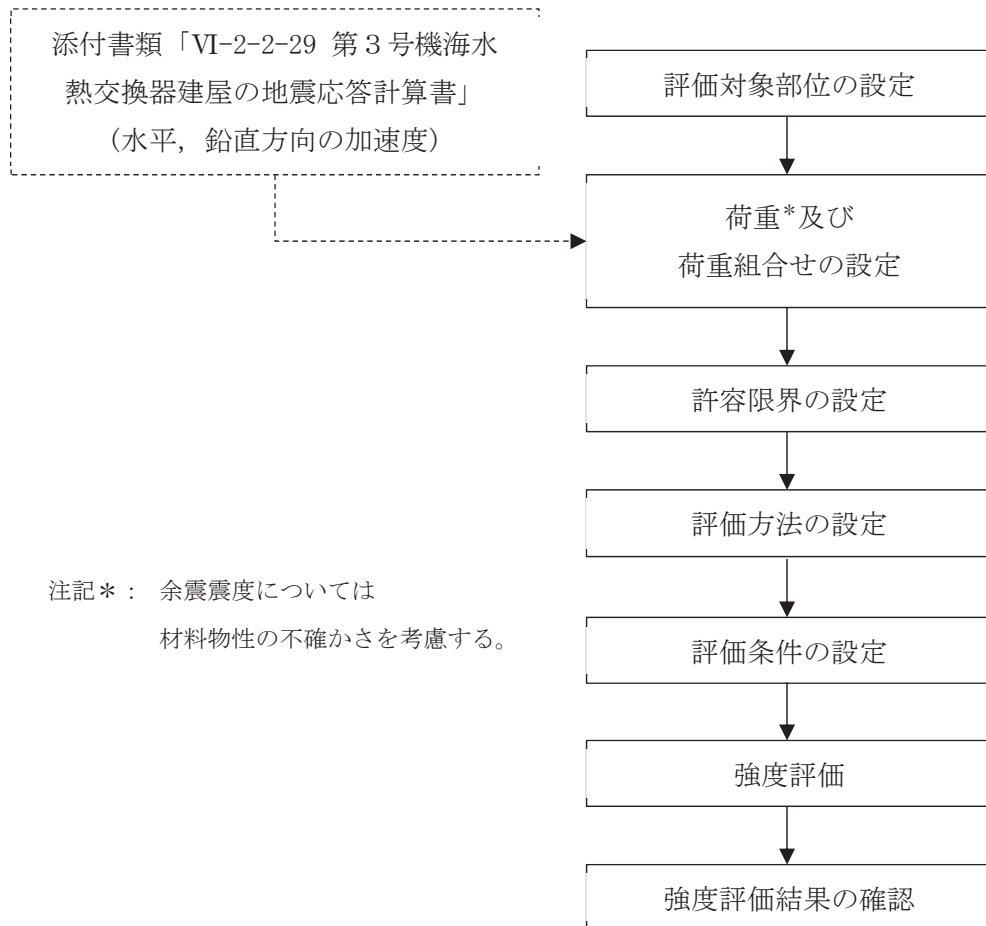


図 2-3 強度評価フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ 機械工学便覧（日本機械学会）

## 2.5 記号の説明

浸水防止蓋の強度評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$S_d$	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D2$ に伴う余震荷重
$\alpha_H$	-	弾性設計用地震動 $S_d - D2$ に伴う水平方向の余震荷重
$\alpha_V$	-	弾性設計用地震動 $S_d - D2$ に伴う鉛直方向の余震震度
$P_t$	kN/m <sup>2</sup>	突き上げ津波荷重
$C_D$	-	抗力係数
$U$	m/s	流速
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
$H$	mm	評価高さ
$P_s$	kN	積雪荷重
$W_s$	N/m <sup>2</sup>	1 cm 当りの積雪荷重
$d_s$	cm	積雪高さ
$A$	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積
$W_{s_s}$	kN/m <sup>2</sup>	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s_s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	最大せん断応力度
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	最大曲げ応力度
$Q$	kN	最大せん断力
$M$	kN・m	最大曲げモーメント
$x$	N/mm <sup>2</sup>	組合せ応力度
$A_s$	mm <sup>2</sup>	主桁のせん断断面積
$Z$	mm <sup>3</sup>	主桁の断面係数
$L_1$	mm	主桁の負担幅
$L_2$	mm	主桁全長
$L_3$	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
$L_4$	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
$L_5$	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ
$L_6$	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ
$\beta_1$	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数
$t$	mm	スキンプレートの厚さ
$G$	kN	固定荷重
$\rho_0$	t/m <sup>3</sup>	水の密度



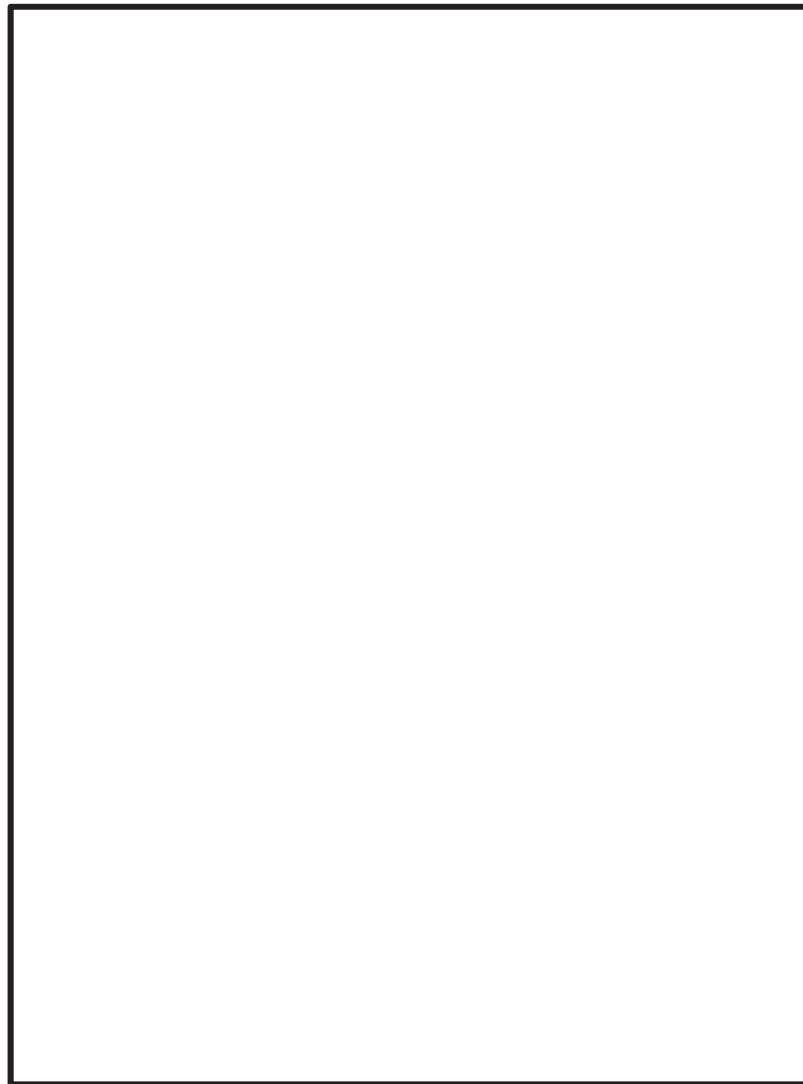
表 2-2 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	記号の説明
N	本	固定ボルト (2) の本数
$T_d$	kN	固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力
$T_s$	kN	固定ボルト (1) 1 本当りに作用する引張力
$q_s$	kN	固定ボルト (1) 1 本当りに作用するせん断力
$\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度
$\tau_s$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度
$A'$	mm <sup>2</sup>	固定ボルト (1) の有効断面積
$n_s$	本	固定ボルト (1) の本数
$\sigma_f$	N/mm <sup>2</sup>	枠下フランジに生じる最大曲げ応力度
$M_f$	kN・m	枠下フランジに作用する最大曲げモーメント
$Z_f$	mm <sup>3</sup>	枠下フランジの断面係数
$L_7$	mm	枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離
$Q_w$	kN	枠ウェブに作用する最大せん断力
$\tau_w$	N/mm <sup>2</sup>	枠ウェブに生じる最大せん断応力度
$T_w$	kN	鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに作用する引張力
$\sigma_{tw}$	N/mm <sup>2</sup>	鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに生じる引張応力度
$A_w$	mm <sup>2</sup>	枠ウェブの断面積
$A_{sw}$	mm <sup>2</sup>	枠ウェブのせん断断面積
$P_v$	kN/m <sup>2</sup>	弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う鉛直方向の動水圧荷重
$\tau_f$	N/mm <sup>2</sup>	枠下フランジに生じる最大せん断応力度
$A_f$	mm <sup>2</sup>	枠下フランジのせん断断面積
$T_a$	kN	固定ボルト (2) の短期許容引張荷重
$q_a$	kN	固定ボルト (2) の短期許容せん断荷重
$\sigma_b$	N/mm <sup>2</sup>	ベースプレートに生じる最大曲げ応力度
$M_b$	kN・m	ベースプレートに作用する最大曲げモーメント
$Z_b$	mm <sup>3</sup>	ベースプレートの断面係数
$L_8$	mm	ベースプレートの評価長さ
B	mm	ベースプレートの有効幅
$t_b$	mm	ベースプレートの板厚
$\tau_b$	N/mm <sup>2</sup>	ベースプレートに生じる最大せん断応力度
$Q_b$	kN	ベースプレートに作用する最大せん断力
$A_{sb}$	mm <sup>2</sup>	ベースプレートのせん断断面積

### 3. 評価対象部位及び評価対象設備

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて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伝達過程を考慮し設定する。また、浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)は構成部材の寸法，規格が等しく，評価結果が変わらないことから，浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）及び浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1)を評価対象設備とする。

浸水防止蓋の評価対象部位は，津波荷重及び余震荷重が浸水防止蓋のスキンプレート，主桁，固定ボルト (1)，**枠及びベースプレート**に伝わり，浸水防止蓋を固定する固定ボルト (2) を介して躯体に伝達されることから，浸水防止蓋の評価対象部位は，スキンプレート，主桁，固定ボルト (1)，固定ボルト (2)，**枠及びベースプレート**とし，評価対象部位を図3-1に示す。



浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）

図3-1 評価対象部位 (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）（No. 1），（No. 2）

図 3-1 評価対象部位（2/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の強度評価は、「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. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位に生じる応力等が「4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

##### 4.2 荷重及び荷重の組合せ

###### 4.2.1 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/m<sup>2</sup>)

$S_d$  : 余震荷重 (弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  に伴う地震力) (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

なお、鉛直方向の荷重の組合せにおいては、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。

###### 4.2.2 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

###### (1) 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。

###### (2) 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。また、評価高さの考え方を図 4-1 に示す。

$$P_t = 1/2 \cdot C_D \cdot \rho_0 \cdot U^2 + \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

ここで、 $P_t$  : 突き上げ津波荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$C_D$  : 抗力係数 (=2.01)

$\rho_0$  : 水の密度 (t/m<sup>3</sup>)

$U$  : 流速 (=1.0m/s)

$g$  : 重力加速度 (=9.80665m/s<sup>2</sup>)

$H$  : 評価高さ (mm)

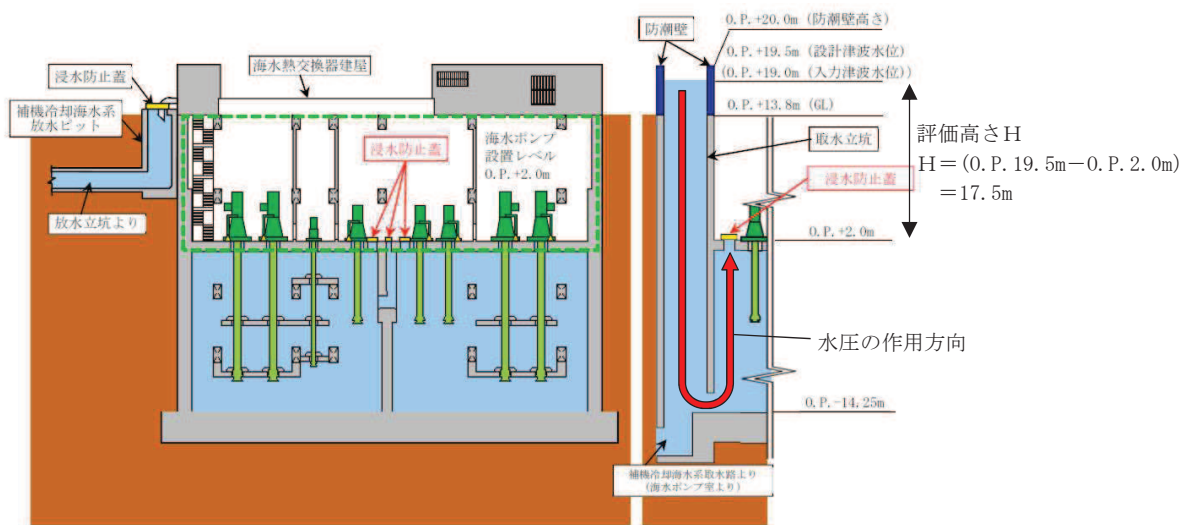


図 4-1 評価高さの考え方

(3) 積雪荷重 (P<sub>s</sub>)

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<sub>s</sub> : 積雪荷重 (kN)

W<sub>s</sub> : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m<sup>2</sup>)

d<sub>s</sub> : 積雪高さ 43 (cm)

A : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

#### (4) 余震荷重 (S<sub>d</sub>)

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<sub>d</sub>-D2 に伴う地震力及び動水圧荷重を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D2 に伴う地震力を考慮する。鉛直方向については、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D2 に伴う動水圧荷重を考慮する。

なお、浸水防止蓋の強度評価に用いる余震震度は、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。地震応答解析ケースを表 4-1 に、余震震度を表 4-2 に示す。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。

$$S_d = (G + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで、S<sub>d</sub> : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D2 に伴う水平方向の余震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P<sub>s</sub> : 積雪荷重 (kN)

α<sub>H</sub> : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D2 に伴う水平方向の余震震度

また、表 4-2 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浸水防止蓋に作用するため、強度評価においては浸水防止蓋の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。

動水圧荷重は、浸水防止蓋の設置位置における鉛直方向の最大応答加速度から設定する震度、水の密度及び評価高さをを用いて評価するものとし、下記のとおり算出する。

$$P_v = \rho_0 \cdot \alpha_v \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

ここで、P<sub>v</sub> : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D2 に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

ρ<sub>0</sub> : 水の密度 (t/m<sup>3</sup>)

α<sub>v</sub> : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D2 に伴う鉛直方向の余震震度

g : 重力加速度 (=9.80665m/s<sup>2</sup>)

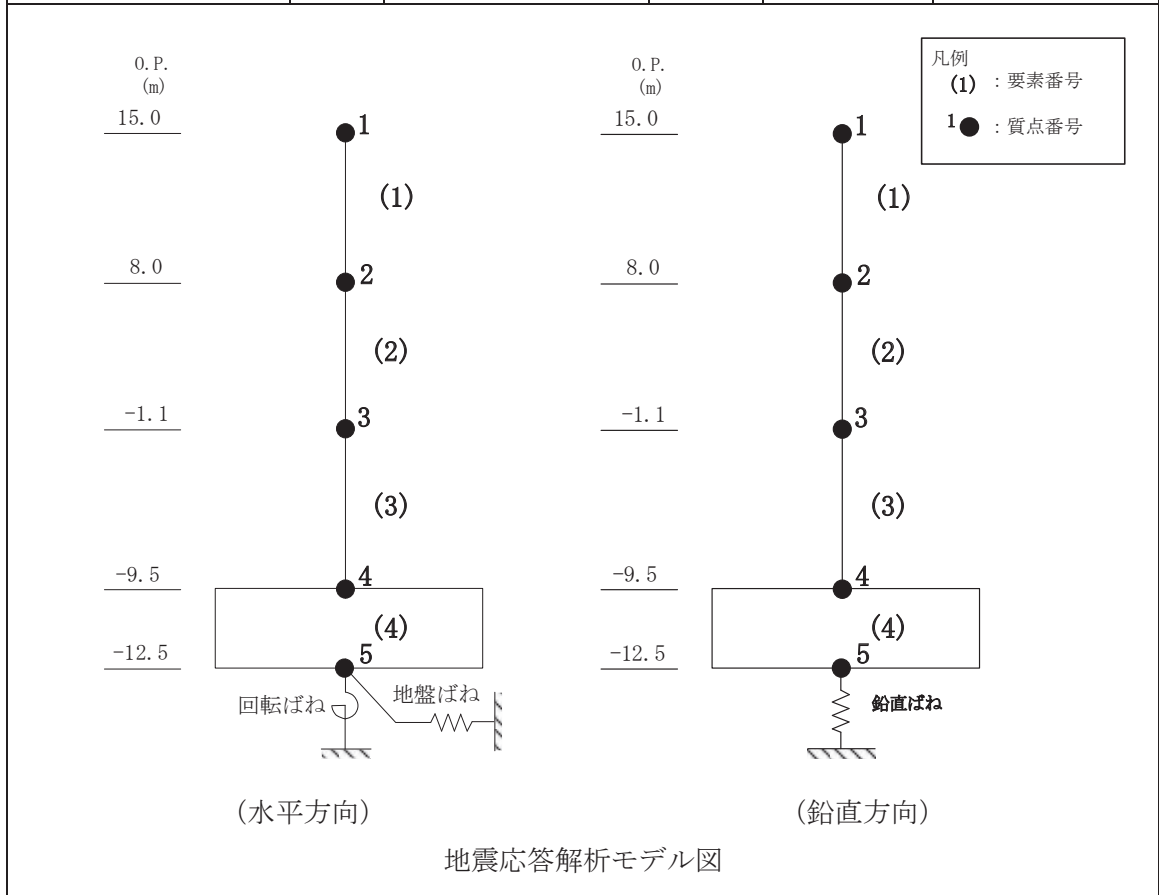
H : 評価高さ (mm)

表 4-1 地震応答解析ケース

対象地震動	ケース名	スケルトンカーブ		建屋材料減衰	地盤物性	
		初期剛性	終局耐力		入力地震動	底面地盤ばね
弾性設計用 地震動 S d - D 2 (水平)	ケース1 (基本ケース)	2011年3月11日東北 地方太平洋沖地震の観 測記録を用いたシミュ レーション解析により 補正	設計基準強度を用い JEAG式で評価	5%	表層地盤の非線形性を考慮	標準地盤
	ケース2	同上	同上	同上	同上	標準地盤 + $\sigma$
	ケース3	同上	同上	同上	同上	標準地盤 - $\sigma$
弾性設計用 地震動 S d - D 2 (鉛直)	ケース1 (基本ケース)	設計剛性	-	5%	直接入力	標準地盤
	ケース2	同上	-	同上	同上	標準地盤 + $\sigma$
	ケース3	同上	-	同上	同上	標準地盤 - $\sigma$

表 4-2 余震震度

地震時荷重算出位置 (m)	地震応答解析結果				設計震度
	方向	弾性設計用地震動 S d - D 2	ケース	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	
O. P. 8.00	NS	S d - D 2	2	1142	$\alpha_H = 1.17$
	EW	S d - D 2	2	1077	
	UD	S d - D 2	2	625	$\alpha_V = 0.64$



注：表中の O. P. は第三号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書での値を示す。

#### 4.3 許容限界

浸水防止蓋の許容限界は、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定した部位に対し、「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設定する。

##### 4.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成するスキンプレート、主桁、固定ボルト (1)、固定ボルト (2)、**枠及びベースプレート**の使用材料を表 4-3 に示す。

表 4-3 使用材料

設備名称	評価対象部位	材質	仕様
浸水防止蓋 (第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	主桁	SUS304	C-80×40×5×5 (mm)
	固定ボルト (1)	SUS304	M16
	固定ボルト (2)	SUS304	M16
	<b>ベースプレート</b>	<b>SUS304</b>	<b>t = 19 (mm)</b>
浸水防止蓋 (第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部) (No. 1), (No. 2)	スキンプレート	SUS304	t = 12 (mm)
	主桁	SUS304	PL-16×150 (mm)
	固定ボルト (1)	SUS304	M30
	固定ボルト (2)	SUS304	M16
	枠	SUS304	H-150×150×7×10 (mm)
	<b>ベースプレート</b>	<b>SUS304</b>	<b>t = 19 (mm)</b>

##### 4.3.2 許容限界

(1) スキンプレート、主桁、固定ボルト (1)、**枠、ベースプレート**

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」を踏まえて表 4-4 の値とする。

表 4-4 鋼材の短期許容応力度

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

注：許容応力度を決定する場合の基準値 F は、日本産業規格 (J I S) に基づく。



## (2) 固定ボルト (2)

固定ボルト (2) の許容荷重は、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」に記載した固定ボルト (2) に作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会, 2010 年改定)」に基づき算定する。

固定ボルト (2) は躯体に埋め込まれていることから、固定ボルト (2) が引張力を受ける場合においては、固定ボルト (2) の降伏により決まる許容荷重 ( $P_{a1}$ )、付着力により決まる許容荷重 ( $P_{a3}$ ) 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 (2) がせん断力を受ける場合においては、固定ボルト (2) のせん断強度により決まる許容荷重 ( $q_{a1}$ )、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 ( $q_{a2}$ ) 及びコーン状破壊により決まる許容荷重 ( $q_{a3}$ ) を比較して、いずれか小さい値を採用する。

突き上げ津波荷重を考慮する場合の固定ボルト (2) の許容荷重設定に用いる入力値を表 4-5 及び表 4-6 に、許容荷重を表 4-7 及び表 4-8 に示す。

### 引張力を受ける場合

$$P_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s c a$$

$$P_{a3} = \Phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

ここで、 $P_{a1}$  : 固定ボルトの降伏により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

$P_{a3}$  : 固定ボルトの付着力により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

$\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)

$\Phi_3$  : 低減係数 (短期荷重用)

$s \sigma_{pa}$  : 固定ボルトの引張強度 ( $= s \sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)

$s \sigma_y$  : 固定ボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s c a$  : 固定ボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$d_a$  : 固定ボルトの径 (mm)

$l_{ce}$  : 固定ボルトの強度算定用埋込み長さ ( $= l_e - 2 d_a$ ) (mm)

$l_e$  : 固定ボルトのコンクリート内への有効埋込み長さ (mm)

$\tau_a$  : へりあき及び固定ボルトのピッチによる低減を考慮した付着強度 (N/mm<sup>2</sup>)

### せん断力を受ける場合

$$q_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \Phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a3} = \Phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、 $q_{a1}$  : 固定ボルトのせん断強度により決まる場合の固定ボルト1本当たりの許容せん断力 (N)

$q_{a2}$  : 定着した躯体の支圧強度により決まる場合の固定ボルト1本当たりの許容せん断力 (N)

$q_{a3}$  : 定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の固定ボルト1本当たりの許容せん断力 (N)

$\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)

$\Phi_2$  : 低減係数 (短期荷重用)

$s \sigma_{qa}$  : 固定ボルトのせん断強度 ( $=0.7 \cdot s \sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)

$s \sigma_y$  : 固定ボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s c a$  : 固定ボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$c \sigma_{qa}$  : コンクリートの支圧強度 (N/mm<sup>2</sup>) ( $=0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$ )

$c \sigma_t$  : コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
( $=0.31 \sqrt{F_c}$ )

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_{qc}$  : せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 (mm<sup>2</sup>)

表 4-5 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）の  
固定ボルト（2）の許容荷重の設定に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
$\Phi_1$	—	低減係数（短期荷重用）	1.0
$\Phi_2$	—	低減係数（短期荷重用）	2/3
$\Phi_3$	—	低減係数（短期荷重用）	2/3
$s\sigma_{pa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの引張強度	205
$s\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの規格降伏点強度	205
$sca$	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの断面積	157
$d_a$	mm	固定ボルトの径	16
$l_{ce}$	mm	固定ボルトの強度算定用埋込み長さ	82
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	へりあき及び固定ボルトのピッチによる低減を考慮した付着強度	12.17
$s\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトのせん断強度	143.5
$c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの支圧強度	450
$c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.76
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	32.4
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数	25100
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	19007

表 4-6 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）  
 (No. 1) (No. 2) の固定ボルト (2) の許容荷重の設定に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
$\Phi_1$	—	低減係数（短期荷重用）	1.0
$\Phi_2$	—	低減係数（短期荷重用）	2/3
$\Phi_3$	—	低減係数（短期荷重用）	2/3
${}_s\sigma_{pa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの引張強度	205
${}_s\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの規格降伏点強度	205
${}_s\sigma_a$	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの断面積	157
$d_a$	mm	固定ボルトの径	16
$l_{ce}$	mm	固定ボルトの強度算定用埋込み長さ	82
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	へりあき及び固定ボルトのピッチによる低減を考慮した付着強度	12.42
${}_s\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトのせん断強度	143.5
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの支圧強度	450
${}_c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.76
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	32.4
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数	25100
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	37738

表 4-7 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）の  
固定ボルト（2）の短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)						
	引張			せん断			
	$P_{a1}$	$P_{a3}$	設定値	$q_{a1}$	$q_{a2}$	$q_{a3}$	設定値
SUS304	32.1	33.4	32.1	22.5	47.1	22.3	22.3

表 4-8 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）  
(No. 1), (No. 2)の固定ボルト（2）の短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)						
	引張			せん断			
	$P_{a1}$	$P_{a3}$	設定値	$q_{a1}$	$q_{a2}$	$q_{a3}$	設定値
SUS304	32.1	34.1	32.1	22.5	47.1	44.2	22.5

#### 4.4 評価方法

浸水防止蓋を構成する主桁、スキンプレート、固定ボルト (1)、**枠及びベースプレート**に発生する応力度並びに固定ボルト (2)に発生する応力が、許容値限界以下であることを確認する。

主桁とスキンプレートについては、箇所によって評価結果に差異が生じることから、図 4-2 及び図 4-3 にそれぞれ評価の対象とする主桁、スキンプレートを示す。

また、図 4-4 に、固定ボルト (1)、固定ボルト (2)、**枠及びベースプレート**の納まりを示す。

##### 4.4.1 主桁

主桁の支持条件は両端をピン支持とし、図 4-2 に示すとおり、主桁が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

- (1) 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重  $W_{ss}'$

$$W_{ss}' = (P_t + P_v) \cdot L_1 \cdot 10^{-3}$$

ここで、 $W_{ss}'$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$P_t$  : 突き上げ津波荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$P_v$  : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$L_1$  : 主桁の負担幅 (mm)

- (2) 主桁に生じる最大せん断応力度  $\tau$

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

$\tau$  : 主桁に生じる最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q$  : 主桁に生じる最大せん断力 (kN)

$A_s$  : 主桁のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

ここで、 $Q = 1/2 \cdot W_{ss}' \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

$W_{ss}'$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_2$  : 主桁全長 (mm)

- (3) 主桁に生じる最大曲げ応力度  $\sigma$

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

$\sigma$  : 主桁に生じる最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 主桁に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

$Z$  : 主桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

ここで、 $M = 1/8 \cdot W_{ss}' \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$

$W_{ss}'$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_2$  : 主桁全長 (mm)

(4) 主桁に生じる組合せ応力度  $x$

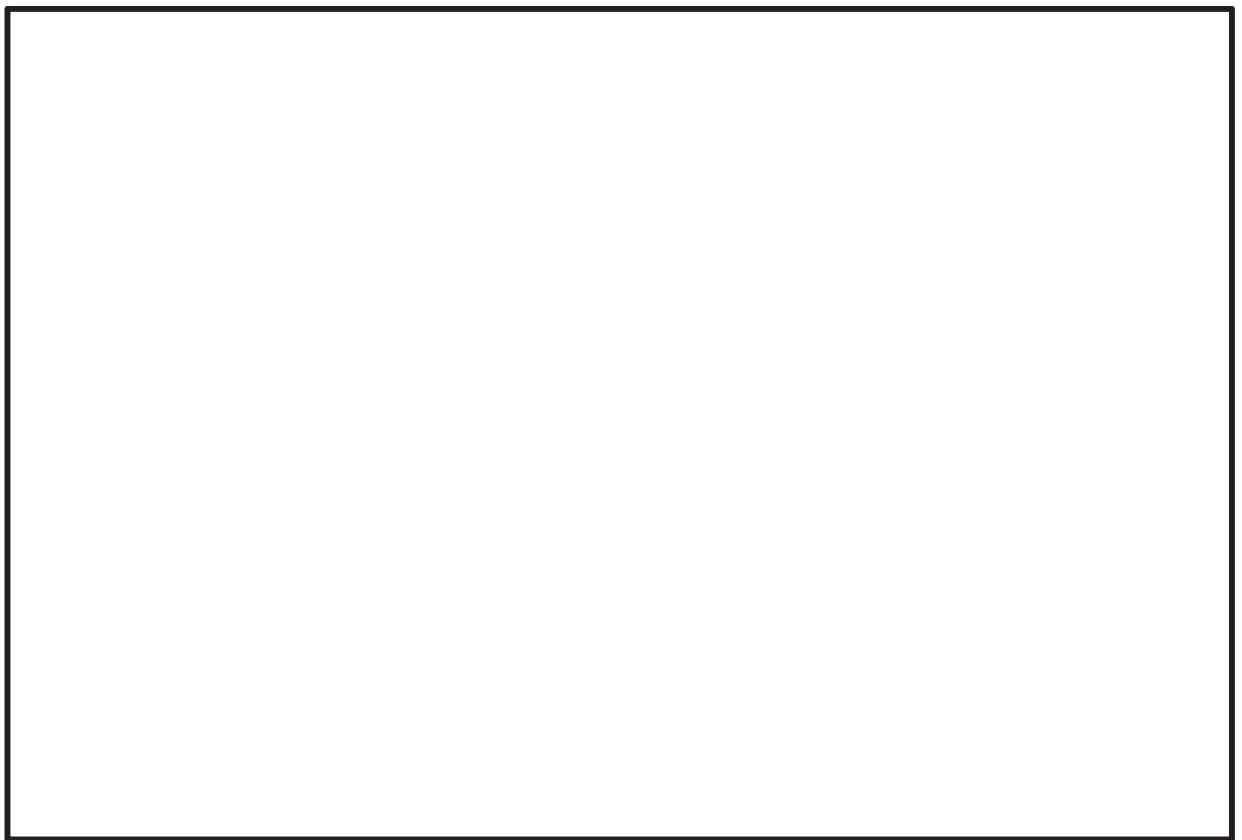
主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」に基づく次式により算定し，短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

$x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : 最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : 最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)



(a) 角落し部 (平面図)

(b) 点検用開口部 (平面図)

図 4-2 評価の対象とする主桁

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.4.2 スキンプレート

図4-3に示すとおり、スキンプレートが荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

- (1) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{ss}$

$$W_{ss} = P_t + P_v$$

ここで、 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m<sup>2</sup>)

$P_t$  : 突き上げ津波荷重(kN/m<sup>2</sup>)

$P_v$  : 弾性設計用地震動Sd-D2に伴う鉛直方向の動水圧荷重(kN/m<sup>2</sup>)

- (2) スキンプレートに生じる最大曲げ応力度 $\sigma$

$$\sigma = \beta_1 \cdot W_{ss} \cdot L_4^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 $\sigma$  : スキンプレートに生じる最大曲げ応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m<sup>2</sup>)

$L_4$  : スキンプレートの支持短辺長さ(mm)

$\beta_1$  : スキンプレートの辺長比に応じた係数

$t$  : スキンプレートの厚さ(mm)

- (3) スキンプレートに生じる最大せん断応力度 $\tau$

$$\tau = W_{ss} \cdot L_3 \cdot L_4 \cdot 10^{-3} / \{2 \cdot (L_3 + L_4) \cdot t\}$$

ここで、 $\tau$  : スキンプレートに生じる最大せん断応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m<sup>2</sup>)

$L_3$  : スキンプレートの支持長辺長さ(mm)

$L_4$  : スキンプレートの支持短辺長さ(mm)

$t$  : スキンプレートの厚さ(mm)

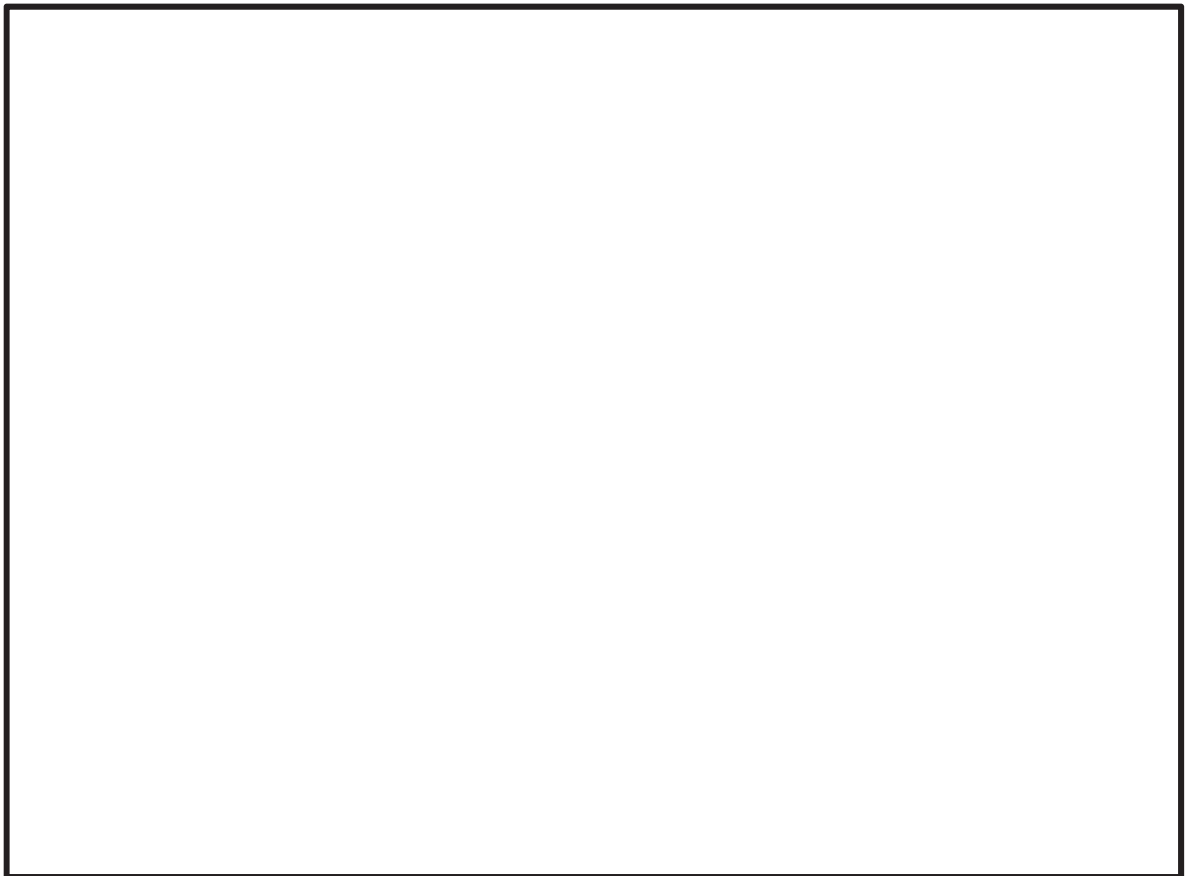


(4) スキンプレートに生じる組合せ応力度  $x$

スキンプレートに生じる曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。またスキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」に基づく次式により算定し，短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，  $x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma$  : 最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau$  : 最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)



(a) 角落し部 (平面図)

(b) 点検用開口部 (平面図)

図 4-3 評価の対象とするスキンプレート

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.4.3 固定ボルト (1)

- (1) 固定ボルト (1) 1 本当りに生じる鉛直方向の引張応力度  $\sigma_t$

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

$$T_s = (P_t + P_v) \cdot L_5 \cdot L_6 \cdot 10^{-6} / n_s$$

ここで,  $\sigma_t$  : 固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$T_s$  : 固定ボルト (1) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

$P_t$  : 突き上げ津波荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$P_v$  : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$L_5$  : スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ (mm)

$L_6$  : スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ (mm)

$n_s$  : 固定ボルト (1) の本数 (本)

$A'$  : 固定ボルト (1) の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

- (2) 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

$$S d = (G + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで, S d : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向の余震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P s : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_H$  : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向の余震震度

- (3) 固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度  $\tau_s$

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

ここで,  $q_s = S d / n_s$

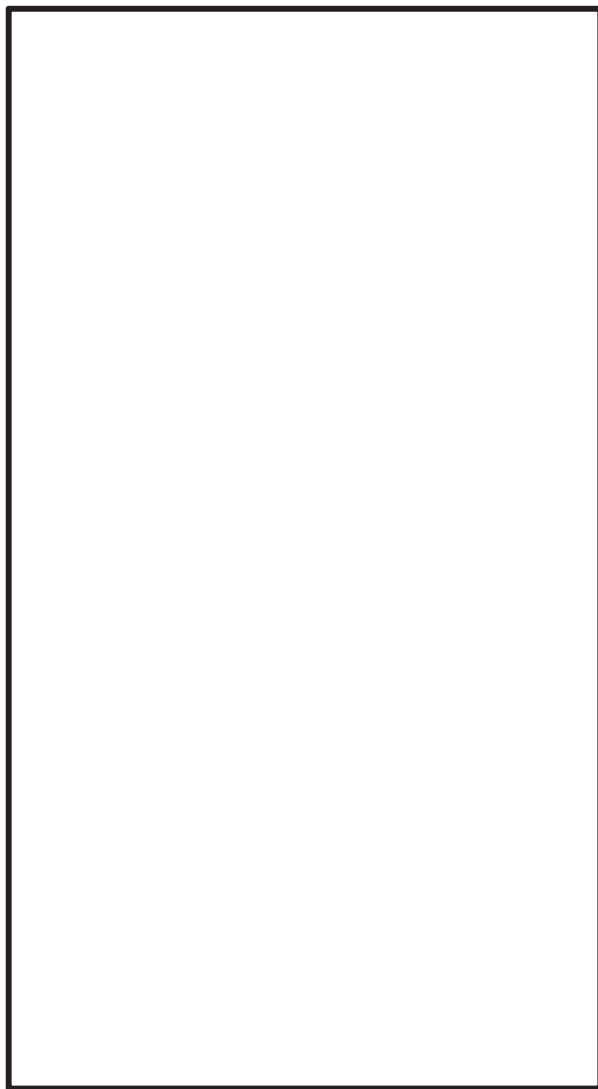
$\tau_s$  : 固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$q_s$  : 固定ボルト (1) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

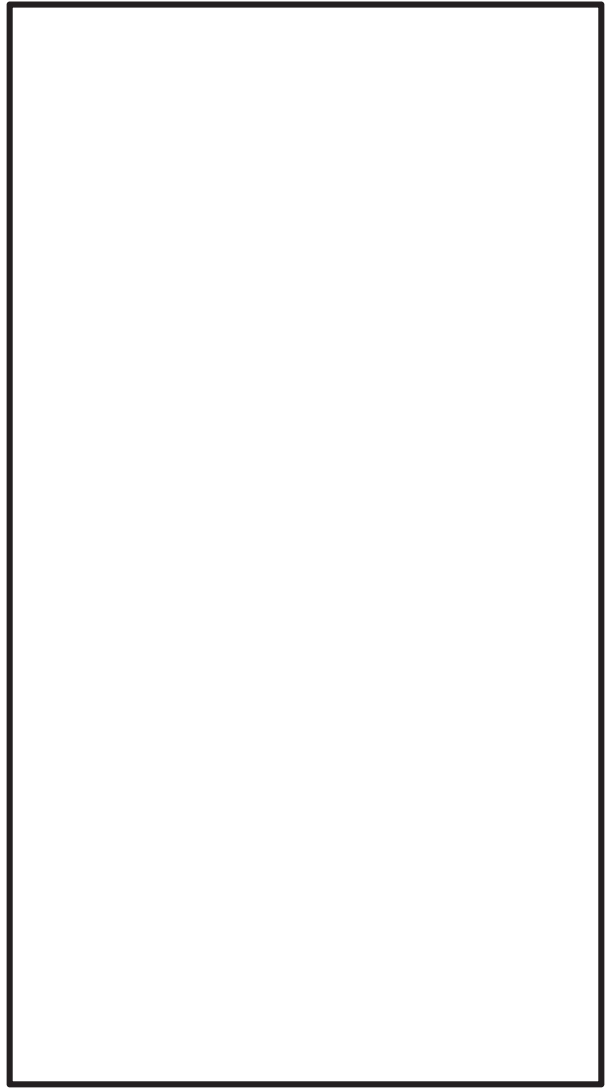
S d : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う水平方向の余震荷重 (kN)

$n_s$  : 固定ボルト (1) の本数 (本)

$A'$  : 固定ボルト (1) の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)



平面図



A-A 断面図



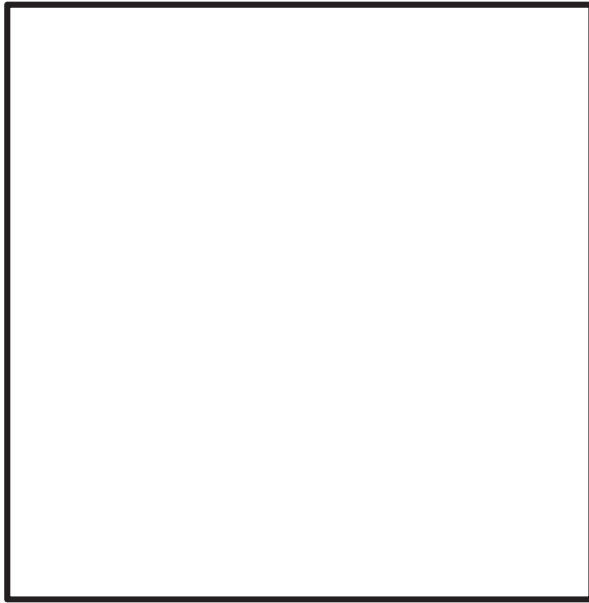
B-B 断面図

a 部詳細図

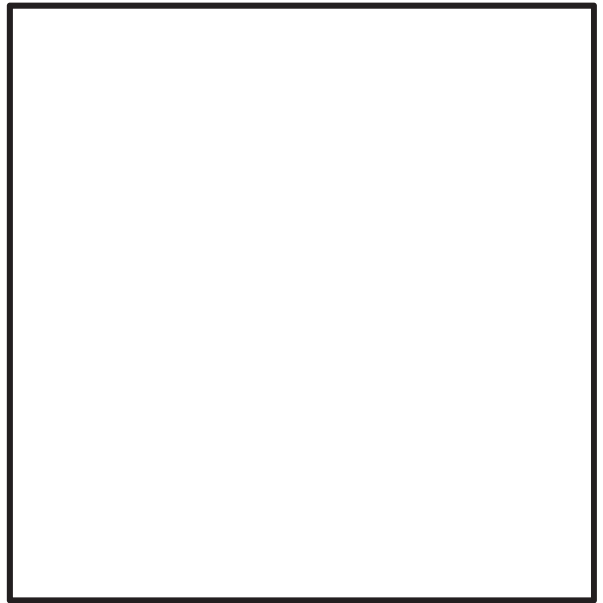
a-a 断面図

図 4-4 固定ボルト (1), 固定ボルト (2), 枠及びベースプレートの納まり (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



平面図



A-A 断面図



B-B 断面図



a 部詳細図

a-a 見下げ図

図 4-4 固定ボルト (1), 固定ボルト (2), 枠及びベースプレートの納まり (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.4.4 固定ボルト (2)

- (1) 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力  $T_d$

$$T_d = (P_t + P_v) \cdot L_5 \cdot L_6 \cdot 10^{-6} / N$$

ここで,  $T_d$  : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

$P_t$  : 突き上げ津波荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$P_v$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D 2$  に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$L_5$  : スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ (mm)

$L_6$  : スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ (mm)

$N$  : 固定ボルト (2) の本数 (本)

- (2) 弾性設計用地震動  $S_d - D 2$  に伴う水平方向の余震荷重  $S_d$

$$S_d = (G + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで,  $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D 2$  に伴う水平方向の余震荷重 (kN)

$G$  : 固定荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_H$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D 2$  に伴う水平方向の余震震度

- (3) 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力  $q$

$$q = S_d / N$$

ここで,  $q$  : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

$S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D 2$  に伴う水平方向の余震荷重 (kN)

$N$  : 固定ボルト (2) の本数 (本)

- (4) 組合せ評価方法

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説 (日本建築学会, 2010 年改定)」に基づく次式により算出し, 1 以下であることを確認する。

$$(T_d / T_a)^2 + (q / q_a)^2 \leq 1$$

ここで,  $T_d$  : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

$T_a$  : 固定ボルト (2) の短期許容引張荷重 (kN)

$q$  : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

$q_a$  : 固定ボルト (2) の短期許容せん断荷重 (kN)

#### 4.4.5 枠

枠上フランジについては、直接荷重を負担しない構造となっていることから、下フランジ及びウェブについて評価を実施する。

(1) 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度  $\sigma_f$

$$\sigma_f = (M_f \cdot 10^6) / Z_f$$

$\sigma_f$  : 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_f$  : 枠下フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$Z_f$  : 枠下フランジの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

ここで、 $M_f = (P_t + P_v) \cdot L_5 \cdot L_6 \cdot L_7 \cdot 10^{-9} / 8$

$P_t$  : 突き上げ津波荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$P_v$  : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$L_5$  : スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ (mm)

$L_6$  : スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ (mm)

$L_7$  : 枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離 (mm)

(2) 枠下フランジに生じる最大せん断応力度  $\tau_f$

$$\tau_f = (P_t + P_v) \cdot L_5 \cdot L_6 \cdot 10^{-3} / 8 / A_f$$

$\tau_f$  : 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P_t$  : 突き上げ津波荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$P_v$  : 弾性設計用地震動 S d - D 2 に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$L_5$  : スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ (mm)

$L_6$  : スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ (mm)

$A_f$  : 枠下フランジのせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

(3) 枠下フランジに生じる組合せ応力度  $x$

$$x = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

$x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_f$  : 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_f$  : 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

- (4) 水平方向の余震荷重により枠ウェブに作用する最大せん断力  $Q_w$

$$Q_w = S_d / 2$$

$$S_d = (G + P_s) \cdot \alpha_H$$

$Q_w$  : 枠ウェブに作用する最大せん断力 (kN)

$S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D 2$  に伴う水平方向の余震荷重 (kN)

$G$  : 固定荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_H$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D 2$  に伴う水平方向の余震震度

- (5) 水平方向の余震荷重により枠ウェブに生じる最大せん断応力度  $\tau_w$

$$\tau_w = (Q_w \cdot 10^3) / A_{s_w}$$

$\tau_w$  : 枠ウェブに生じる最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_w$  : 枠ウェブに作用する最大せん断力 (kN)

$A_{s_w}$  : 枠ウェブのせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

- (6) 鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに作用する引張力  $T_w$

$$T_w = (P_t + P_v) \cdot L_5 \cdot L_6 \cdot 10^{-6} / 4$$

$T_w$  : 鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに作用する引張力 (kN)

$P_t$  : 突き上げ津波荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$P_v$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D 2$  に伴う鉛直方向の動水圧荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$L_5$  : スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ (mm)

$L_6$  : スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ (mm)

- (7) 鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに生じる引張応力度  $\sigma_{t_w}$

$$\sigma_{t_w} = T_w \cdot 10^3 / A_w$$

$\sigma_{t_w}$  : 鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに生じる  
引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$T_w$  : 鉛直方向の余震荷重により枠ウェブに作用する引張力 (kN)

$A_w$  : 枠ウェブの断面積 (mm<sup>2</sup>)

#### 4.4.6 ベースプレート

ベースプレートは片持ち梁として評価を実施する。

- (1) ベースプレートに生じる最大曲げ応力度  $\sigma_b$

$$\sigma_b = (M_b \cdot 10^6) / Z_b$$

$\sigma_b$  : ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M_b$  : ベースプレートに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$Z_b$  : ベースプレートの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

ここで,  $M_b = T_d \cdot L_s \cdot 10^{-3}$

$T_d$  : 固定ボルト (2) 1本当りに作用する引張力 (kN)

$L_s$  : ベースプレートの評価長さ (mm)

$$Z_b = (B \cdot t_b^2) / 6$$

$B$  : ベースプレートの有効幅 (mm)

$t_b$  : ベースプレートの板厚 (mm)

- (2) ベースプレートに生じる最大せん断応力度  $\tau_b$

$$\tau_b = (Q_b \cdot 10^3) / A_{s_b}$$

$$Q_b = T_d$$

$\tau_b$  : ベースプレートに生じる最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_b$  : ベースプレートに作用する最大せん断力 (kN)

$A_{s_b}$  : ベースプレートのせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

- (3) ベースプレートに生じる組合せ応力度  $x$

$$x = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_b^2}$$

$x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_b$  : ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_b$  : ベースプレートに生じる最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)



#### 4.5 評価条件

浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値を表 4-9 及び表 4-10 に示す。

表 4-9 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）の  
強度評価に用いる入力値（1/2）

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
共通	$\rho_0$	t/m <sup>3</sup>	水の密度	1.03
	g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度	9.80665
	H	mm	評価高さ	17500
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	1.6
	G	kN	スキンプレートと主桁の固定荷重	3.040
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	0.481
	P <sub>t</sub>	kN/m <sup>2</sup>	突き上げ津波荷重	178
	P <sub>v</sub>	kN/m <sup>2</sup>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> -D <sub>2</sub> に伴う鉛直方向の 動水圧荷重	114
	S <sub>d</sub>	kN	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> -D <sub>2</sub> に伴う水平方向 の余震荷重	4.12
主桁	L <sub>1</sub>	mm	主桁の負担幅	430
	L <sub>2</sub>	mm	主桁全長	420
	A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	主桁のせん断断面積	400
	Z	mm <sup>3</sup>	主桁の断面係数	1.78×10 <sup>4</sup>
スキン プレート	L <sub>3</sub>	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	430
	L <sub>4</sub>	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	420
	$\beta_1$	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレートの厚さ	16

表 4-9 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）の  
強度評価に用いる入力値（2/2）

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
固定 ボルト(1)	$n_s$	本	固定ボルト(1)の本数	36
	$A'$	$\text{mm}^2$	固定ボルト(1)の有効断面積	157
	$L_5$	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ	3005
	$L_6$	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ	380
固定 ボルト(2)	$N$	本	固定ボルト(2)の本数	27
	$L_5$	Mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ	3005
	$L_6$	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ	380
ベース プレート	$L_8$	mm	ベースプレートの評価長さ	36
	$Z_b$	$\text{mm}^3$	ベースプレートの断面係数	4332
	$B$	mm	ベースプレートの有効幅	72
	$t_b$	mm	ベースプレートの板厚	19
	$A_{sb}$	$\text{mm}^2$	ベースプレートのせん断断面積	1368

表 4-10 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1) の強度評価に用いる入力値（1/2）

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
共通	$\rho_0$	t/m <sup>3</sup>	水の密度	1.03
	g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度	9.80665
	H	mm	評価高さ	17500
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	1.0
	G	kN	スキンプレートと主桁の固定荷重	3.138
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	0.301
	P <sub>t</sub>	kN/m <sup>2</sup>	突き上げ津波荷重	178
	P <sub>v</sub>	kN/m <sup>2</sup>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> -D <sub>2</sub> に伴う鉛直方向の動水圧荷重	114
主桁	S <sub>d</sub>	kN	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> -D <sub>2</sub> に伴う水平方向の余震荷重	4.02
	L <sub>1</sub>	mm	主桁の負担幅	250
	L <sub>2</sub>	mm	主桁全長	1000
	A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	主桁のせん断面積	2400
スキンプレート	Z	mm <sup>3</sup>	主桁の断面係数	6.00×10 <sup>4</sup>
	L <sub>3</sub>	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	250
	L <sub>4</sub>	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	200
	$\beta_1$	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.5
	t	mm	スキンプレートの厚さ	12

表 4-10 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1) の

強度評価に用いる入力値 (2/2)

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
固定 ボルト (1)	$n_s$	本	固定ボルト (1) の本数	8
	$A'$	$\text{mm}^2$	固定ボルト (1) の有効断面積	561
	$L_5$	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ	850
	$L_6$	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ	850
固定 ボルト (2)	$N$	本	固定ボルト (2) の本数	15
	$L_5$	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ	850
	$L_6$	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ	850
枠	$L_5$	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面長辺長さ	850
	$L_6$	mm	スキンプレートの突き上げ津波受圧面短辺長さ	850
	$L_7$	mm	枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離	75
	$Z_f$	$\text{mm}^3$	枠下フランジの断面係数	14170
	$A_w$	$\text{mm}^2$	枠ウェブの断面積	7000
	$A_{s_w}$	$\text{mm}^2$	枠ウェブのせん断断面積	7000
ベース プレート	$L_8$	mm	ベースプレートの評価長さ	80
	$Z_b$	$\text{mm}^3$	ベースプレートの断面係数	9627
	$B$	mm	ベースプレートの有効幅	160
	$t_b$	mm	ベースプレートの板厚	19
	$A_{s_b}$	$\text{mm}^2$	ベースプレートのせん断断面積	3040

## 5. 評価結果

浸水防止蓋の強度評価結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 浸水防止蓋(第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)  
の強度評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁	曲げ	156	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.77 < 1.0
	せん断	66	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.56 < 1.0
	組合せ	193	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.95 < 1.0
スキンプレート	曲げ	81	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.40 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	81	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.40 < 1.0
固定ボルト (1)	引張	59	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.29 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
固定ボルト (2)	引張	12.4	kN	32.1	kN	0.39 < 1.0
	せん断	0.2	kN	22.3	kN	0.01 < 1.0
	組合せ	-		-		0.16 < 1.0
ベースプレート	曲げ	103	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.51 < 1.0
	せん断	10	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
	組合せ	105	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.52 < 1.0

表 5-2 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1) の

強度評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値	
主桁	曲げ	153	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.75 < 1.0	
	せん断	16	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0	
	組合せ	155	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.76 < 1.0	
スキンプレート	曲げ	41	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.20 < 1.0	
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0	
	組合せ	41	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.20 < 1.0	
固定ボルト (1)	引張	48	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.24 < 1.0	
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0	
固定ボルト (2)	引張	14.1	kN	32.1	kN	0.44 < 1.0	
	せん断	0.3	kN	22.5	kN	0.02 < 1.0	
	組合せ	-		-		0.20 < 1.0	
枠	下フランジ	曲げ	140	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.69 < 1.0
		せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
		組合せ	140	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.69 < 1.0
	ウェブ	引張	8	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
		せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
ベースプレート	曲げ	118	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.58 < 1.0	
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	118	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0	
	組合せ	119	N/mm <sup>2</sup>	205	N/mm <sup>2</sup>	0.59 < 1.0	

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
  - 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
    - 6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明
      - 6.5.3.7 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）の耐震性についての計算書に関する補足説明

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	4
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	6
2.5 記号の説明	7
3. 評価対象部位	12
4. 固有値解析	14
4.1 固有振動数の計算方法	14
4.2 固有振動数の計算条件	15
4.3 固有振動数の計算結果	15
5. 構造強度評価	16
5.1 構造強度評価方法	16
5.2 荷重及び荷重の組合せ	16
5.3 許容限界	18
5.4 設計用地震力	23
5.5 評価方法	27
5.6 評価条件	48
6. 評価結果	53
(別紙1) ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価	56
(別紙2) 海水ポンプ室と原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の最大加速度応答の比較	65

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内））（以下「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防止設備としてSクラスの施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。



## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

浸水防止蓋は、揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内）からの浸水を防止するために設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図2-1、**流入**対策図を図2-2に示す。

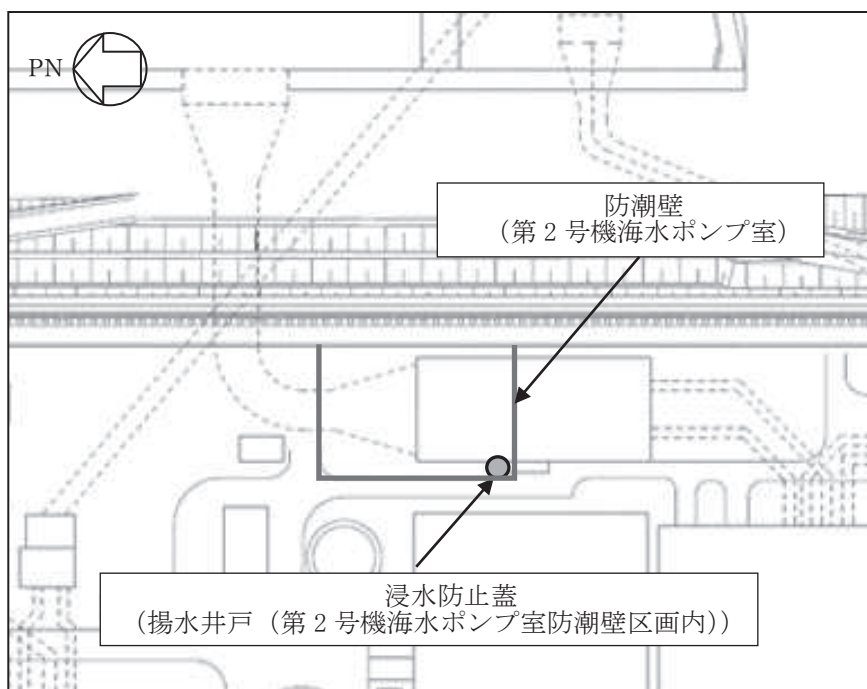


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図

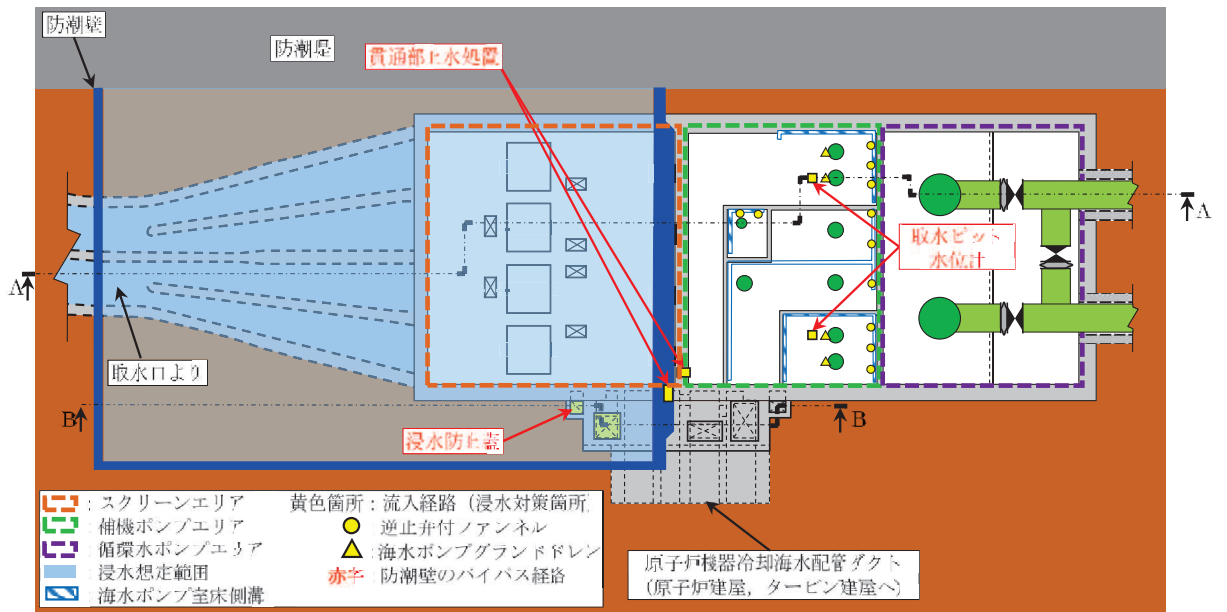


図 2-2 (1) 第 2 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (平面図)

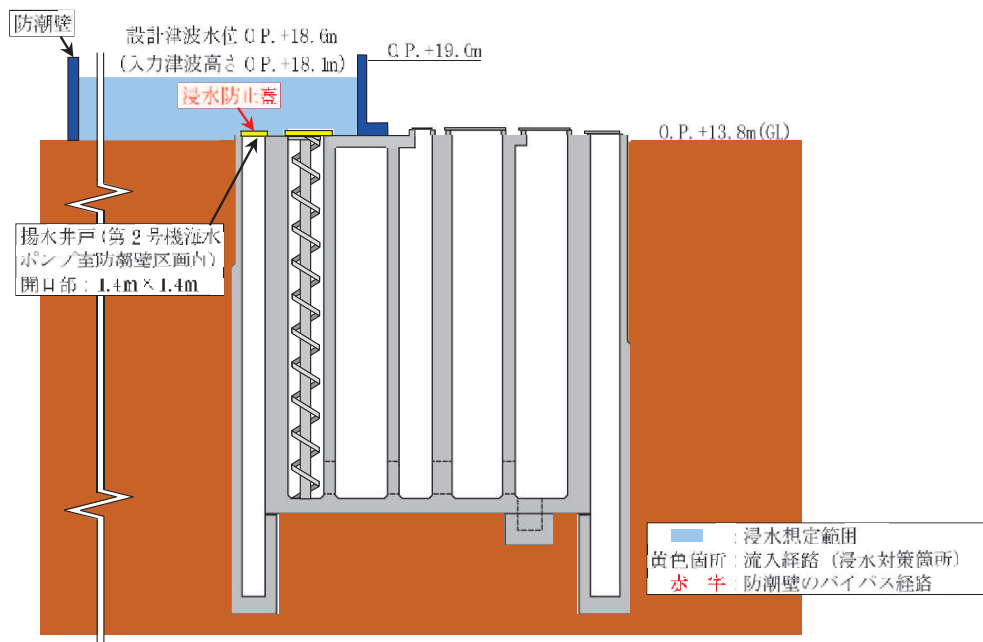


図 2-2 (2) 第 2 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (B-B 断面図)

## 2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形のスキンプレートに主桁（H 型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。ハッチ部の開閉運用の詳細については、「6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明 参考資料 1 浸水防止蓋の開閉運用について」に示す。

浸水防止蓋は、揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋、ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	<p>The diagram illustrates the structural design of the flood prevention cover. It consists of a plan view at the top and two cross-sectional views, A-A and B-B. The plan view shows a rectangular cover with a central circular hatch. The hatch is labeled 'ハッチ' (hatch). The cover itself is labeled '浸水防止蓋' (flood prevention cover). The cover is supported by a frame of main beams (H-shaped steel) and is fixed to the structure above by '固定ボルト' (fixing bolts). The cross-sectional view A-A shows the hatch and cover assembly supported by a vertical beam. The cross-sectional view B-B shows the cover assembly supported by a vertical beam, with the hatch positioned below the cover.</p>

### 2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。耐震評価フローを図2-3に示す。

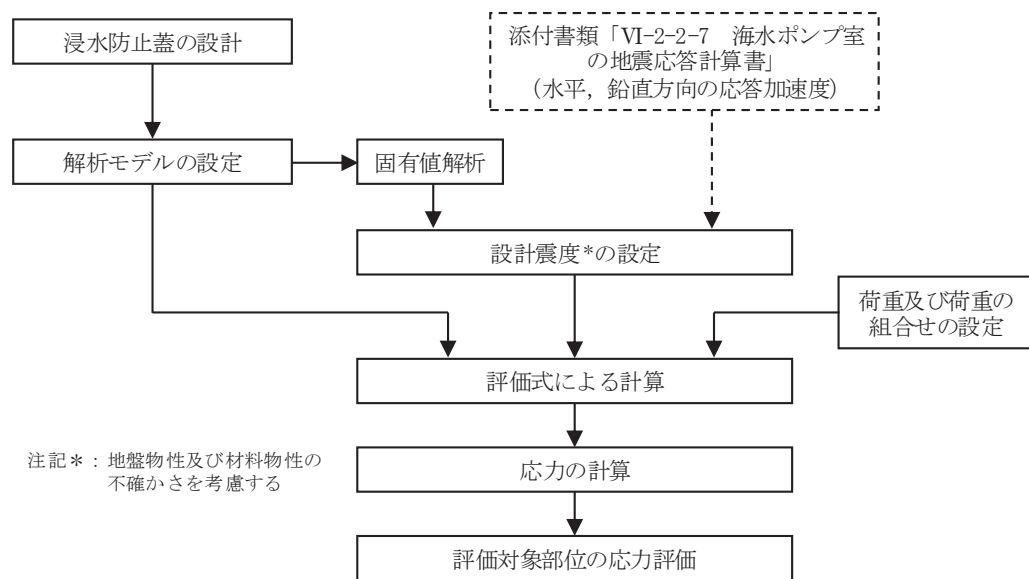


図2-3 耐震評価フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (4) ダム堰施設技術協会 平成28年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

## 2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

記号	単位	定義
$S_s$	kN	基準地震動 $S_s$ による地震荷重
$k_H$	—	基準地震動 $S_s$ の水平方向の設計震度
$k_V$	—	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度
$G$	kN	固定荷重
$P_s$	kN	積雪荷重
$W_s$	N/m <sup>2</sup>	1 cm 当りの積雪荷重
$d_s$	cm	積雪高さ
$A$	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	kN/m <sup>2</sup>	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	最大せん断応力度
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	最大曲げ応力度
$Q$	kN	最大せん断力
$M$	kN・m	最大曲げモーメント
$x$	N/mm <sup>2</sup>	組合せ応力度
$A_s$	mm <sup>2</sup>	せん断断面積
$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
$L_1$	mm	主桁の負担幅
$L_2$	mm	主桁全長
$L_3$	mm	固定ボルト中心位置から主桁 (戸当り部) 中心までの距離
$L_4$	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
$L_5$	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
$B$	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの有効幅
$t_b$	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの厚さ
$\beta_2$	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数
$t$	mm	スキンプレートの厚さ
$N$	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
$T_d$	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
$q$	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	$W_{HR}$	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	$W_{HP}$	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	$W_V$	kN	鉛直荷重
	$W_R$	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	$k_H$	—	基準地震動 $S_s$ の水平方向の設計震度
	$k_V$	—	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度
	$G$	kN	ハッチの固定荷重
	$P_s$	kN	積雪荷重
	$L_c$	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離
	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
	$F_{v2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重
ヒンジプレート (ハッチ側)	$\sigma_N$	N/mm <sup>2</sup>	軸方向引張応力度
	$\sigma_{bR}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bP}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bV1}$	N/mm <sup>2</sup>	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	$\tau_R$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	$\tau_P$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	$\tau_v$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	$\tau_{PX}$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	$Z_D$	mm <sup>3</sup>	極断面係数
$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$\sigma_N$	N/mm <sup>2</sup>	軸方向引張応力度
	$\sigma_{bR}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bP}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	$\tau_R$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	$\tau_P$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積
	$B$	mm	ヒンジプレート幅
$t$	Mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離
	$B$	mm	荷重の載荷長
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
	$A$	mm <sup>2</sup>	ヒンジピンの断面積
$D$	mm	ヒンジピンの直径	



表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$P$	kN	ボルト引張力
	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力
	$Q$	kN	ボルトせん断力
	$Q_R$	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	$Q_P$	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	$L_V$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	$L_H$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	$N_H$	本	回転軸平行方向のボルト本数
$N_V$	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$P$	kN	ボルト引張力
	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
	$B$	mm	有効断面幅
	$A$	mm <sup>2</sup>	エンドプレートの有効断面積
	$L$	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
$t$	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイングボルト	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	A	mm <sup>2</sup>	断面積
スイングボルトピン	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	x	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	A	mm <sup>2</sup>	スイングボルトピンの断面積
	D	mm	スイングボルトピンの直径
ナット受部	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	x	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	F <sub>v2</sub>	kN	締付部に作用する鉛直荷重
	L	mm	腕長さ
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm <sup>2</sup>	ナット受部の有効断面積
スイングボルトピン受部	t	mm	ナット受部の板厚
	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	R <sub>v2</sub>	kN	スイングボルトピン受金具が負担する締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm <sup>2</sup>	スイングボルトピン受部の断面積
	B	mm	スイングボルトピン受部の幅
t	mm	スイングボルトピン受部の板厚	

### 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、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋のスキンプレート、主桁に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、主桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。

浸水防止蓋のハッチ部の運用について、原則閉止運用とするとともに、定期点検時等により開状態となる場合においても速やかに閉操作できる人員を、ハッチ付近に待機させる運用とすることから（詳細は、「6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明 参考資料1 浸水防止蓋の開閉運用について」に示す。）、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、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。なお、ヒンジ部については開放時における評価も実施する。開放時における評価については、「別紙1 ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価」に示す。

評価対象部位を図3-1に示す。

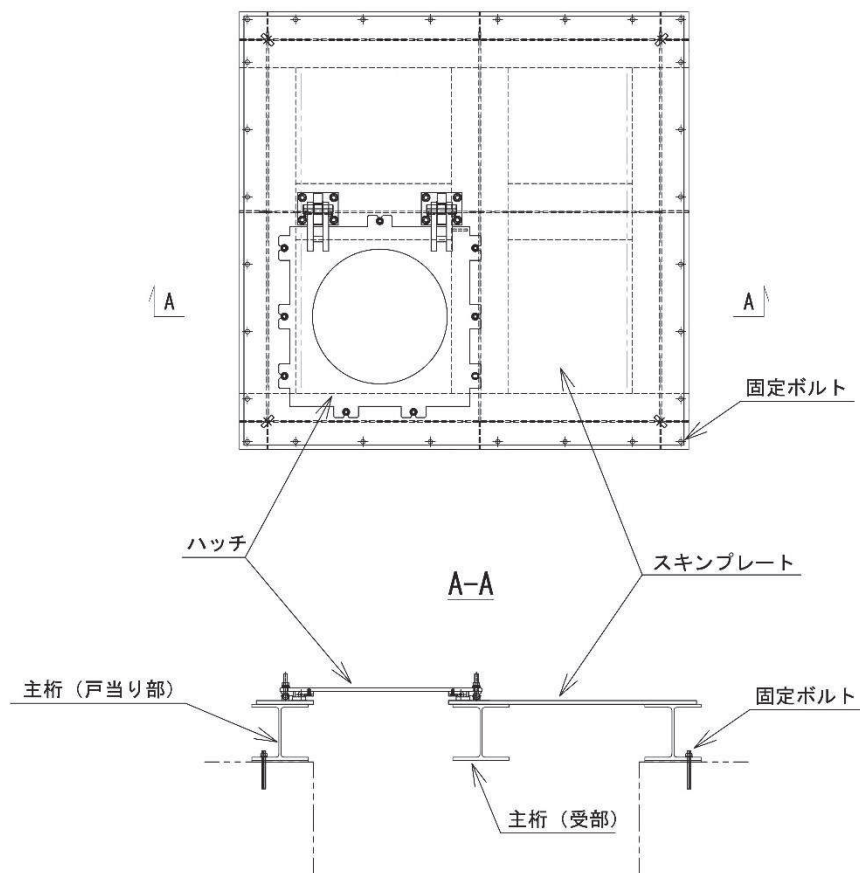
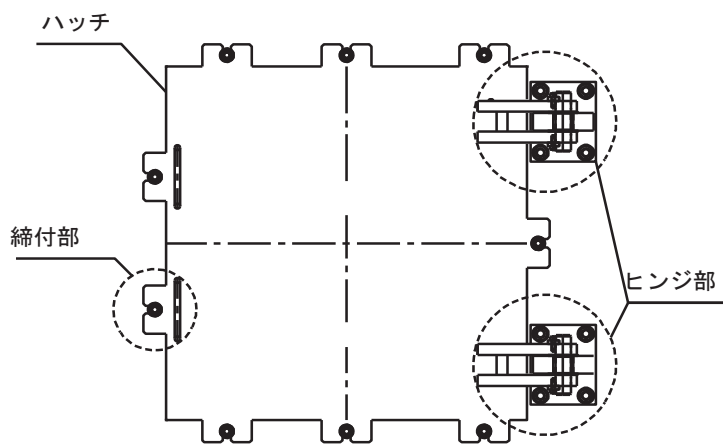
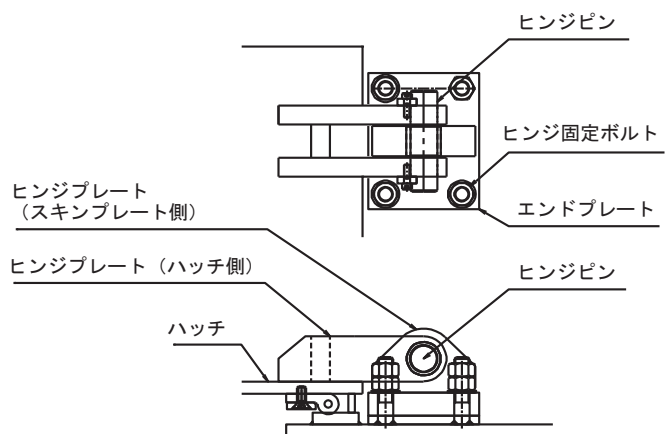


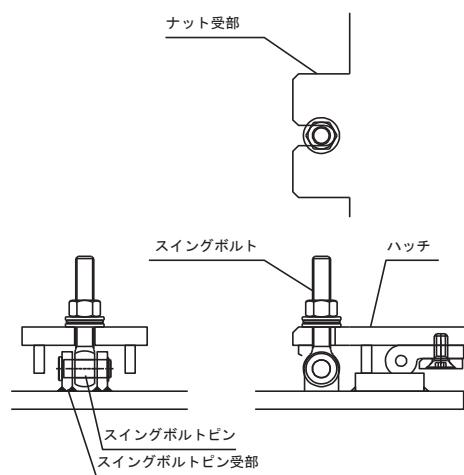
図3-1 (1) 評価対象部位 (スキンプレート, 主桁及び固定ボルト)



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

#### 4. 固有値解析

##### 4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

##### 4.1.1 解析モデルの設定

浸水防止蓋は、スキンプレート及び主桁の組合せにより剛な断面を有しているとともに、固定ボルトを介し、浸水防止蓋と躯体を固定する構造であることから、浸水防止蓋の主桁を両端ピン支持に単純化したモデルとし、モデル化に用いるはり長さは、主桁の全長とする。図4-1に解析モデル図を示す。

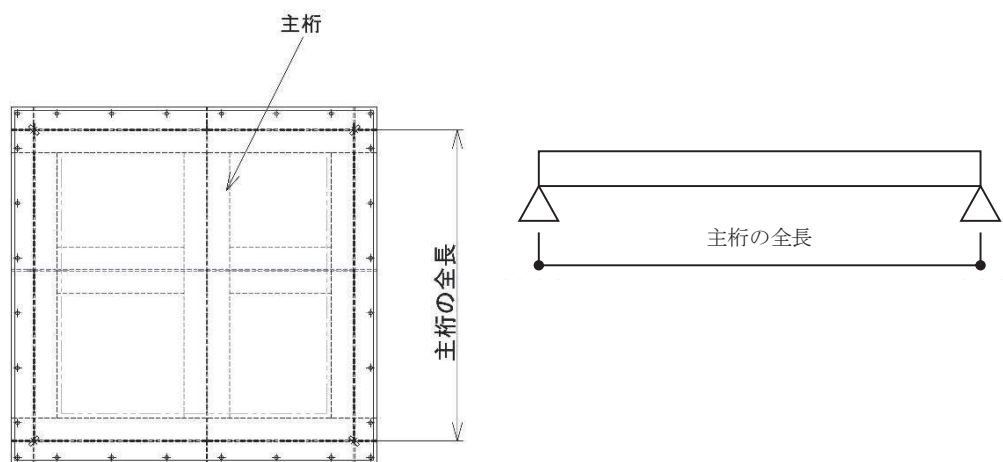


図4-1 浸水防止蓋の固有値解析モデル

#### 4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 浸水防止蓋の固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	mm	はりの長さ
E	N/mm <sup>2</sup>	ヤング率
I	mm <sup>4</sup>	主桁の断面二次モーメント
m	kg/mm	質量分布

#### 4.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「土木学会構造力学公式集」を参考に以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot 10^3}{m}}$$

#### 4.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件

はり長さ L (mm)	ヤング率 E (N/mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I (mm <sup>4</sup> )	質量分布 m (kg/mm)
1700	2.05 × 10 <sup>5</sup>	3.65 × 10 <sup>7</sup>	7.18 × 10 <sup>-2</sup>

#### 4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

固有振動数 (Hz)	175.46
---------------	--------

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

### 5.2 荷重及び荷重の組合せ

#### 5.2.1 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下記に示す。

$$G + S_s + P_s$$

ここで、  
G : 固定荷重 (kN)  
S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震荷重 (kN)  
P<sub>s</sub> : 積雪荷重 (kN)

#### 5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

##### (1) 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。

##### (2) 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

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の式より算出する。

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

ここで、  
P<sub>s</sub> : 積雪荷重 (kN)  
W<sub>s</sub> : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m<sup>2</sup>)  
d<sub>s</sub> : 積雪高さ 43 (cm)  
A : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

(3) 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重として、基準地震動  $S_s$  に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : 固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k$  : 基準地震動  $S_s$  の設計震度



### 5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

#### 5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表5-1に示す。

表5-1 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
主桁	SM490Y	H-250×250×9×14 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

#### 5.3.2 許容限界

##### (1) スキンプレート, 主桁

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を踏まえて表5-2の値とする。

表5-2 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

## (2) 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。

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は、固定ボルトの降伏により決まる許容荷重 ( $P_{a1}$ )、付着力により決まる許容荷重 ( $P_{a3}$ ) 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は、固定ボルトのせん断強度により決まる許容荷重 ( $q_{a1}$ )、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 ( $q_{a2}$ ) 及びコーン状破壊により決まる許容荷重 ( $q_{a3}$ ) を比較して、いずれか小さい値を採用する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重の設定に用いる入力値を表 5-3 に、許容荷重を表 5-4 に示す。

### 引張力を受ける場合

$$P_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s c a$$

$$P_{a3} = \Phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

ここで、 $P_{a1}$  : 固定ボルトの降伏により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

$P_{a3}$  : 固定ボルトの付着力により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

$\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)

$\Phi_3$  : 低減係数 (短期荷重用)

$s \sigma_{pa}$  : 固定ボルトの引張強度 ( $= s \sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)

$s \sigma_y$  : 固定ボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s c a$  : 固定ボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$d_a$  : 固定ボルトの径 (mm)

$l_{ce}$  : 固定ボルトの強度算定用埋込み長さ ( $= l_e - 2 d_a$ ) (mm)

$\tau_a$  : へりあき及び固定ボルトのピッチによる付着強度の低減係数

### せん断力を受ける場合

$$q_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \Phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a3} = \Phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、 $q_{a1}$  : 固定ボルトのせん断強度により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容せん断力 (N)

$q_{a2}$  : 定着した躯体の支圧強度により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容せん断力 (N)

- $q_{a3}$  : 定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の固定ボルト  
 1本当たりの許容せん断力 (N)  
 $\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)  
 $\Phi_2$  : 低減係数 (短期荷重用)  
 ${}_s\sigma_{qa}$  : 固定ボルトのせん断強度 ( $=0.7 \cdot {}_s\sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)  
 ${}_s\sigma_y$  : 固定ボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 ${}_s c a$  : 固定ボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 ${}_c\sigma_{qa}$  : コンクリートの支圧強度 (N/mm<sup>2</sup>) ( $=0.5\sqrt{F_c \cdot E_c}$ )  
 ${}_c\sigma_t$  : コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 ( $=0.31\sqrt{F_c}$ )  
 $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $A_{qc}$  : せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 (mm<sup>2</sup>)

表 5-3 固定ボルトの許容荷重の設定に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
$\Phi_1$	—	低減係数 (短期荷重用)	1.0
$\Phi_2$	—	低減係数 (短期荷重用)	2/3
$\Phi_3$	—	低減係数 (短期荷重用)	2/3
${}_s\sigma_{pa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの引張強度	325
${}_s\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの規格降伏点強度	325
${}_s c a$	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの断面積	157
$d_a$	mm	固定ボルトの径	16
$l_{ce}$	mm	固定ボルトの強度算定用埋込み長さ	168
$\tau_a$	—	へりあき及び固定ボルトのピッチによる付着強度の 低減係数	6.71
${}_s\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトのせん断強度	227.50
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの支圧強度	346.82
${}_c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.40
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	20.5
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数	23470
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	35343

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

材質	短期許容荷重 (kN)						
	引張			せん断			
	$P_{a1}$	$P_{a3}$	設定値	$q_{a1}$	$q_{a2}$	$q_{a3}$	設定値
SM490Y	51.0	37.7	37.7	35.7	36.3	32.9	32.9

(2) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム堰施設技術協会 平成 28 年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 5-5 の値とする。

表 5-5 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

#### 5.4 設計用地震力

浸水防止蓋を設置する揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内）と一体構造となっている原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、規模及び重量共に大きい海水ポンプ室に懸架されており、海水ポンプ室と一体となって挙動する。また、「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止蓋の固有振動数は20Hz以上であることから、浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は、海水ポンプ室の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。地震応答解析ケースを表5-6に示す。耐震評価に用いる応答加速度は、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）が接する図5-1に示すスクリーンエリア及び補機ポンプエリアのうち最大加速度が大きい方を用いる。なお、海水ポンプ室の地震応答解析結果を用いることの保守性については、「別紙2 海水ポンプ室と原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の最大加速度応答の比較」に示す。

耐震評価で用いる海水ポンプ室の最大加速度分布図を図5-2に、最大加速度を表5-7に、設計震度を表5-8に示す。

表5-6 海水ポンプ室の地震応答解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ : ヤング係数)	地盤物性	
		盛土, 旧表土, 改良地盤, $D$ 級岩盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	$C_L$ 級岩盤, $C_M$ 級岩盤, $C_H$ 級岩盤, $B$ 級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+ $1\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値- $1\sigma$	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記\*: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

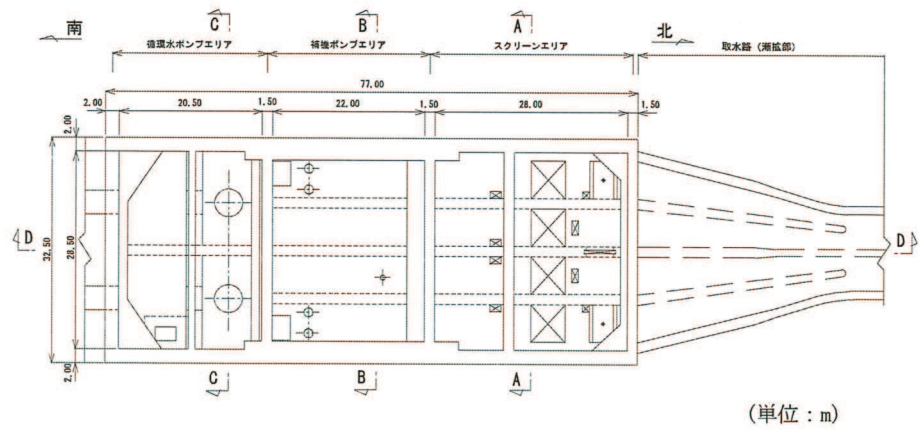


図 5-1 (1) 海水ポンプ室平面図

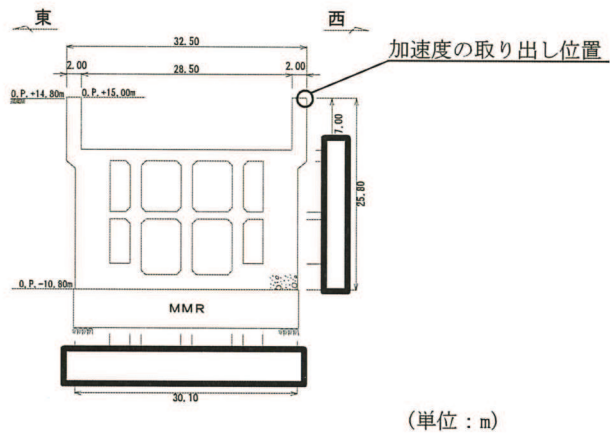


図 5-1 (2) 海水ポンプ室断面図 (スクリーンエリア) (A-A 断面)

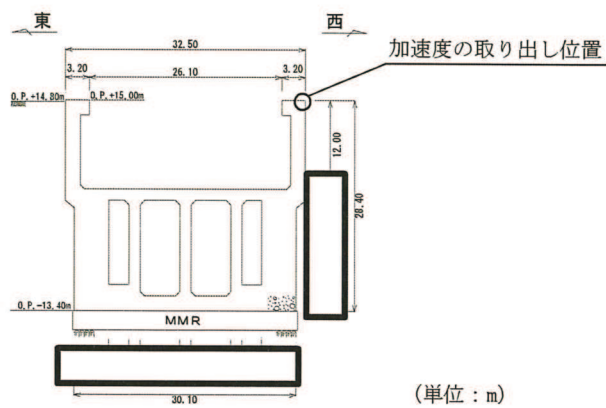
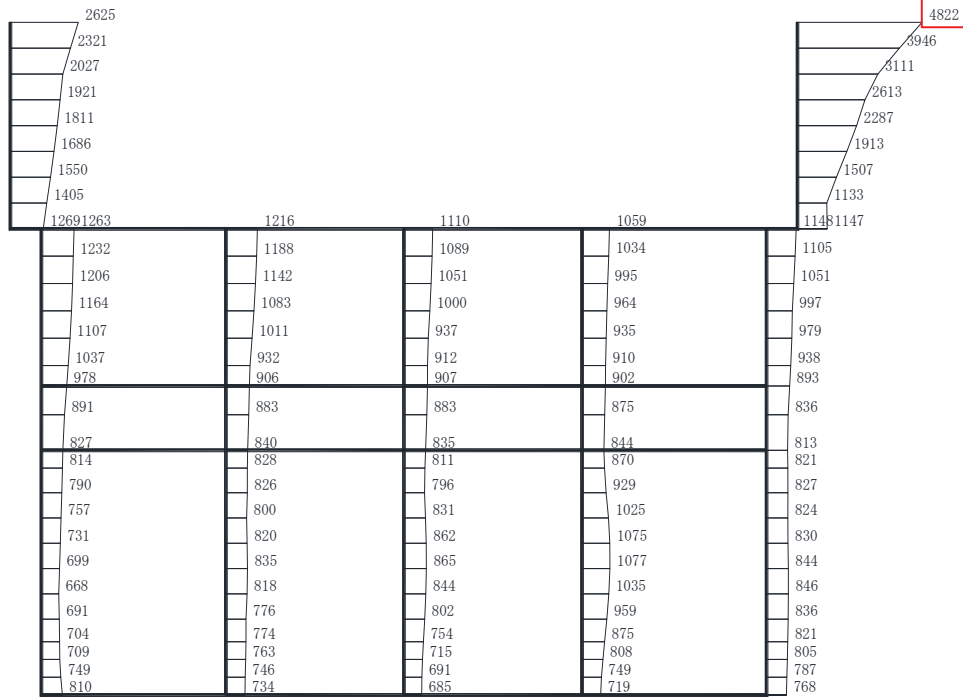


図 5-1 (3) 海水ポンプ室断面図 (補機ポンプエリア) (B-B 断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

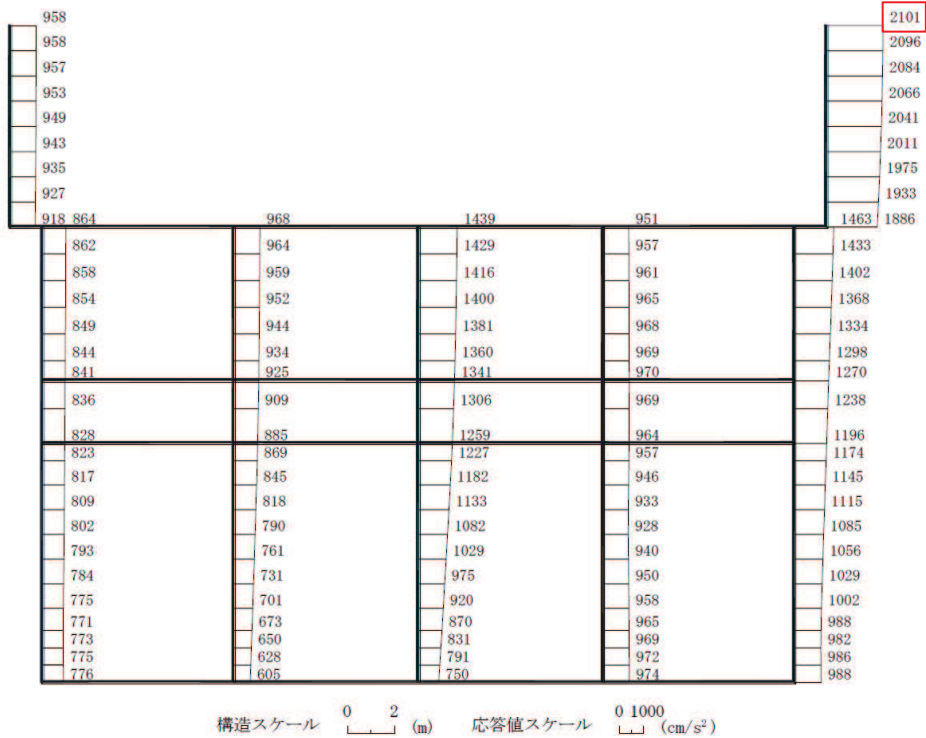
□ : 耐震評価に用いる最大加速度



(スクリーンエリア (東西方向), S s - D 1 (++) , 解析ケース②)

図 5-2 (1) 最大加速度分布図 (水平方向)

□ : 耐震評価に用いる最大加速度



(スクリーンエリア (東西方向), S s - N 1 (++) , 解析ケース④)

図 5-2 (2) 最大加速度分布図 (鉛直方向)



表 5-7 (1) 最大加速度 (水平方向)

地震時荷重算出断面	地震動	位相	解析ケース	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
スクリーンエリア (東西方向)	S s - D 1	++	ケース②	4822

表 5-8 (2) 最大加速度 (鉛直方向)

地震時荷重算出断面	地震動	位相	解析ケース	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
スクリーンエリア (東西方向)	S s - N 1	++	ケース④	2101

表 5-8 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S s の設計震度	
		水平方向 k <sub>H</sub>	鉛直方向 k <sub>v</sub>
揚水井戸 (第 2 号 機海水ポンプ室防 潮壁区画内)	O.P. 14.0	4.92	2.15

## 5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。主桁については、スキンプレートからの荷重を主で負担する主桁（受け部）と固定ボルトで躯体と固定する主桁（戸当り部）の評価を実施する。主桁（受け部）の評価は、評価上最も厳しい条件となる断面で実施する。主桁（戸当り部）については、スキンプレートに上向きの荷重が作用する場合の主桁と固定ボルトの偏心荷重の影響について評価を実施する。図5-3に評価の対象とする主桁を示す。スキンプレートについては、評価上最も厳しい条件となる断面で評価を実施する。図5-4に評価の対象とするスキンプレートを示す。また、図5-5に固定ボルトの納まりを示す。

### 5.5.1 主桁

#### (1) 主桁（受部）

主桁（受部）の支持条件は両端をピン支持とし、図5-3に示すとおり、主桁（受部）が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

#### (a) 基準地震動 $S_s$ による地震荷重 $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_v$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

#### (b) 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s s'}$

$$W_{s s'} = (G + S_s + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 $W_{s s'}$  : 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)  
 $G$  : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $L_1$  : 主桁（受部）の負担幅 (mm)  
 $A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

(c) 主桁 (受部) に作用する最大せん断応力度  $\tau$

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

$\tau$  : 主桁 (受部) に作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q$  : 主桁 (受部) に作用する最大せん断力 (kN)

$A_s$  : 主桁 (受部) のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

ここで,  $Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

$Q$  : 主桁に作用する最大せん断力 (kN)

$W_{s s'}$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_2$  : 主桁 (受部) 全長 (mm)

(d) 主桁 (受部) に作用する最大曲げ応力度  $\sigma$

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

$\sigma$  : 主桁 (受部) に作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : 主桁 (受部) に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$Z$  : 主桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

ここで,  $M = 1/8 \cdot W_{s s'} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$

$M$  : 主桁 (受部) に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$W_{s s'}$  : 主桁 (受部) に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_2$  : 主桁 (受部) 全長 (mm)

(e) 主桁 (受部) に作用する組合せ応力度

主桁 (受部) に作用する曲げ応力度, せん断応力度を算定し, 主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また, 主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から, 組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し, 短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで,  $x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

## (2) 主桁（戸当り部）

図 5-3 に示すとおり，スキンプレートに上向きの荷重が作用する場合の主桁（戸当り部）と固定ボルトの偏心荷重の影響について，支持条件を片持ち梁として評価を実施する。

### (a) 基準地震動 $S_s$ による地震荷重 $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで， $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_v$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

### (b) 主桁（戸当り部）に作用する最大曲げ応力度 $\sigma$

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

$\sigma$  : 主桁（戸当り部）に作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $M$  : 主桁（戸当り部）に作用する最大曲げモーメント (kN・m)  
 $Z$  : 主桁（戸当り部）の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$$\text{ここで， } M = T_d \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

$$Z = (B \cdot t_b) / 6$$

$M$  : 主桁（戸当り部）に作用する最大曲げモーメント (kN・m)  
 $T_d$  : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)  
 $L_4$  : 固定ボルト中心位置から主桁（戸当り部）中心位置までの距離 (mm)  
 $B$  : 主桁（戸当り部）下フランジの有効幅 (mm)  
 $t_b$  : 主桁（戸当り部）下フランジの厚さ (mm)

### (c) 主桁（戸当り部）に作用する最大せん断応力度 $\tau$

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

$\tau$  : 主桁（戸当り部）に作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $Q$  : 主桁（戸当り部）に作用する最大せん断力 (kN)  
 $A_s$  : 主桁（戸当り部）のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

$$\text{ここで， } Q = T_d$$

$T_d$  : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

(d) 主桁（戸当り部）に作用する組合せ応力度

主桁（戸当り部）に作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また，主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、  
x : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
σ : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
τ : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

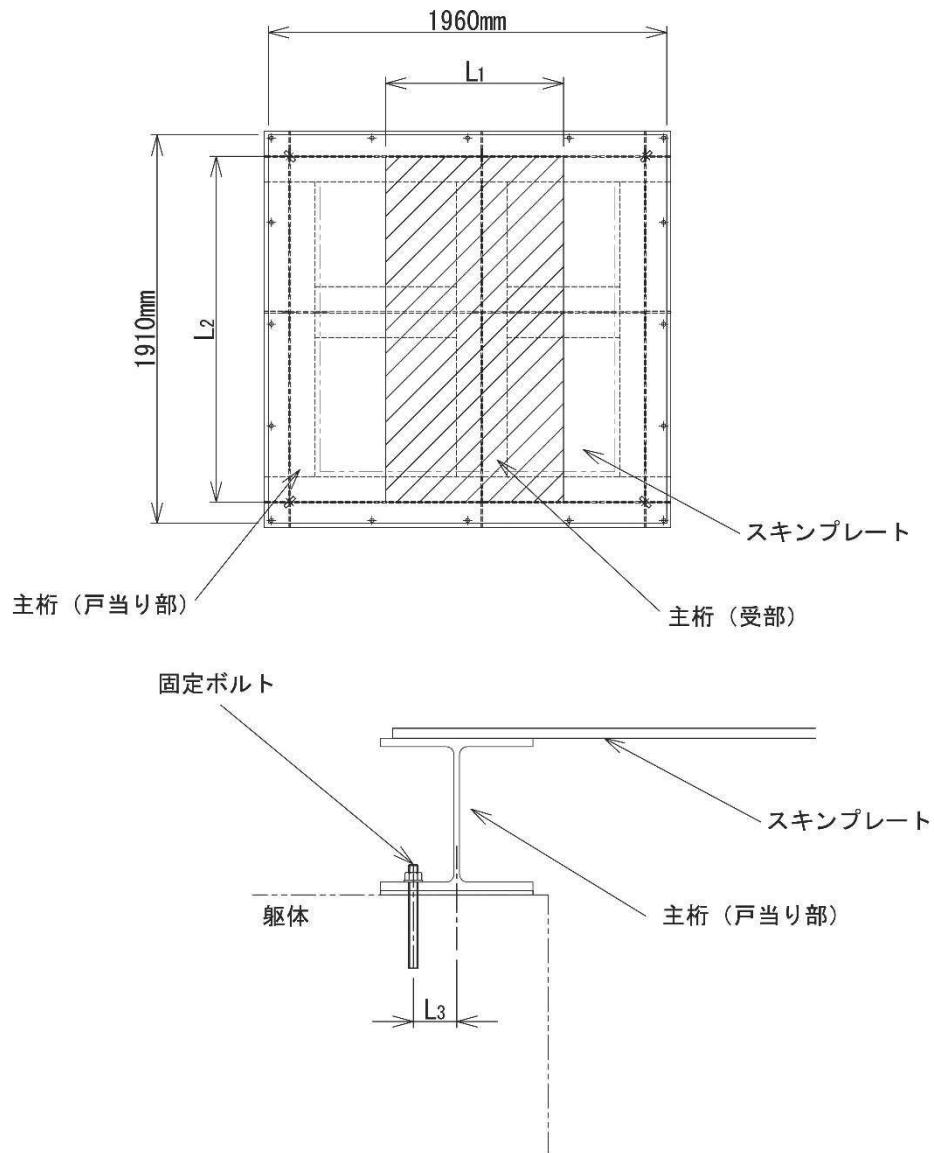


図 5-3 評価の対象とする主桁

### 5.5.2 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 5-4 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力度及びせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

#### (1) 基準地震動 $S_s$ による地震荷重 $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_v$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

#### (2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重 $W_{ss}$

$$W_{ss} = (G + S_s + P_s) / A$$

ここで、 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

#### (3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 $\sigma$

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_5^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 $\sigma$  : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\beta_2$  : スキンプレートの辺長比に応じた係数  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $L_5$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度  $\tau$

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_4 \cdot L_5 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_3 + L_4) \cdot 2)$$

- ここで、  $\tau$  : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $L_4$  : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)  
 $L_5$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ここで、  $x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

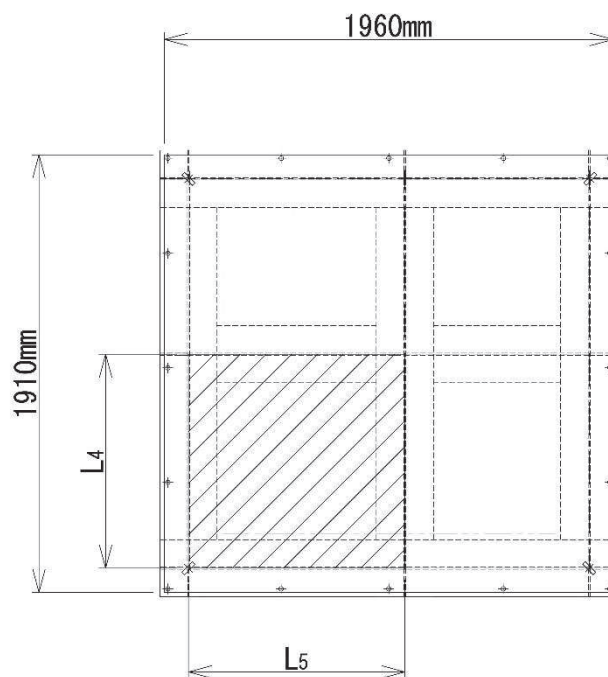


図 5-4 評価の対象とするスキンプレート



### 5.5.3 固定ボルト

- (1) 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)  
 $G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_H$  : 基準地震動  $S_s$  の水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)  
 $G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_V$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルトに作用する引張力  $T_d$

$$T_d = S_s / N$$

ここで、 $T_d$  : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)  
 $N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

- (4) 固定ボルトに作用するせん断力  $q$

$$q = S_s / N$$

ここで、 $q$  : 固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)  
 $N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

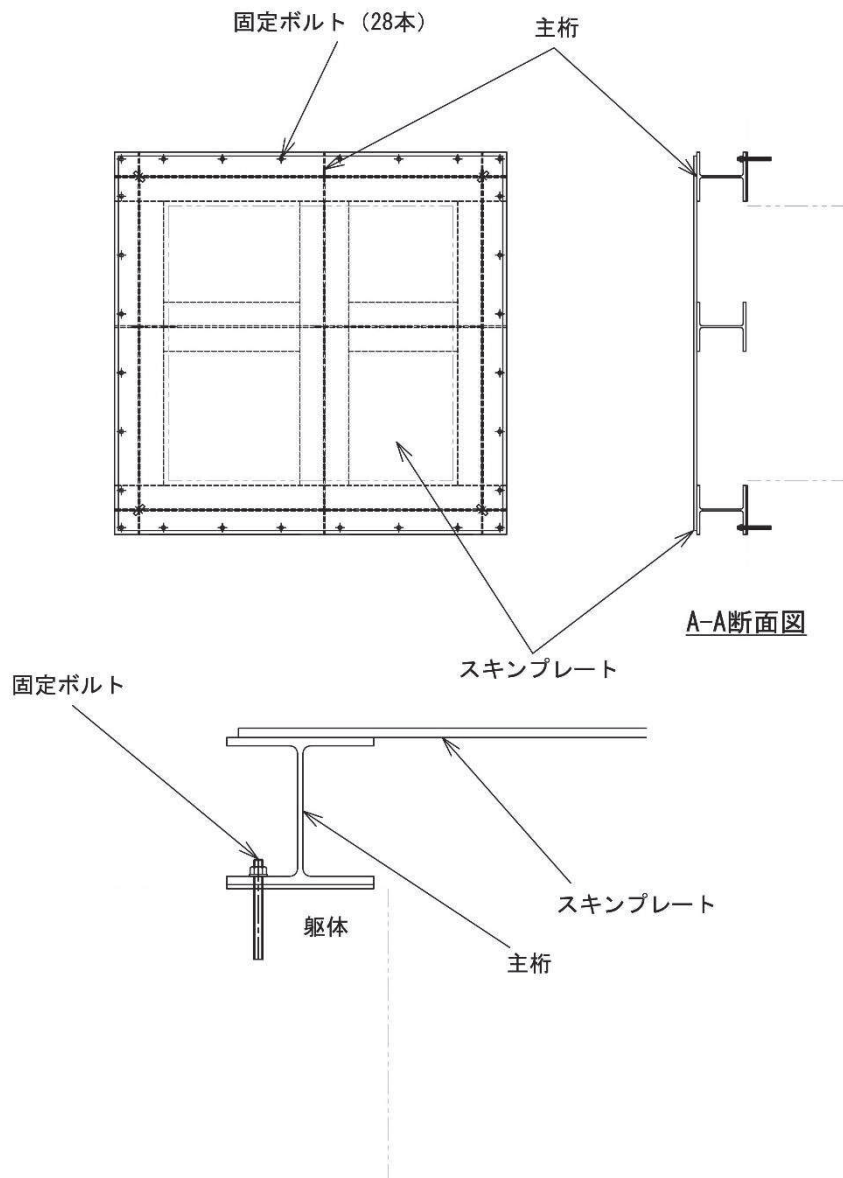


図 5-5 固定ボルトの納まり

#### 5.5.4 ハッチ固定部

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図 5-6 に、荷重算定式を図 5-7 に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については、スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。なお、ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価については、「別紙 1 ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価」に示す。

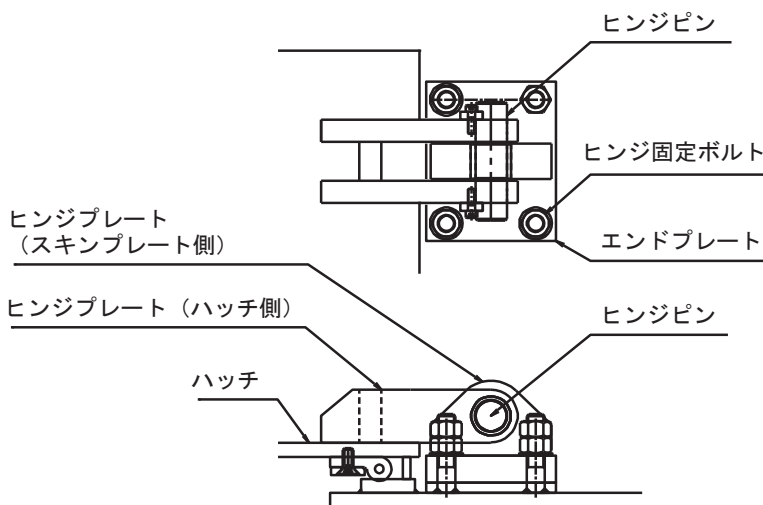


図 5-6 (1) ヒンジ部の構造概要

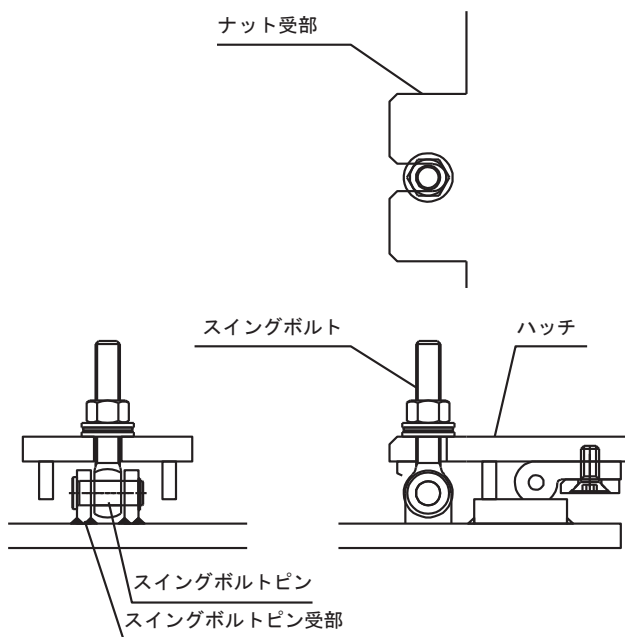
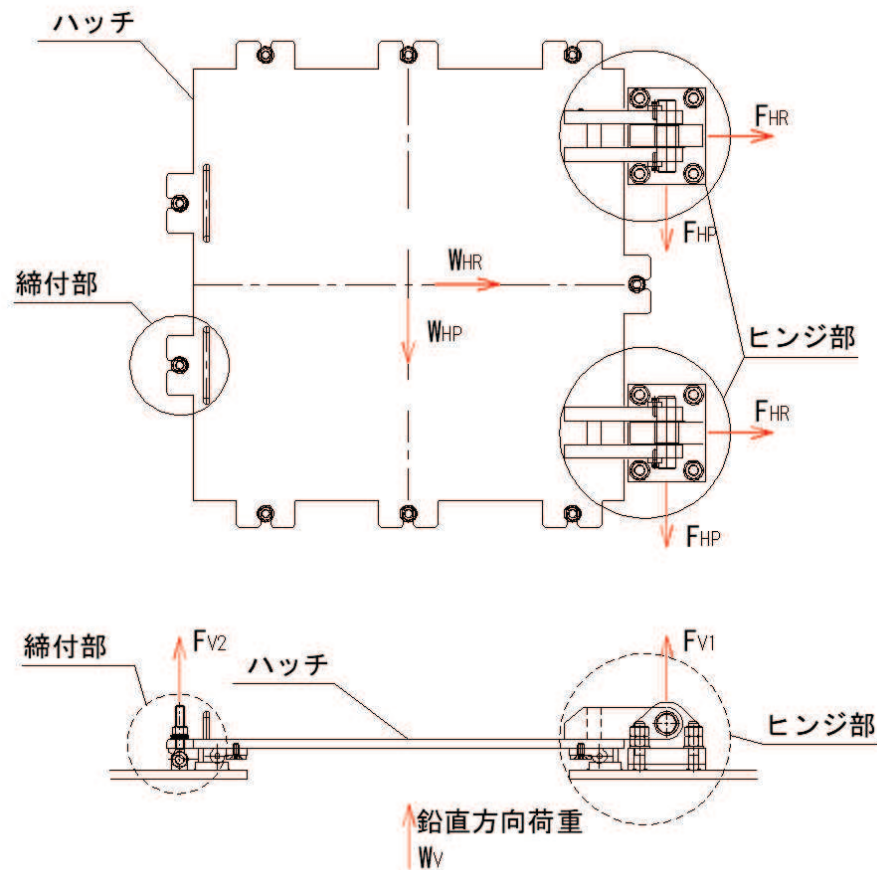


図 5-6 (2) 締付部の構造概要



$$W_{HR} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_{HP} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_V = (G + P_s) + (G + P_s) \cdot k_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{V1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{V2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

- $W_{HR}$  : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $W_{HP}$  : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $W_V$  : 鉛直荷重 (kN)
- $W_R$  : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- $L_c$  : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- $L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- $G$  : ハッチの固定荷重 (kN)
- $P_s$  : 積雪荷重 (kN)
- $k_H$  : 基準地震動  $S_s$  の水平方向の設計震度
- $k_V$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度
- $F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{V2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

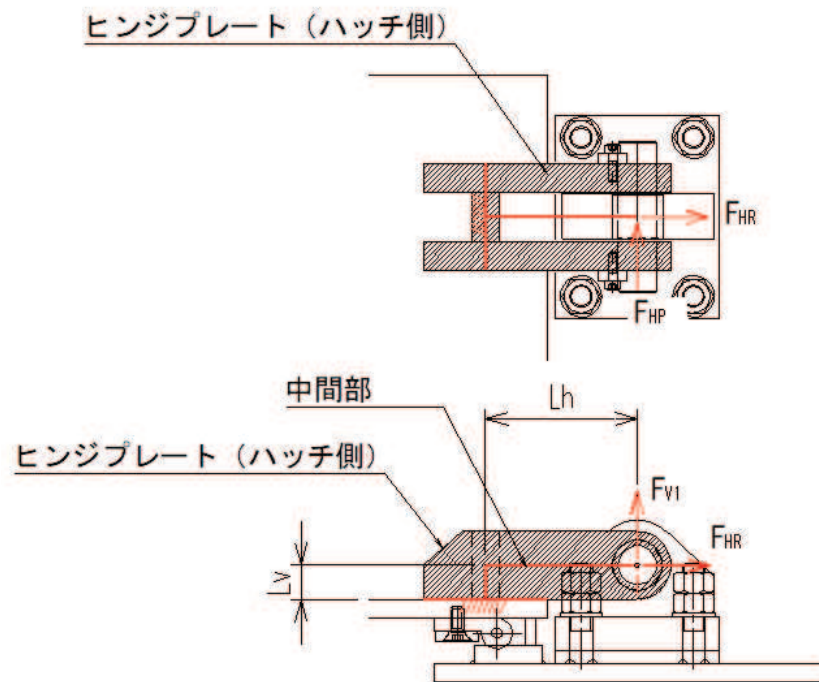
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$  : 分担率

$$(\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.5, \alpha_3=0.1, \beta=0.1)$$

図 5-7 ハッチの構造概要及び荷重算定式

#### 5.5.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図5-8に示す。



#### ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

$\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bV1}$  : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_v$  : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

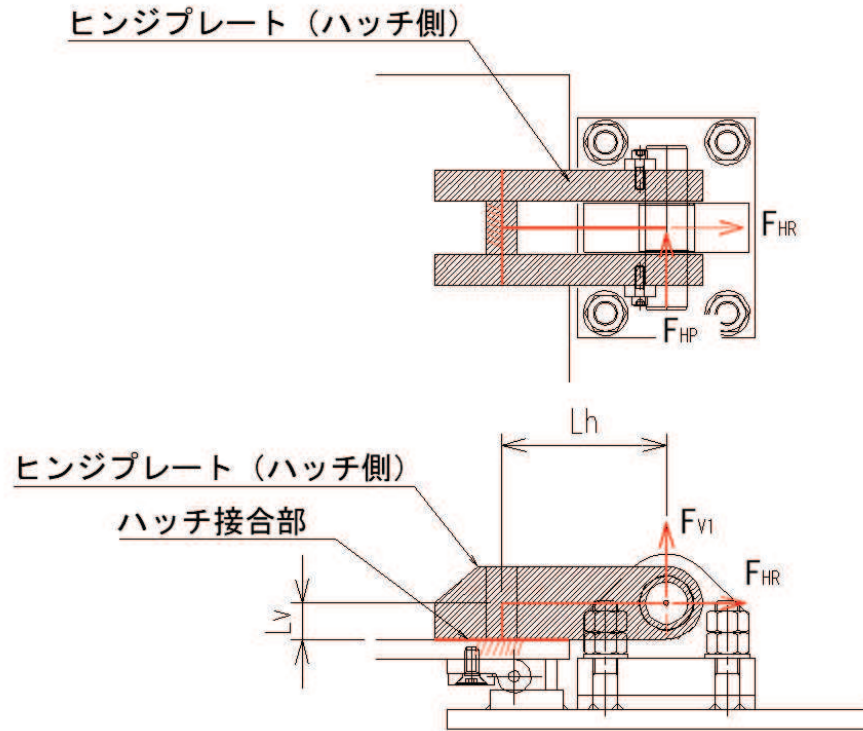
$L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

$Z_1$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm<sup>3</sup>)

$Z_2$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm<sup>3</sup>)

$A_1$  : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

図5-8 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP} \quad \text{ここで,}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$$

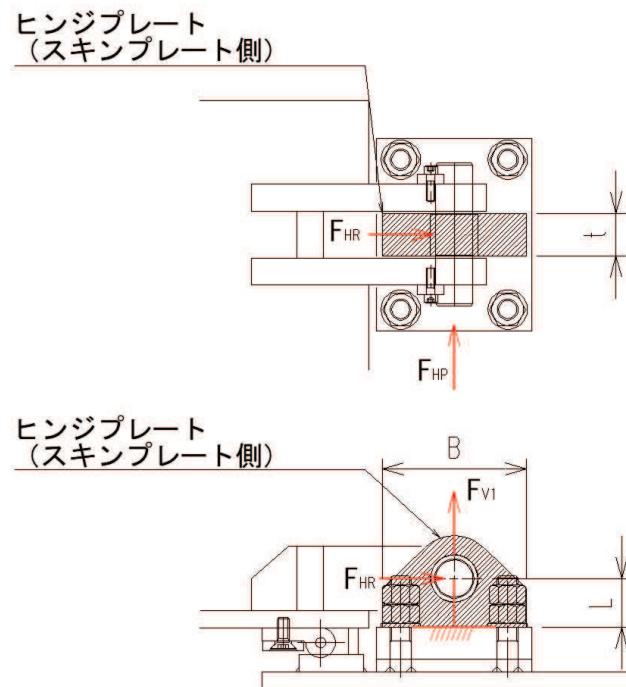
$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- $\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bR}$  : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bV1}$  : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_R$  : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_{PX}$  : 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- $L_v$  : ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
- $Z_3$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm<sup>3</sup>)
- $Z_4$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm<sup>3</sup>)
- $Z_p$  : 極断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $A_2$  : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

図5-8 (2) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

#### 5.5.4.2 ヒンジプレート (スキンプレート側)

ヒンジプレート (スキンプレート側) のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度、せん断応力度、合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート (スキンプレート側) のモデル図及び応力算定式を図 5-9 に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

$\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bR}$  : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_R$  : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$L$  : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

$Z_1$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$Z_2$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A$  : ヒンジプレート (スキンプレート側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

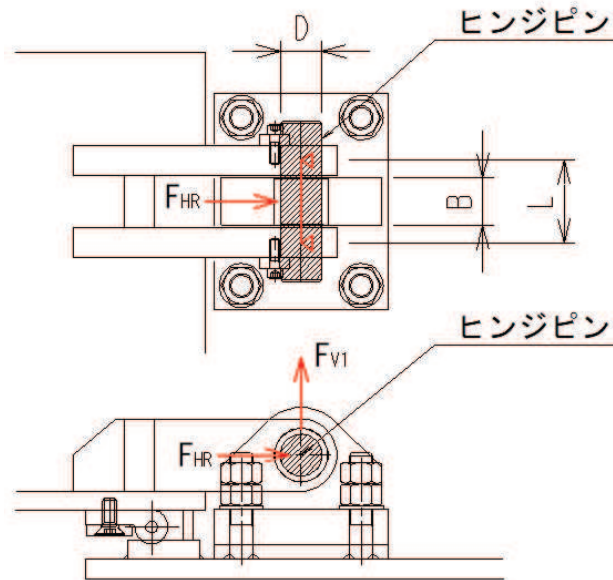
$B$  : ヒンジプレート幅 (mm)

$t$  : ヒンジプレート板厚 (mm)

図 5-9 ヒンジプレート (スキンプレート側) のモデル図及び応力算定式

### 5.5.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図5-10に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : ヒンジ支点間距離 (mm)

$B$  : 荷重の載荷長 (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A$  : ヒンジピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)

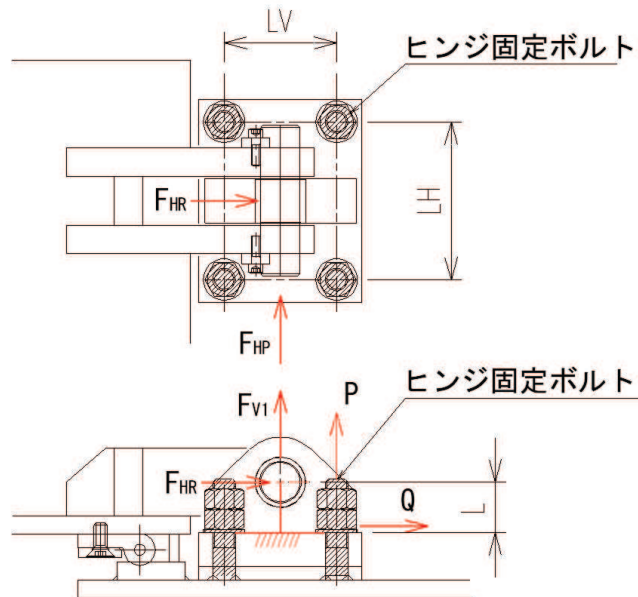
$D$  : ヒンジピンの直径 (mm)

図5-10 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式



#### 5.5.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図5-11に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : ボルト引張力 (kN)

$P_R$  : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

$P_P$  : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

$P_V$  : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

$Q$  : ボルトせん断力 (kN)

$Q_R$  : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

$Q_P$  : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : ヒンジ基部ーピン穴間距離 (mm)

$L_V$  : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

$L_H$  : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

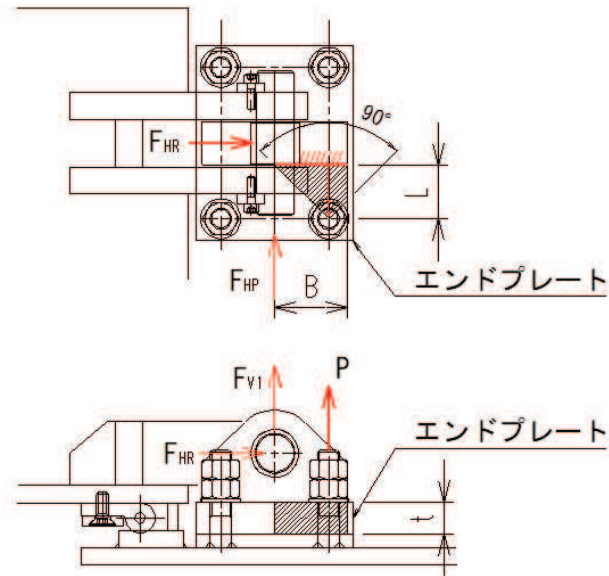
$N_H$  : 回転軸平行方向のボルト本数

$N_V$  : 回転軸直角方向のボルト本数

図5-11 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図5-12に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{VI} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : ボルト引張力 (kN)

$P_R$  : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

$P_P$  : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

$P_V$  : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : 有効断面幅 (mm)

$A$  : エンドプレートの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

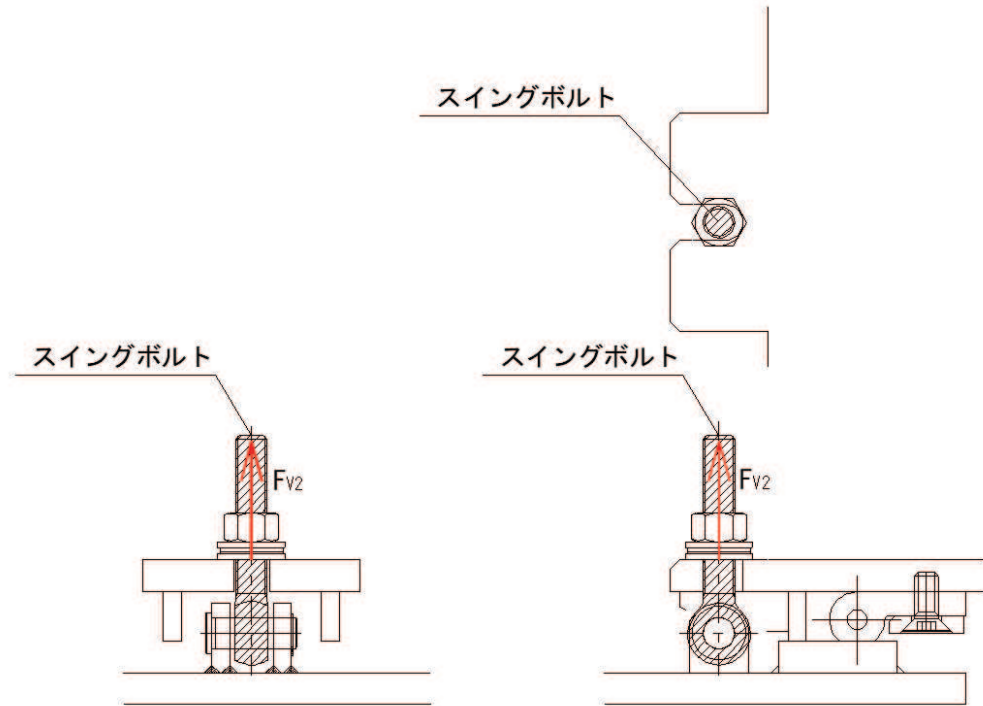
$L$  : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)

$t$  : エンドプレートの板厚 (mm)

図5-12 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図5-13に示す



$$\sigma = F_{v2} / A$$

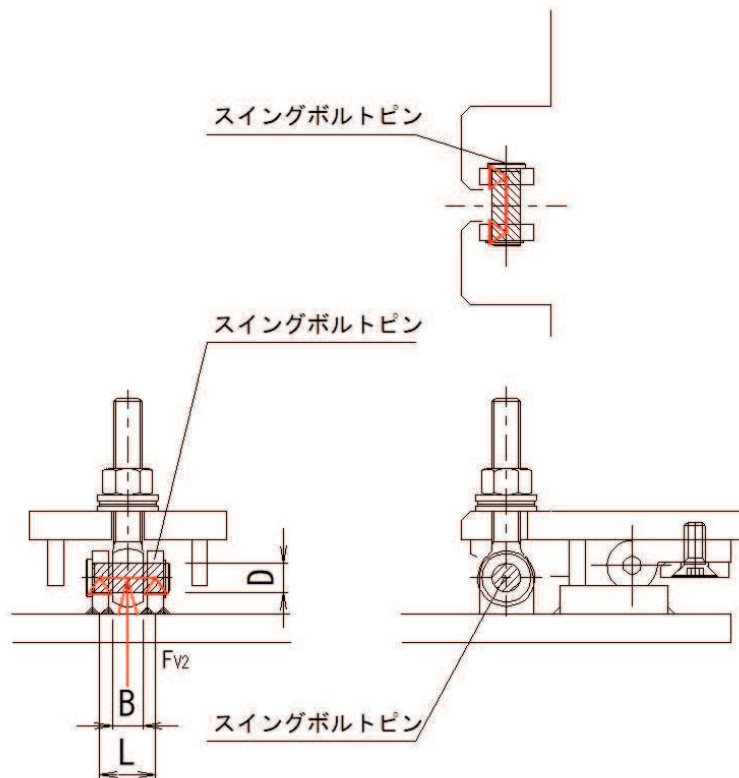
ここで、

- $\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $A$  : スイングボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

図5-13 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 5-14 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

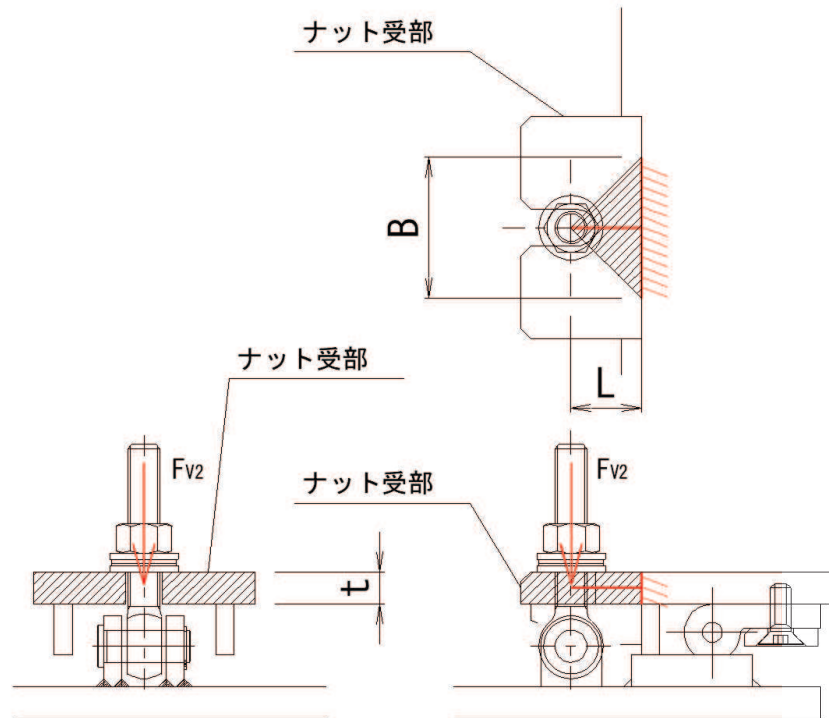
ここで，

- $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $L$  : ヒンジ支点間距離 (mm)
- $B$  : 荷重の载荷長 (mm)
- $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $A$  : スイングボルトピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $D$  : ピンの直径 (mm)

図 5-14 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受金具のモデル図及び応力算定式を図5-15に示す



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : 腕長さ (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : 有効断面幅 (mm)

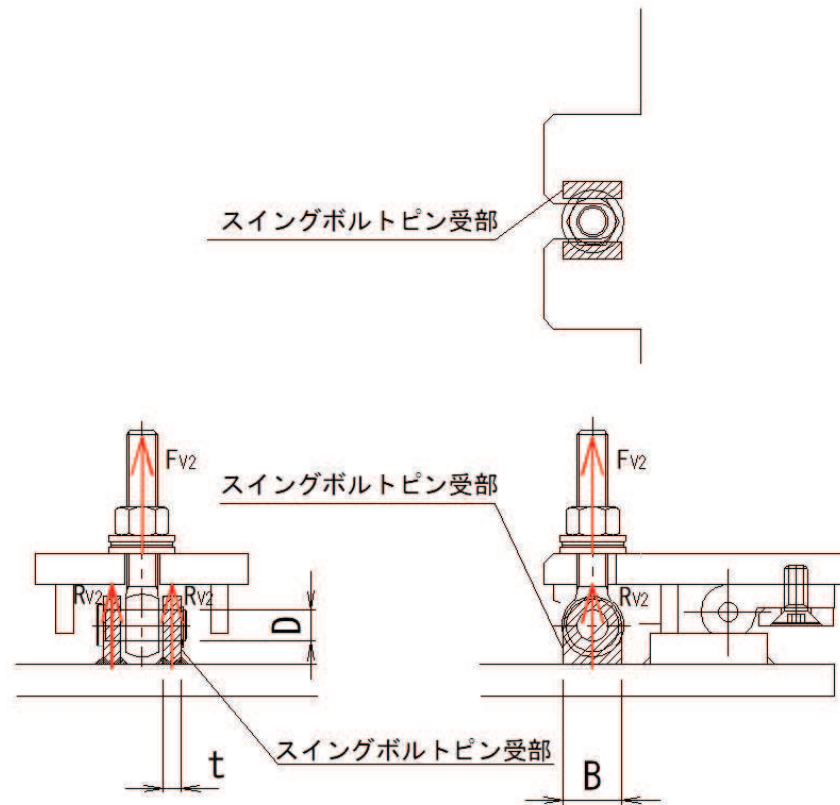
$A$  : ナット受部の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$t$  : ナット受部の板厚 (mm)

図5-15 ナット受部のモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 5-16 に示す



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- $\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $R_{v2}$  : スイングボルトピン受金具が負担する縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{v2}$  : 縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $A$  : スイングボルトピン受部の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $B$  : スイングボルトピン受部の幅 (mm<sup>2</sup>)
- $t$  : スイングボルトピン受部の板厚 (mm<sup>2</sup>)

図 5-16 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

## 5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表5-9に示す。

表5-9 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
主桁 (受け部)	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	13.30
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	1.13
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	3.74
	L <sub>1</sub>	mm	主桁 (受部) の負担幅	875
	L <sub>2</sub>	mm	主桁 (受部) 全長	1700
	A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	主桁 (受部) のせん断断面積	1998
	Z	mm <sup>3</sup>	主桁 (受部) の断面係数	8.46×10 <sup>5</sup>
主桁 (戸当り部)	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	13.30
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	1.13
	L <sub>3</sub>	mm	固定ボルト中心位置から主桁 (戸当り部) 中心位置までの距離	90
	B	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの有効幅 (mm)	171
	t <sub>b</sub>	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの厚さ	14
スキン プレート	G	kN	スキンプレートの固定荷重	6.61
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	1.13
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	3.74
	L <sub>3</sub>	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	945
	L <sub>4</sub>	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	935
	β <sub>2</sub>	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレートの厚さ	16
固定 ボルト	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	13.30
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	1.13
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	28

表 5-9 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_v$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_h$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_h$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_v$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2



表 5-9 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	2.42
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.31
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160
スイングボルト	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	157
スイングボルトピン	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	402
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	201
ナット受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	121.50

表 5-9 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_v$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_h$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_h$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_v$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-9 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	4.22
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	1.73
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.31
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160
スイングボルト	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	157
スイングボルトピン	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	402
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	201
ナット受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	121.50

## 6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 (1) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁 (受け部)	曲げ	5	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	10	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
主桁 (戸当り部)	曲げ	180	N/mm <sup>2</sup>	0.56 < 1.0	N/mm <sup>2</sup>	0.56 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	181	N/mm <sup>2</sup>	0.56 < 1.0	N/mm <sup>2</sup>	0.56 < 1.0
スキンプレート	曲げ	9	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	10	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
固定ボルト	引張	1.2	kN	0.04 < 1.0	kN	0.04 < 1.0
	せん断	2.6	kN	0.08 < 1.0	kN	0.08 < 1.0
	組合せ	—		—		0.01 < 1.0

表 6-1 (2) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	7	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	7	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	6	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	5	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	19	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	せん断	4	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	21	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	12	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	10	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	組合せ	21	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
エンドプレート	曲げ	11	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	11	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
スイングボルト	引張	8	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	17	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	せん断	4	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	18	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
ナット受部	曲げ	15	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	15	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	6	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0

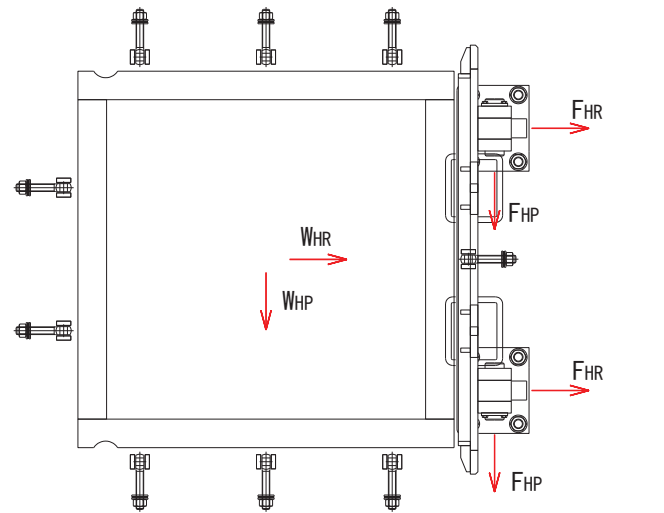
表 6-1 (3) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	23	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
	せん断	4	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	24	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	10	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	せん断	28	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.19 < 1.0
	組合せ	50	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.18 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	21	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	23	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	33	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.13 < 1.0
	せん断	7	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	組合せ	35	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.13 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	26	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
	せん断	20	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
	組合せ	43	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.15 < 1.0
エンドプレート	曲げ	25	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	25	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
スイングボルト	引張	8	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	17	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	せん断	4	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	18	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
ナット受部	曲げ	15	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	15	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	6	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0

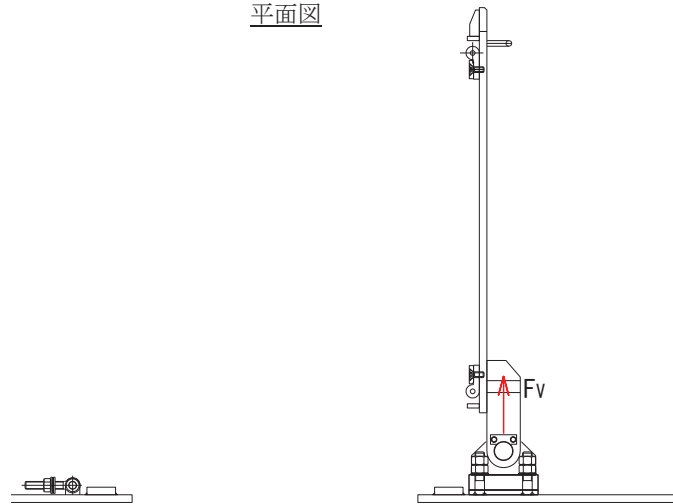
## (別紙1) ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価

### 1. 概要

ハッチ開放時におけるヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）について評価を行う。ハッチ開放時の荷重算定式を図 1 に示す。なお，各部材のモデル及び応力算定式については，本文「5.5.4 ハッチ」に示すとおりである。



平面図



鉛直方向荷重  
W<sub>V</sub>

断面図（開放時）

$$W_{HR} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_{HP} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_V = (G + P_s) + (G + P_s) \cdot k_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{V1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{V2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

- $W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$
- $W_{HR}$  : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $W_{HP}$  : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $W_V$  : 鉛直荷重 (kN)
- $W_R$  : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- $L_c$  : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- $L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- $G$  : ハッチの固定荷重 (kN)
- $P_s$  : 積雪荷重 (kN)
- $k_H$  : 基準地震動  $S_s$  の水平方向の設計震度
- $k_V$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度
- $F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{V2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  : 分担率 ( $\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.5, \alpha_3=0.1$ )

図1 ハッチ開放時の構造概要及び荷重算定式



## 2. 各部材の評価

ヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）のモデル及び応力算定式については，本文「5.5.4 ハッチ」に示すとおりである。

### 3. 評価条件

各部材の耐震評価に用いる入力値を表1に示す。

表1 (1) ヒンジ部の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.92
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	3.15
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
	$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.92
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.92
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	3.15
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257

表 1 (2) ヒンジ部の耐震評価に用いる入力値（荷重：回転軸直角方向）（2/2）

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジ 固定 ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重（回転軸直角方向）	4.92
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重（回転軸平行方向）	0
	$F_{V1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	3.15
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_V$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_H$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_H$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_V$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2
エンド プレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	1.23
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.79
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160

表 1 (3) ヒンジ部の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	8.59
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	4.92
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	3.15
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	8.59
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	4.92
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	8.59
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	3.15
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257

表 1 (4) ヒンジ部の耐震評価に用いる入力値（荷重：回転軸平行方向）（2/2）

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジ 固定 ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重（回転軸直角方向）	8.59
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重（回転軸平行方向）	4.92
	$F_{V1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	3.15
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_V$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_H$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_H$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_V$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2
エンド プレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	2.15
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0.88
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.79
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160

#### 4. 評価結果

各部材の耐震評価結果を表2に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表2(1) ヒンジ部の耐震評価結果(荷重:回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	12	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05<1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01<1.0
	組合せ	12	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.05<1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	7	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.03<1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01<1.0
	組合せ	7	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03<1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	3	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02<1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01<1.0
	組合せ	4	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02<1.0
ヒンジピン	曲げ	12	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05<1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02<1.0
	組合せ	13	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.05<1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	9	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04<1.0
	せん断	6	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.04<1.0
	組合せ	12	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.05<1.0
エンドプレート	曲げ	8	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04<1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01<1.0
	組合せ	9	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.04<1.0

表 2 (2) ヒンジ部の耐震評価結果 (荷重 : 回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	21	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	21	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	9	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	せん断	15	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
	組合せ	26	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	11	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	12	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	18	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	せん断	4	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	19	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	16	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	せん断	11	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	組合せ	24	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
エンドプレート	曲げ	15	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	16	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0

(別紙2) 海水ポンプ室と原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の最大加速度応答の比較

1. 概要

浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度について、海水ポンプ室の最大加速度（スクリーンエリアの東西方向及び南北方向のうち、最大加速度が大きいスクリーンエリア（東西方向）を使用）を用いている。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震評価においても、東西方向の最大加速度は海水ポンプ室の地震応答解析結果を用いているが、南西方向について地震応答解析を実施していることから、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の浸水防止蓋設置相当位置における南西方向の最大加速度と比較し、海水ポンプ室の最大加速度を用いることの保守性を確認する。

2. 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の最大加速度抽出位置

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の地震応答解析に用いている解析モデルのうち、浸水防止蓋設置位置相当となる解析モデル及び最大加速度抽出位置を図1に示す。なお、原子炉機器冷却海水配管ダクトの地震応答解析の詳細については、添付書類「VI-2-2-12-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震性についての計算書」に示す。

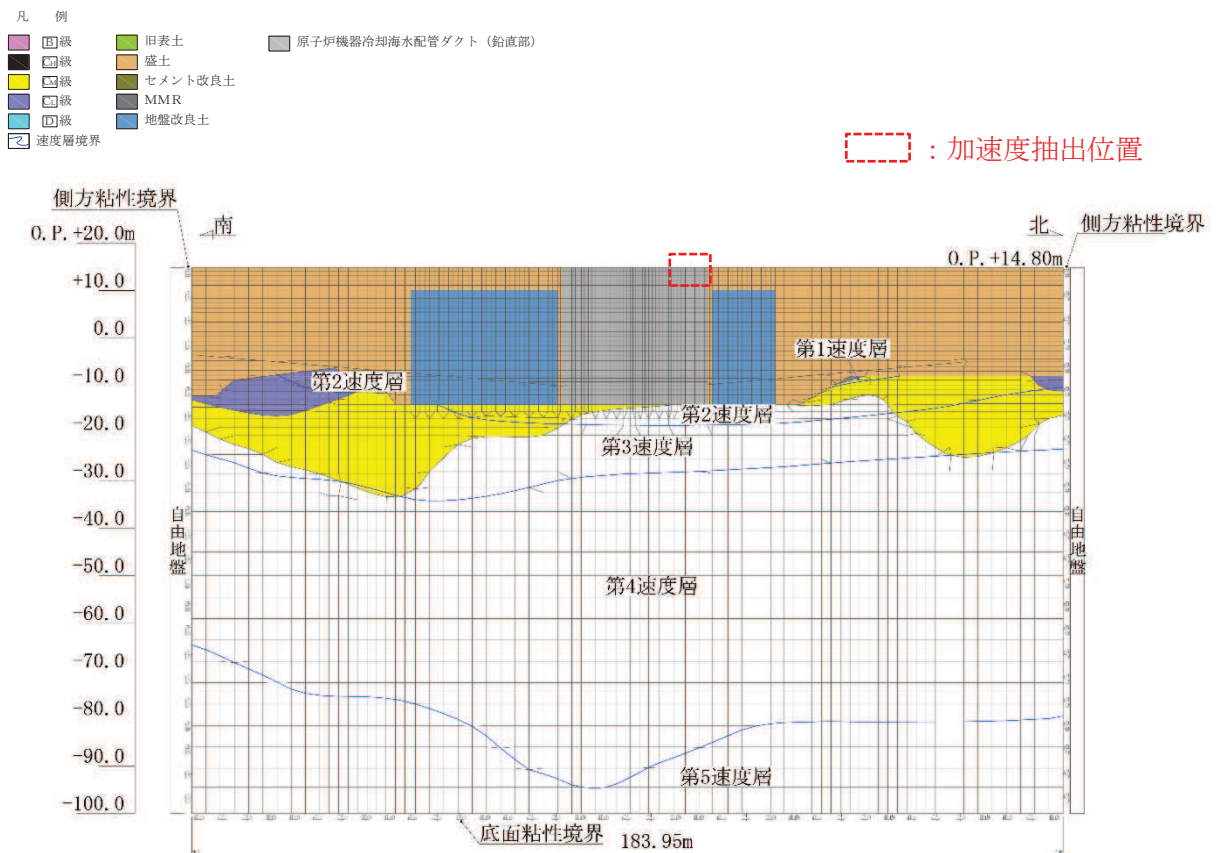


図1 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部） 最大加速度（南西方向）抽出位置



### 3. 最大応答加速度の比較結果

海水ポンプ室と原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の最大加速度の比較結果を表1に示す。

表1より、海水ポンプ室の最大加速度は水平方向及び鉛直方向ともに、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の最大加速度を上回っていることから、浸水防止蓋の耐震評価にて海水ポンプ室の最大加速度を用いることの保守性を確認した。

表1 最大加速度の比較

単位：cm/s<sup>2</sup>

	海水ポンプ室		原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）
	東西方向	南西方向	南西方向
水平方向	4822	1065	878
鉛直方向	2101	898	466

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明
- 6.5.3.8 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）の強度計算書に関する補足説明

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	4
2.3 評価方針	5
2.4 適用基準	6
2.5 記号の説明	7
3. 評価対象部位	12
4. 構造強度評価	14
4.1 構造強度評価方法	14
4.2 荷重及び荷重の組合せ	14
4.3 許容限界	20
4.4 評価方法	25
4.5 評価条件	44
5. 評価結果	49

## 1. 概要

本資料は、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」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内）（以下「浸水防止蓋」という。）が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、主要な構造部材が十分な構造強度を有していることを説明するものである。

なお、浸水防止蓋の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

浸水防止蓋は、揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内）からの浸水を防止するために設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に、流入対策図を図2-2に示す。

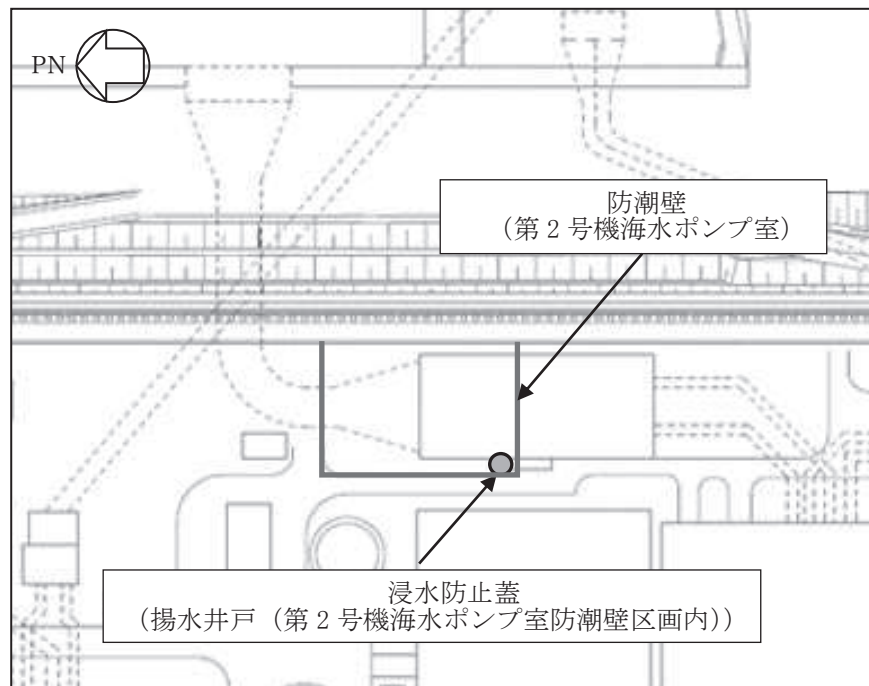


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図

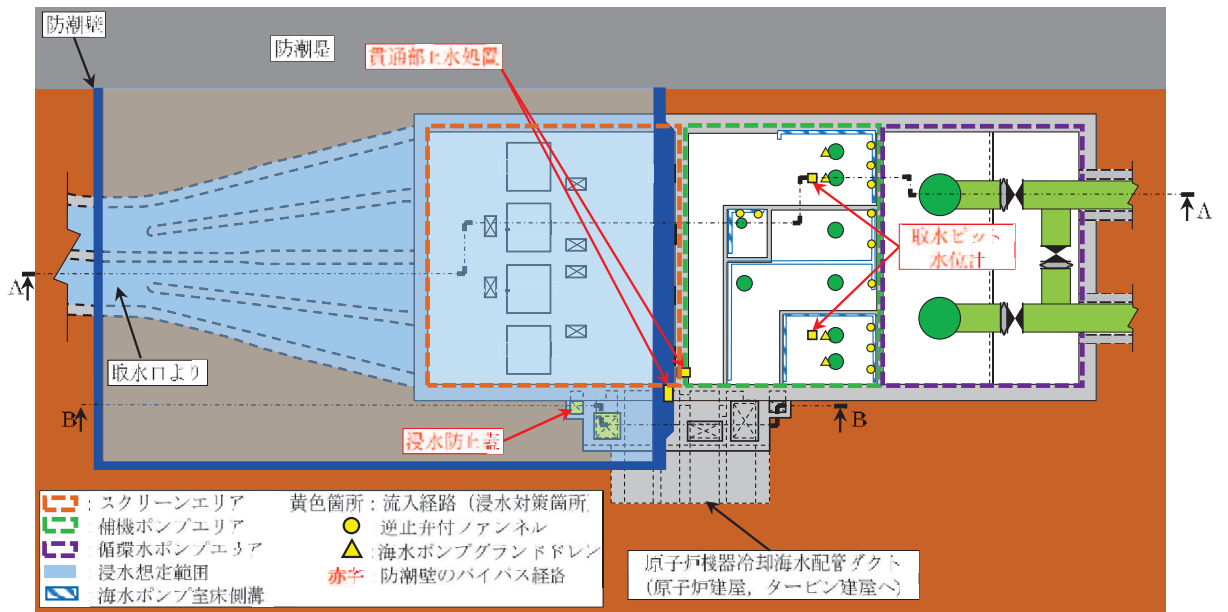


図 2-2 (1) 第 2 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (平面図)

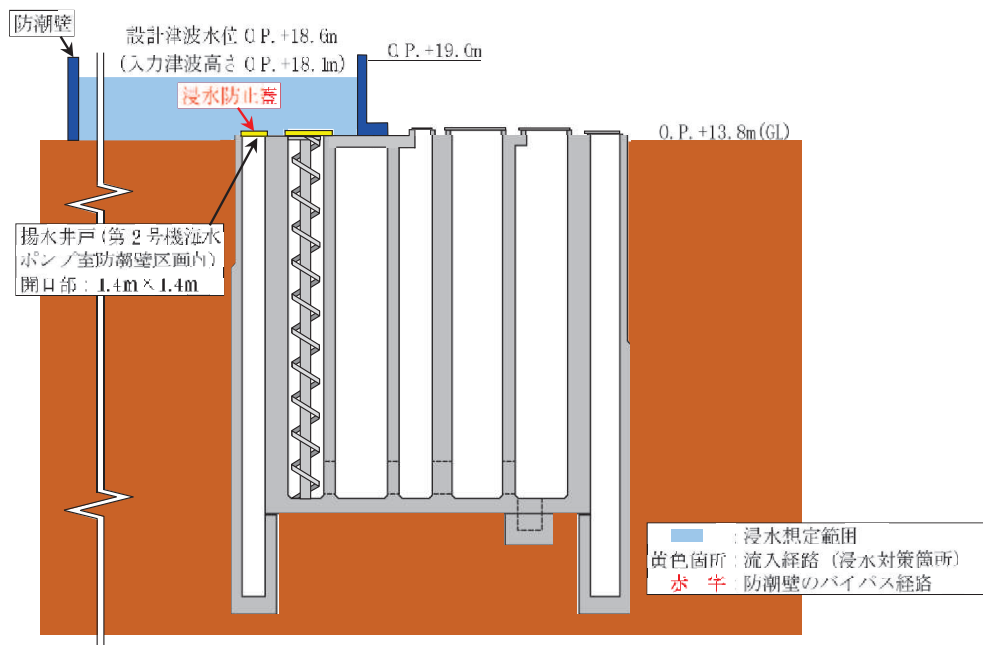


図 2-2 (2) 第 2 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (B-B 断面図)

## 2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形のスキンプレートに主桁（H 型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。

浸水防止蓋は、揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋、ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

### 2.3 評価方針

浸水防止蓋の強度評価は、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」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4.4 評価方法」で算出した応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。強度評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-3 に示す。

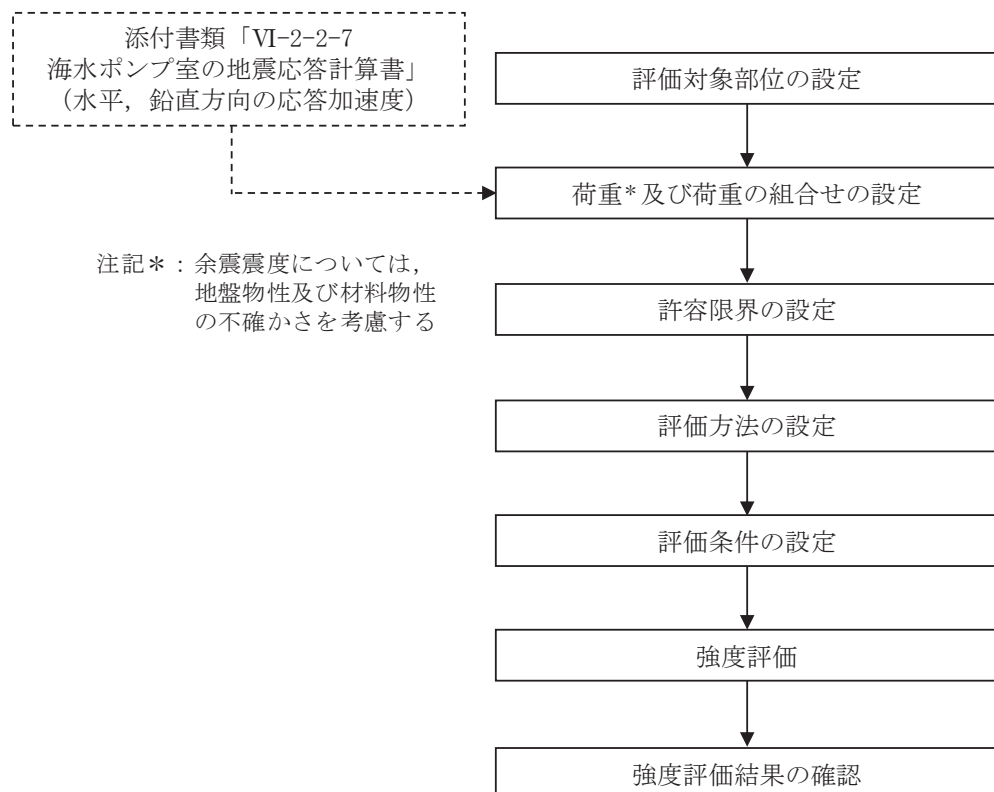


図 2-3 強度評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (4) ダム堰施設技術協会 平成28年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）



## 2.5 記号の説明

浸水防止蓋の強度評価に用いる記号を表 2-2 にそれぞれ示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

記号	単位	定義
$S_d$	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による余震荷重
$\alpha_H$	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向の余震震度
$\alpha_V$	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の鉛直方向の余震震度
$G$	kN	固定荷重
$P_h$	kN	浸水津波荷重
$\rho_o$	t/m <sup>3</sup>	水の密度
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
$h_1$	O. P. m	設計津波水位
$h_2$	O. P. m	浸水防止蓋の設置高さ
$A$	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積
$P_s$	kN	積雪荷重
$W_s$	N/m <sup>2</sup>	1 cm 当りの積雪荷重
$d_s$	cm	積雪高さ
$W_{s s}$	kN/m <sup>2</sup>	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	最大せん断応力度
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	最大曲げ応力度
$Q$	kN	最大せん断力
$M$	kN・m	最大曲げモーメント
$x$	N/mm <sup>2</sup>	組合せ応力度
$A_s$	mm <sup>2</sup>	せん断断面積
$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
$L_1$	mm	主桁の負担幅
$L_2$	mm	主桁全長
$L_3$	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
$L_4$	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
$\beta_2$	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数
$t$	mm	スキンプレートの厚さ
$N$	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
$T_d$	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
$q$	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	$W_{HR}$	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	$W_{HP}$	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	$W_V$	kN	鉛直荷重
	$W_R$	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	$k_H$	—	基準地震動 $S_s$ の水平方向の設計震度
	$k_V$	—	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度
	$G$	kN	ハッチの固定荷重
	$P_s$	kN	積雪荷重
	$L_c$	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離
	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
	$F_{v2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重
ヒンジプレート (ハッチ側)	$\sigma_N$	N/mm <sup>2</sup>	軸方向引張応力度
	$\sigma_{bR}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bP}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bV1}$	N/mm <sup>2</sup>	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	$\tau_R$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	$\tau_P$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	$\tau_v$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	$\tau_{PX}$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$\alpha$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	$Z_D$	mm <sup>3</sup>	極断面係数
$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$\sigma_N$	N/mm <sup>2</sup>	軸方向引張応力度
	$\sigma_{bR}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bP}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	$\tau_R$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	$\tau_P$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積
	$B$	mm	ヒンジプレート幅
$t$	Mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離
	$B$	mm	荷重の載荷長
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
	$A$	mm <sup>2</sup>	ヒンジピンの断面積
$D$	mm	ヒンジピンの直径	

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P <sub>R</sub>	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P <sub>P</sub>	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P <sub>V</sub>	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Q	kN	ボルトせん断力
	Q <sub>R</sub>	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	Q <sub>P</sub>	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	L <sub>V</sub>	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	L <sub>H</sub>	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	N <sub>H</sub>	本	回転軸平行方向のボルト本数
N <sub>V</sub>	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P <sub>R</sub>	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P <sub>P</sub>	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P <sub>V</sub>	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm <sup>2</sup>	エンドプレートの有効断面積
	L	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
t	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイングボルト	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	A	mm <sup>2</sup>	断面積
スイングボルトピン	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	x	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	A	mm <sup>2</sup>	スイングボルトピンの断面積
	D	mm	スイングボルトピンの直径
ナット受部	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	x	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	F <sub>v2</sub>	kN	締付部に作用する鉛直荷重
	L	mm	腕長さ
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm <sup>2</sup>	ナット受部の有効断面積
スイングボルトピン受部	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	R <sub>v2</sub>	kN	スイングボルトピン受金具が負担する締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm <sup>2</sup>	スイングボルトピン受部の断面積
	B	mm	スイングボルトピン受部の幅
	t	mm	スイングボルトピン受部の板厚

### 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、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。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、津波荷重及び余震荷重に伴う慣性力がスキンプレート、主桁に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、主桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。

浸水防止蓋のハッチ部の運用について、原則閉止運用とするとともに、定期点検時等により開状態となる場合においても速やかに閉操作できる人員を、ハッチ付近に待機させる運用とすることから（詳細は、「6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明 参考資料1 浸水防止蓋の開閉運用について」に示す。）、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、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。

浸水防止蓋の評価対象部位を、図3-1に示す。

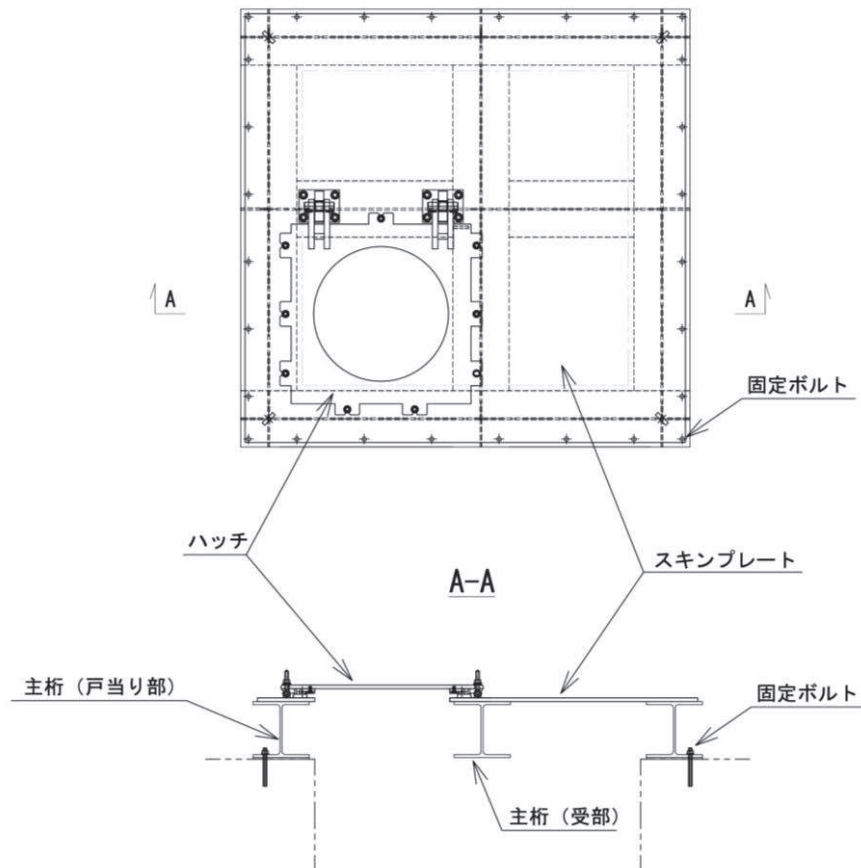
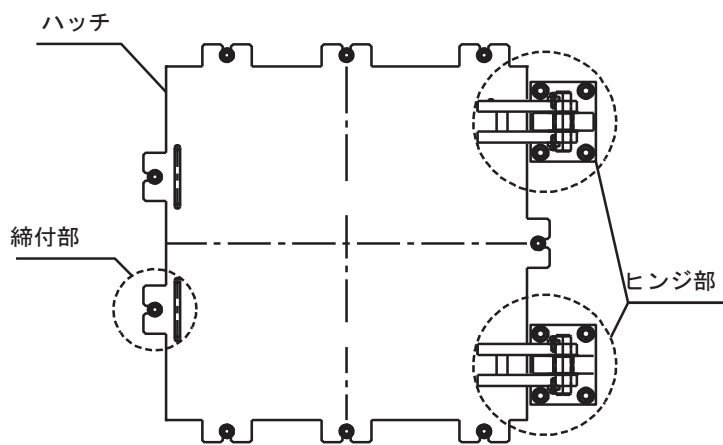
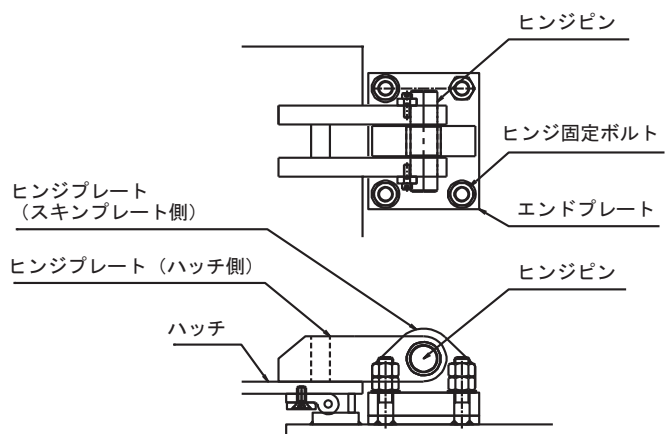


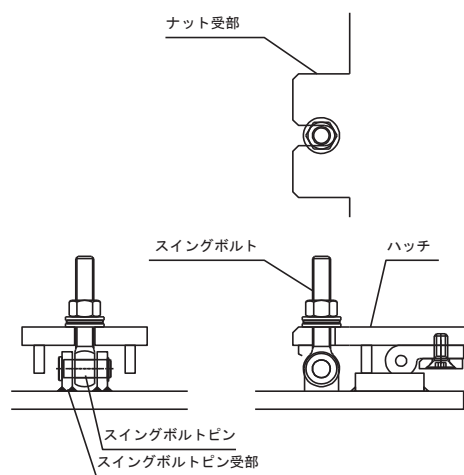
図3-1 (1) 評価対象部位 (スキンプレート、主桁及び固定ボルト)



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の強度評価は、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「4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

##### 4.2 荷重及び荷重の組合せ

###### 4.2.1 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下記に示す。

$$G + P_h + S_d + P_s$$

ここで、	G	: 固定荷重 (kN)
	P <sub>h</sub>	: 浸水津波荷重 (kN)
	S <sub>d</sub>	: 余震荷重 (kN)
	P <sub>s</sub>	: 積雪荷重 (kN)

###### 4.2.2 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

###### (1) 固定荷重(D)

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。

###### (2) 浸水津波荷重(P<sub>h</sub>)

浸水津波荷重は、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」に示すとおり、津波高さ及び浸水防止蓋の設置高さを考慮した静水圧を次式により算出する。

$$P_h = \rho_o \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \cdot A$$

ここで、	$\rho_o$	: 水の密度 1.03 (t/m <sup>3</sup> )
	g	: 重力加速度 9.80665 (m/s <sup>2</sup> )
	h <sub>1</sub>	: 設計津波水位 (O.P. m)
	h <sub>2</sub>	: 浸水防止蓋の設置高さ (O.P. m)
	A	: 浸水防止蓋の面積 (m <sup>2</sup> )



(3) 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

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の式より算出する。

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

ここで、  
P<sub>s</sub> : 積雪荷重 (kN)  
W<sub>s</sub> : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m<sup>2</sup>)  
d<sub>s</sub> : 積雪高さ 43 (cm)  
A : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

(4) 余震荷重(S<sub>d</sub>)

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<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> に伴う地震力及び動水圧荷重を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> に伴う地震力を考慮する。鉛直方向については、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> に伴う地震力と動水圧荷重を考慮する。

浸水防止蓋を設置する揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）と一体構造となっている原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、規模及び重量共に大きい海水ポンプ室に懸架されており、海水ポンプ室と一体となって挙動することから、浸水防止蓋の強度評価に用いる余震震度は、海水ポンプ室の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。地震応答解析ケースを表 4-1 に示す。強度評価に用いる応答加速度は、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）が接する図 4-1 に示すスクリーンエリア及び補機ポンプエリアのうち最大加速度が大きい方を用いる。

強度評価で用いる海水ポンプ室の最大加速度分布図を図 4-2 に、最大加速度を表 4-2 に、余震震度を表 4-3 に示す。

なお、地震力は、浸水防止蓋の固定荷重、浸水津波荷重及び積雪荷重に余震震度を乗じた次式により算出する。

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

ここで、  
S<sub>d</sub> : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> による余震荷重 (kN)  
G : 固定荷重 (kN)  
P<sub>h</sub> : 浸水津波荷重 (kN)  
P<sub>s</sub> : 積雪荷重 (kN)  
α<sub>H</sub> : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> による水平方向の余震震度  
α<sub>V</sub> : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> による鉛直方向の余震震度

表 4-1 海水ポンプ室の地震応答解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) ( $E_0$ : ヤング係数)	地盤物性	
		盛土, 旧表土, 改良地盤, $D$ 級岩盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)	$C_L$ 級岩盤, $C_M$ 級岩盤, $C_H$ 級岩盤, $B$ 級岩盤 ( $G_d$ : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+ $1\sigma$	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値- $1\sigma$	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記\* : 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

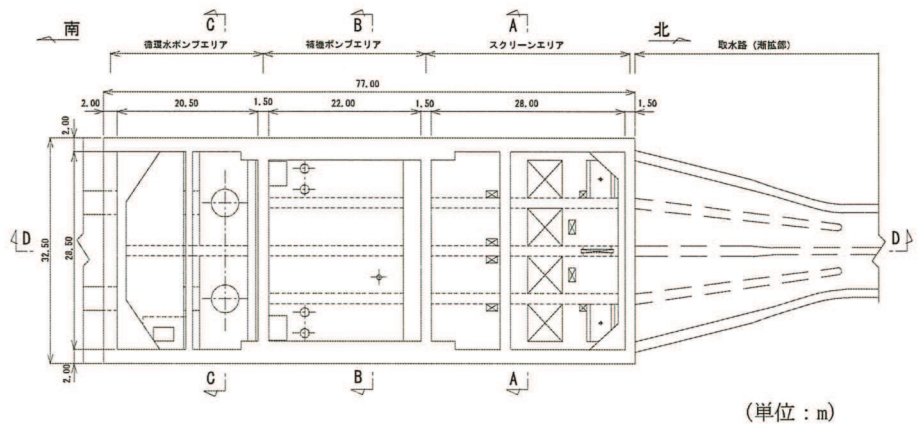


図 4-1 (1) 海水ポンプ室平面図

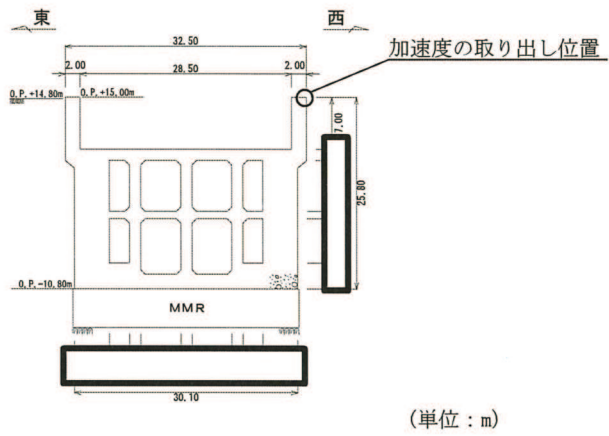


図 4-1 (2) 海水ポンプ室断面図 (スクリーンエリア) (A-A 断面)

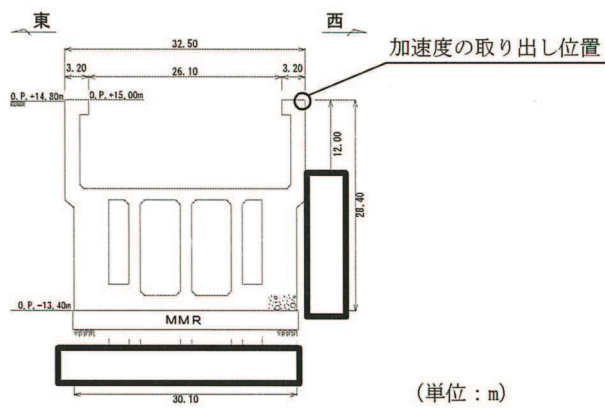
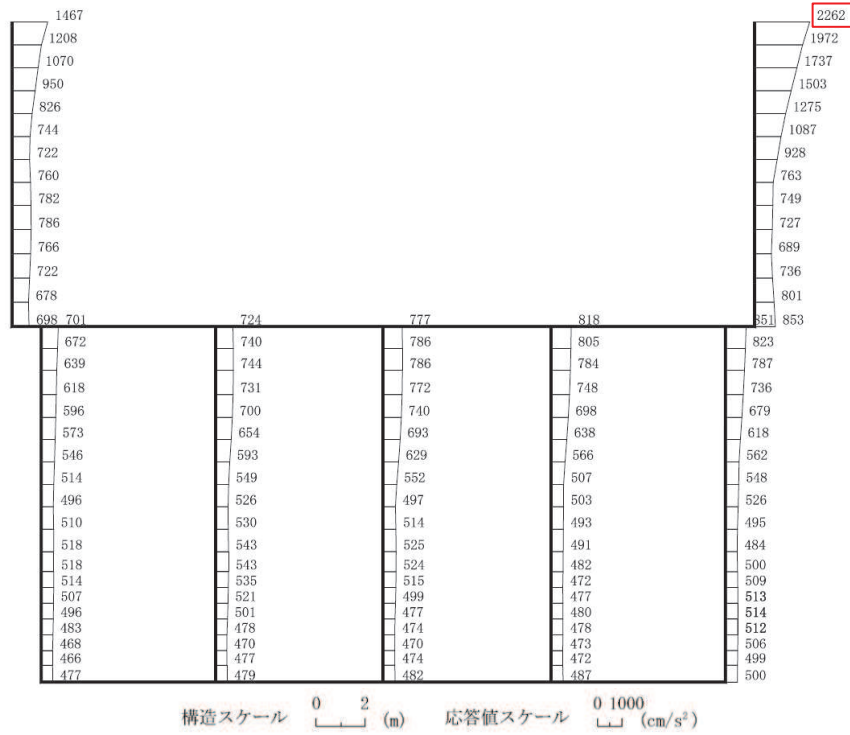


図 4-1 (3) 海水ポンプ室断面図 (補機ポンプエリア) (B-B 断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

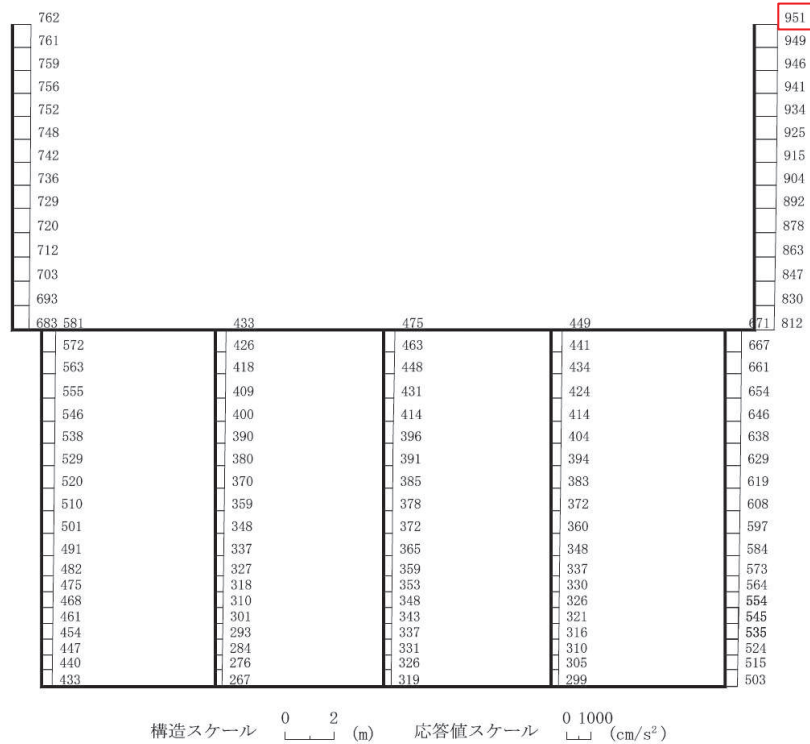
: 強度評価に用いる最大加速度



(補機ポンプエリア (東西方向), S d - D 2 (++) , 解析ケース③)

図 4-2 (1) 最大加速度分布図 (水平方向)

   : 強度評価に用いる最大加速度



(補機ポンプエリア (東西方向), S d - D 2 (++) , 解析ケース②)

図 4-2 (2) 最大加速度分布図 (鉛直方向)

表 4-2 (1) 最大加速度 (水平方向)

地震時荷重算出断面	地震動	位相	解析ケース	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
補機ポンプエリア (東西方向)	S d - D 2	++	ケース③	2262

表 4-2 (2) 最大加速度 (鉛直方向)

地震時荷重算出断面	地震動	位相	解析ケース	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
補機ポンプエリア (東西方向)	S d - D 2	++	ケース②	951

表 4-3 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 $\alpha_H$	鉛直方向 $\alpha_v$
揚水井戸 (第 2 号 機海水ポンプ室防 潮壁区画内)	O.P. 14.0	2.31	0.97

#### 4.3 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。

##### 4.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 4-4 に示す。

表 4-3 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
主桁	SM490Y	H-250×250×9×14 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

##### 4.3.2 許容限界

###### (1) スキンプレート, 主桁

鋼材の許容応力度は、「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 4-5 の値とする。

表 4-5 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

## (2) 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。

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 ( $P_{a1}$ )、付着力により決まる許容荷重 ( $P_{a3}$ ) 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 ( $q_{a1}$ )、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 ( $q_{a2}$ ) 及びコーン状破壊により決まる許容荷重 ( $q_{a3}$ ) を比較して、いずれか小さい値を採用する。

津波荷重及び余震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重の設定に用いる入力値を表 4-6 に、許容荷重を表 4-7 に示す。

### 引張力を受ける場合

$$P_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s c a$$

$$P_{a3} = \Phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_{ce}$$

ここで、 $P_{a1}$  : 固定ボルトの降伏により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

$P_{a3}$  : 固定ボルトの付着力により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

$\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)

$\Phi_3$  : 低減係数 (短期荷重用)

$s \sigma_{pa}$  : 固定ボルトの引張強度 ( $= s \sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)

$s \sigma_y$  : 固定ボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$s c a$  : 固定ボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$d_a$  : 固定ボルトの径 (mm)

$l_{ce}$  : 固定ボルトの強度算定用埋込み長さ ( $= l_e - 2 d_a$ ) (mm)

$\tau_a$  : へりあき及び固定ボルトのピッチによる付着強度の低減係数

### せん断力を受ける場合

$$q_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \Phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a3} = \Phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc}$$

ここで、 $q_{a1}$  : 固定ボルトのせん断強度により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容せん断力 (N)

$q_{a2}$  : 定着した躯体の支圧強度により決まる場合の固定ボルト 1 本当たりの許容せん断力 (N)

- $q_{a3}$  : 定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の固定ボルト  
 1本当たりの許容せん断力 (N)
- $\Phi_1$  : 低減係数 (短期荷重用)
- $\Phi_2$  : 低減係数 (短期荷重用)
- ${}_s\sigma_{qa}$  : 固定ボルトのせん断強度 ( $=0.7 \cdot {}_s\sigma_y$ ) (N/mm<sup>2</sup>)
- ${}_s\sigma_y$  : 固定ボルトの規格降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- ${}_s c a$  : 固定ボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)
- ${}_c\sigma_{qa}$  : コンクリートの支圧強度 (N/mm<sup>2</sup>) ( $=0.5\sqrt{F_c \cdot E_c}$ )
- ${}_c\sigma_t$  : コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $(=0.31\sqrt{F_c})$
- $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $E_c$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)
- $A_{qc}$  : せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 (mm<sup>2</sup>)



表 4-6 固定ボルトの許容荷重の設定に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
$\Phi_1$	—	低減係数 (短期荷重用)	1.0
$\Phi_2$	—	低減係数 (短期荷重用)	2/3
$\Phi_3$	—	低減係数 (短期荷重用)	2/3
${}_s\sigma_{pa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの引張強度	325
${}_s\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトの規格降伏点強度	325
${}_s c a$	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの断面積	157
$d_a$	mm	固定ボルトの径	16
$l_{ce}$	mm	固定ボルトの強度算定用埋込み長さ	168
$\tau_a$	—	へりあき及び固定ボルトのピッチによる付着強度の低減係数	6.71
${}_s\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルトのせん断強度	227.50
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの支圧強度	346.82
${}_c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.40
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	20.5
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数	23470
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	35343

表 4-7 津波荷重及び余震荷重を考慮する場合の固定ボルトの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)						
	引張			せん断			
	$P_{a1}$	$P_{a3}$	設定値	$q_{a1}$	$q_{a2}$	$q_{a3}$	設定値
SM490Y	51.0	37.7	37.7	35.7	36.3	32.9	32.9

(3) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備設計マニュアル編）（ダム・堰施設技術協会 平成 28 年 3 月）」を踏まえて表 4-8 の値とする。

表 4-8 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

#### 4.4 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

##### 4.4.1 主桁

主桁の支持条件は両端をピン支持とし、図 4-3 に示すとおり、主桁が荷重を負担する範囲が最も大きくなり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

##### (1) 弾性設計用地震動 S d - D 2 による余震荷重 S d

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_v$$

ここで、  
S d : 弾性設計用地震動 S d - D 2 による余震荷重 (kN)  
G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)  
P h : 浸水津波荷重 (kN)  
P s : 積雪荷重 (kN)  
 $\alpha_v$  : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の鉛直方向の余震震度

##### (2) 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 W s s '

$$W_{s s'} = (G + P_h + S_d + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、  
W s s ' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)  
S d : 弾性設計用地震動 S d - D 2 による余震荷重 (kN)  
G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)  
P h : 浸水津波荷重 (kN)  
P s : 積雪荷重 (kN)  
L 1 : 主桁の負担幅 (mm)  
A : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

##### (3) 主桁に作用する最大せん断応力度 $\tau$

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

$\tau$  : 主桁に作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

Q : 主桁に作用する最大せん断力 (kN)

A s : 主桁のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

ここで、 $Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

Q : 主桁に作用する最大せん断力 (kN)

W s s ' : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L 2 : 主桁全長 (mm)

(4) 主桁に作用する最大曲げ応力度  $\sigma$

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

$\sigma$  : 主桁に作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 主桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 主桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$$\text{ここで, } M = 1/8 \cdot W_{ss'} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$$

M : 主桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$W_{ss'}$  : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_2$  : 主桁全長 (mm)

(5) 主桁に作用する組合せ応力度

主桁に作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また，主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「**日本建築学会 2005 年** 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで, x : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

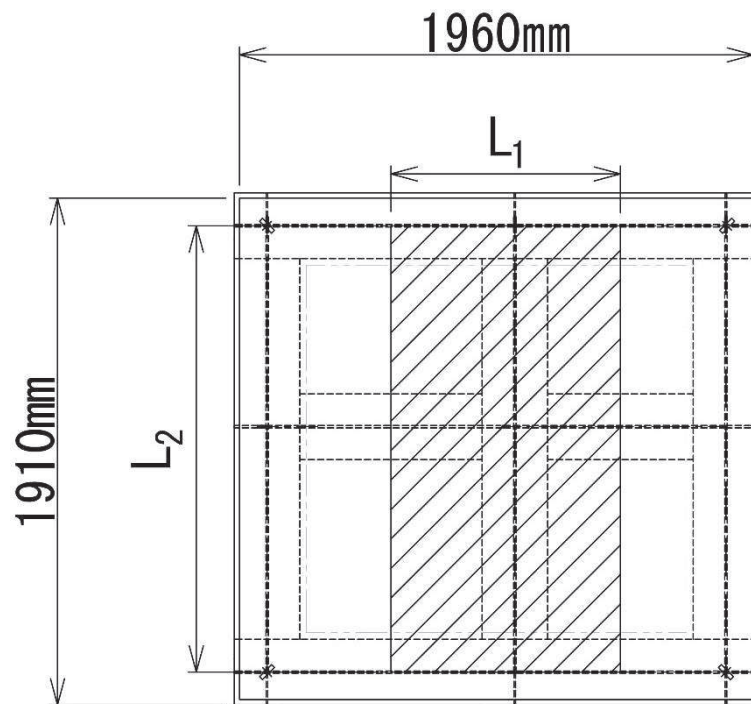


図 4-3 評価の対象とする主桁

#### 4.4.2 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 4-4 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力度及びせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

- (1) 弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  による余震荷重  $S_d$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_v$$

ここで、 $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  による余震荷重 (kN)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $\alpha_v$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  の鉛直方向の余震震度

- (2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重  $W_{ss}$

$$W_{ss} = (G + P_h + S_d + P_s) / A$$

ここで、 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)  
 $S_d$  : 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)  
 $A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

- (3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度  $\sigma$

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_4^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 $\sigma$  : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\beta_2$  : スキンプレートの辺長比に応じた係数  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $L_4$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度  $\tau$

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_3 \cdot L_4 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_3 + L_4) \cdot 2)$$

- ここで、  $\tau$  : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $L_3$  : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)  
 $L_4$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度、せん断応力度を算定し、スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また、スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ここで、  $x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

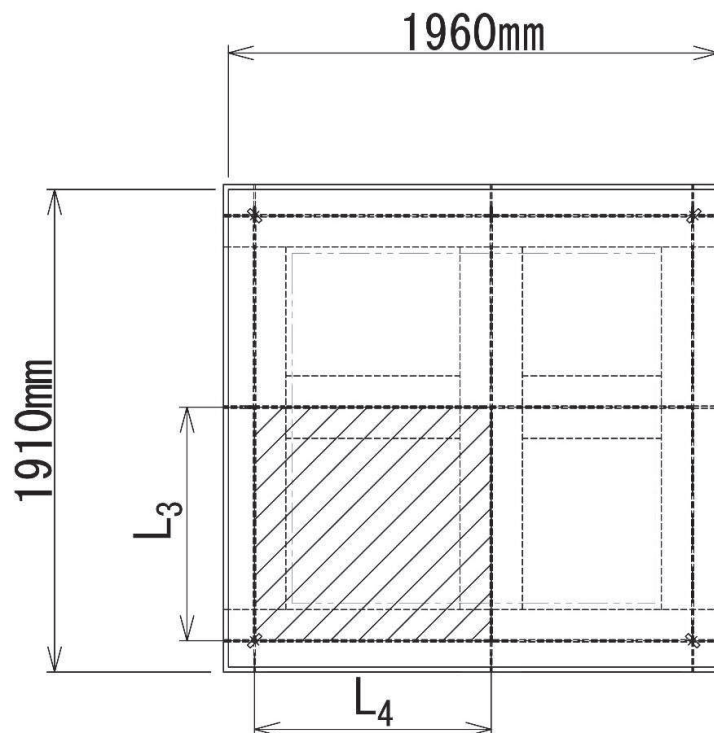


図 4-4 評価の対象とするスキンプレート

#### 4.4.3 固定ボルト

- (1) 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による水平方向の余震荷重  $S_d$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで,  $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による水平方向の余震荷重 (kN)

$G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

$P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_H$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  の水平方向の余震震度

- (2) 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による鉛直方向の余震荷重  $S_d$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

ここで,  $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による鉛直方向の余震荷重 (kN)

$G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

$P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_V$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  の鉛直方向の余震震度

- (3) 固定ボルトに作用する引張力  $T_d$

$$T_d = S_d / N$$

ここで,  $T_d$  : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

$S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による鉛直方向の余震荷重 (kN)

$N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

- (4) 固定ボルトに作用するせん断力  $q$

$$q = S_d / N$$

ここで,  $q$  : 固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

$S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による水平方向の余震荷重 (kN)

$N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数



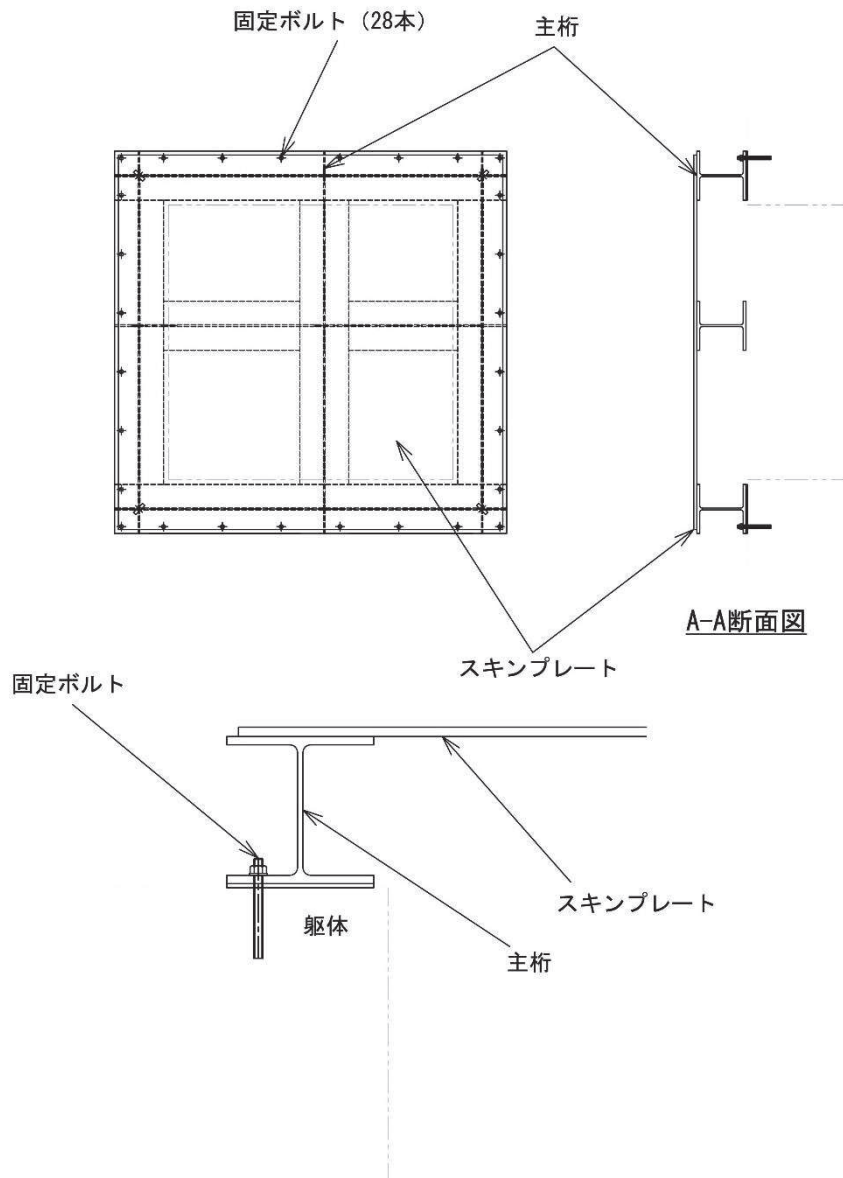


図 4-5 固定ボルトの納まり

#### 4.4.4 ハッチ

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図4-6に、荷重算定式を図4-7に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については、スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。

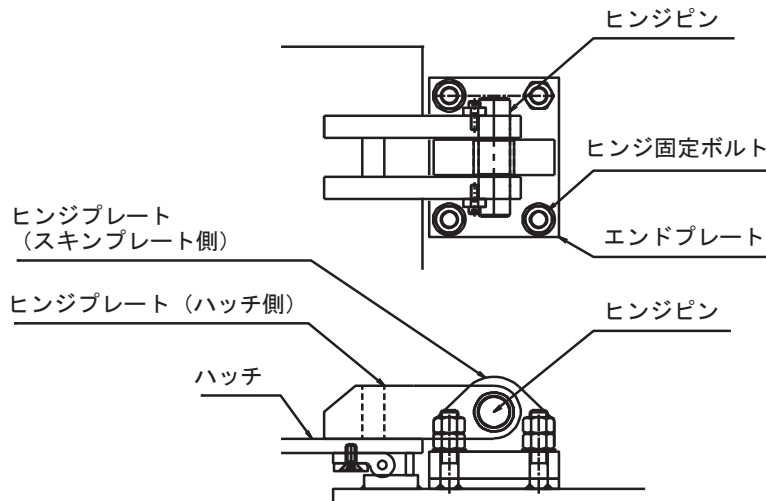


図4-6 (1) ヒンジ部の構造概要

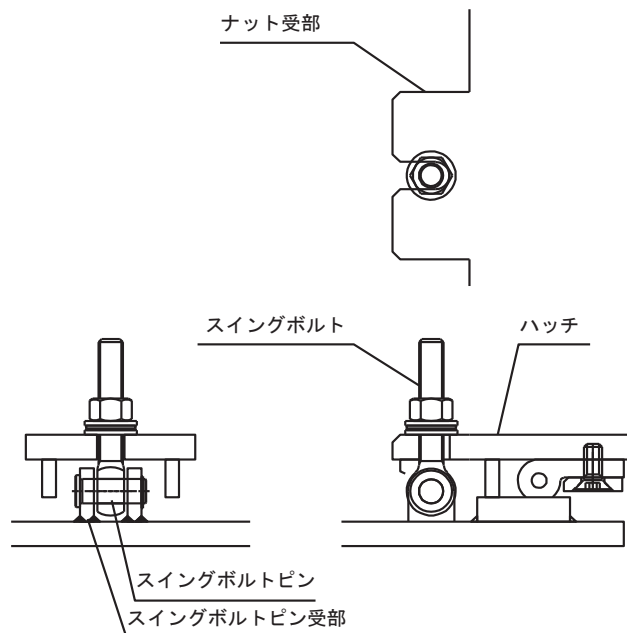
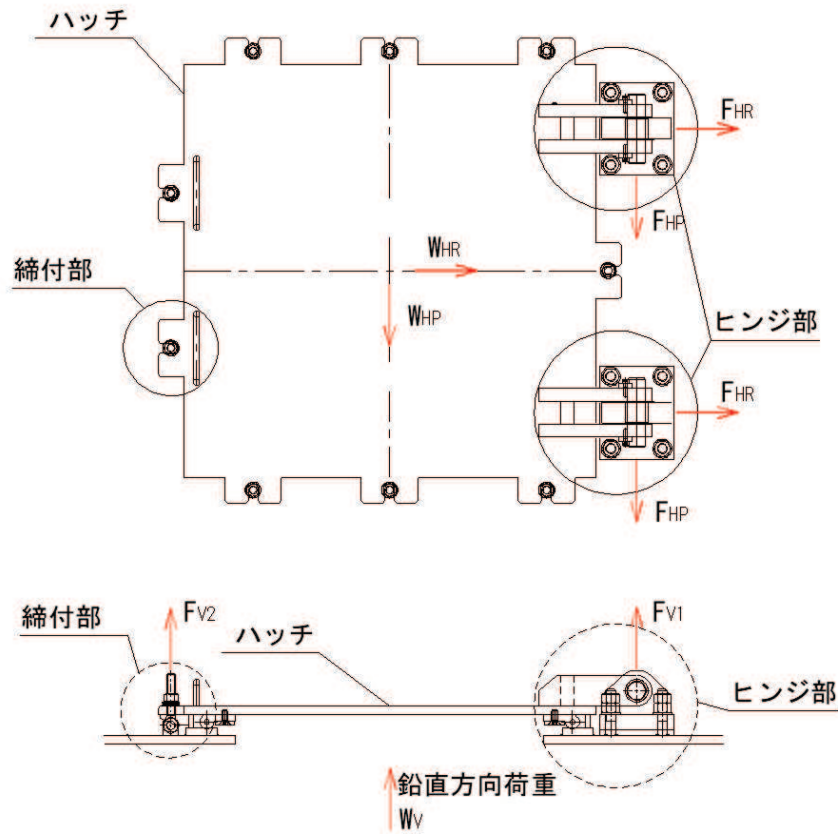


図4-6 (2) 締付部の構造概要



$$W_{HR} = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$W_{HP} = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$W_V = (G + P_h + P_s) + (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{V1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{V2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

$W_{HR}$  : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$W_{HP}$  : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$W_V$  : 鉛直荷重 (kN)

$W_R$  : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)

$L_c$  : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)

$L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

$G$  : ハッチの固定荷重 (kN)

$P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_H$  : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の水平方向の余震震度

$\alpha_V$  : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の鉛直方向の余震震度

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$F_{V2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

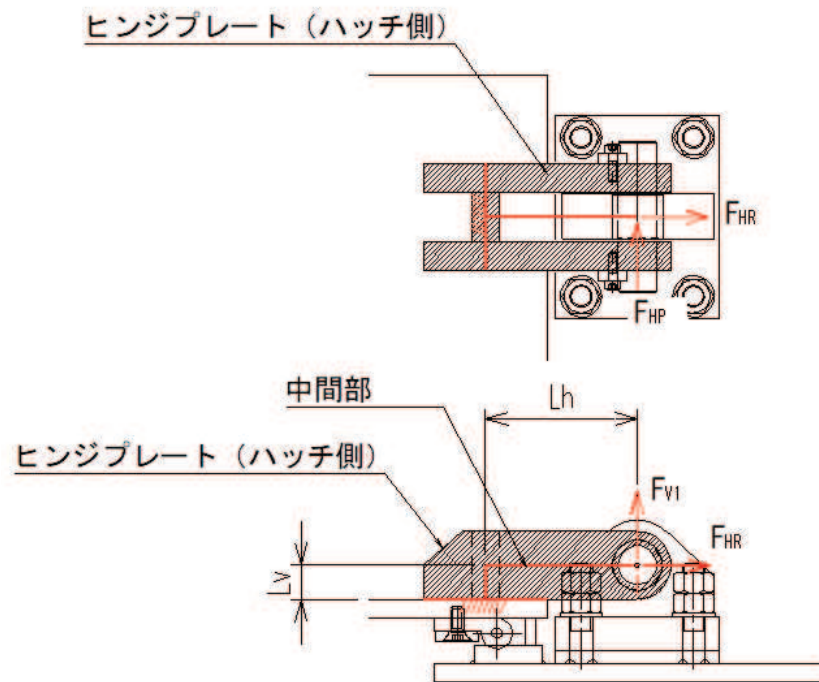
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$  : 分担率

$$(\alpha_1 = 0.5, \alpha_2 = 0.5, \alpha_3 = 0.1, \beta = 0.1)$$

図 4-7 ハッチの構造概要及び荷重算定式

#### 4.4.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図4-8に示す。



#### ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

$\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bV1}$  : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_v$  : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

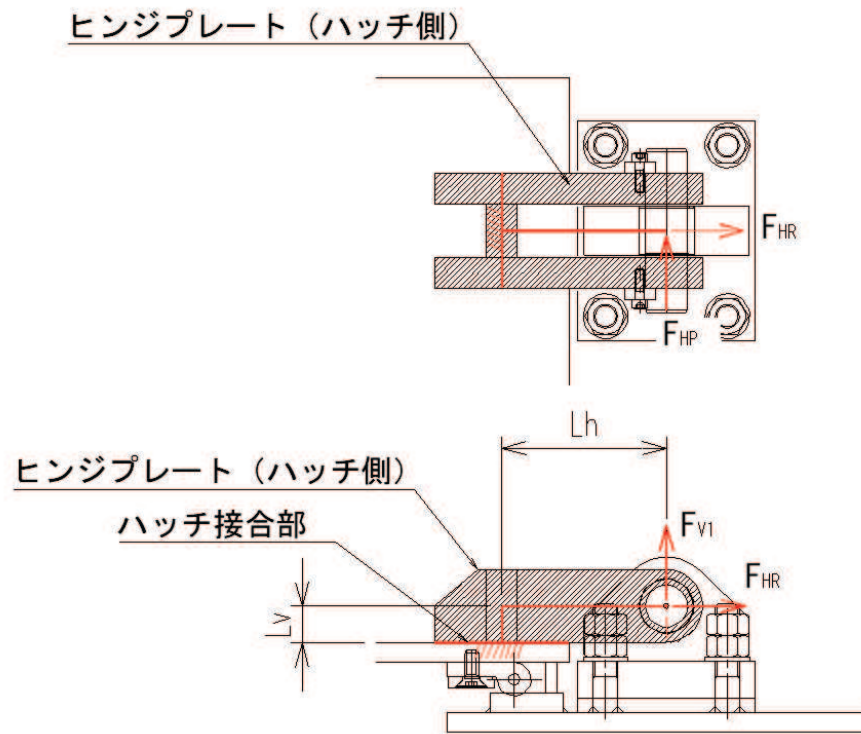
$L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

$Z_1$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm<sup>3</sup>)

$Z_2$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm<sup>3</sup>)

$A_1$  : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

図4-8 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP} \quad \text{ここで,}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$$

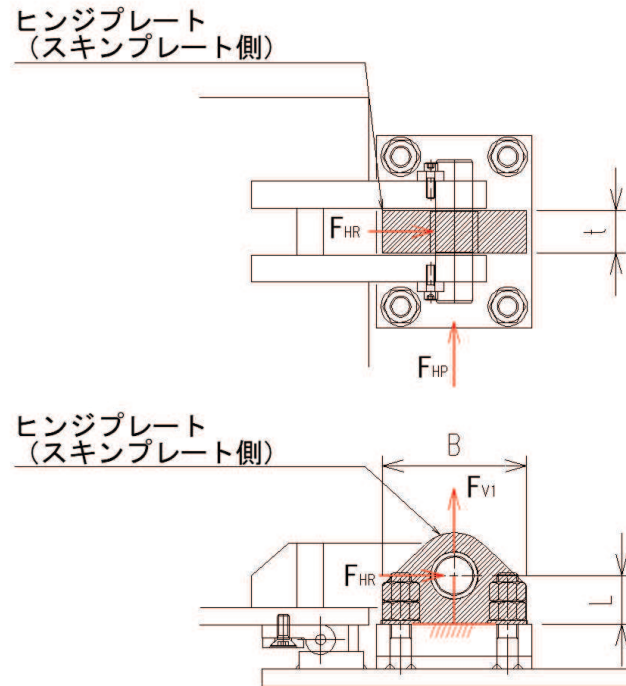
$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- $\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bR}$  : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bV1}$  : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_R$  : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_{PX}$  : 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- $L_v$  : ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
- $Z_3$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm<sup>3</sup>)
- $Z_4$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm<sup>3</sup>)
- $Z_p$  : 極断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $A_2$  : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

図 4-8 (2) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

#### 4.4.4.2 ヒンジプレート (スキンプレート側)

ヒンジプレート (スキンプレート側) のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度, せん断応力度, 合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート (スキンプレート側) のモデル図及び応力算定式を図 4-9 に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで,

$\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bR}$  : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_R$  : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$L$  : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

$Z_1$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$Z_2$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A$  : ヒンジプレート (スキンプレート側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

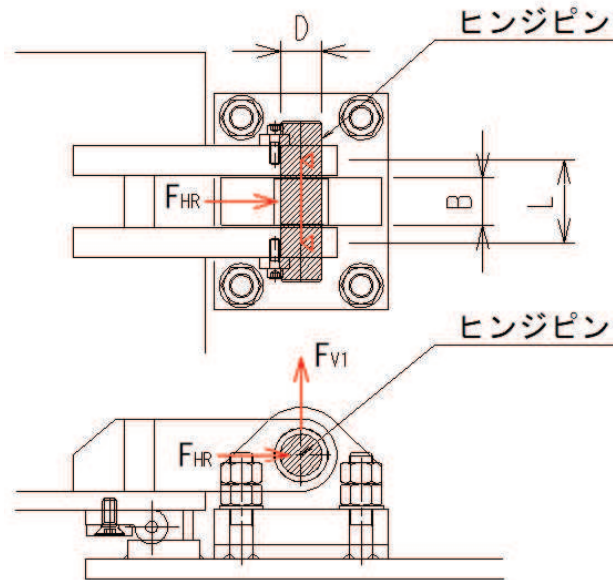
$B$  : ヒンジプレート幅 (mm)

$t$  : ヒンジプレート板厚 (mm)

図 4-9 ヒンジプレート (スキンプレート側) のモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図4-10に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : ヒンジ支点間距離 (mm)

$B$  : 荷重の載荷長 (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

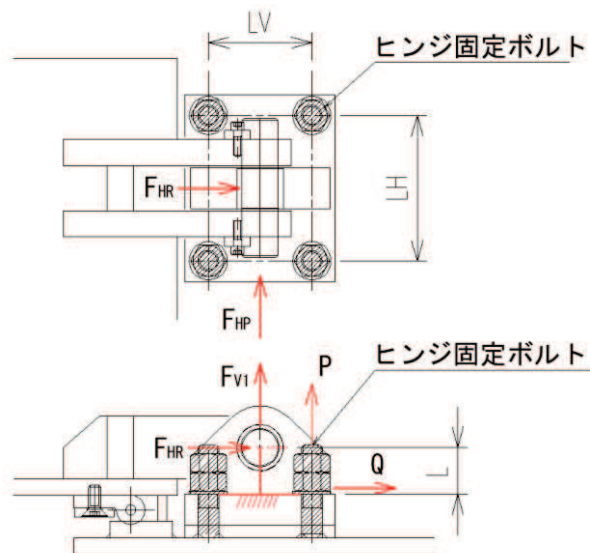
$A$  : ヒンジピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$D$  : ヒンジピンの直径 (mm)

図4-10 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図4-11に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : ボルト引張力 (kN)

$P_R$  : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

$P_P$  : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

$P_V$  : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

$Q$  : ボルトせん断力 (kN)

$Q_R$  : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

$Q_P$  : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : ヒンジ基部ーピン穴間距離 (mm)

$L_V$  : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

$L_H$  : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

$N_H$  : 回転軸平行方向のボルト本数

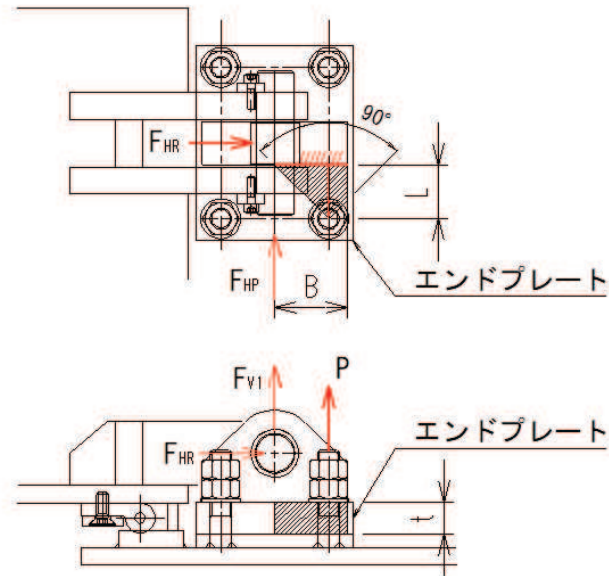
$N_V$  : 回転軸直角方向のボルト本数

図4-11 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式



#### 4.4.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図4-12に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : ボルト引張力 (kN)

$P_R$  : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

$P_P$  : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

$P_V$  : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : 有効断面幅 (mm)

$A$  : エンドプレートの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

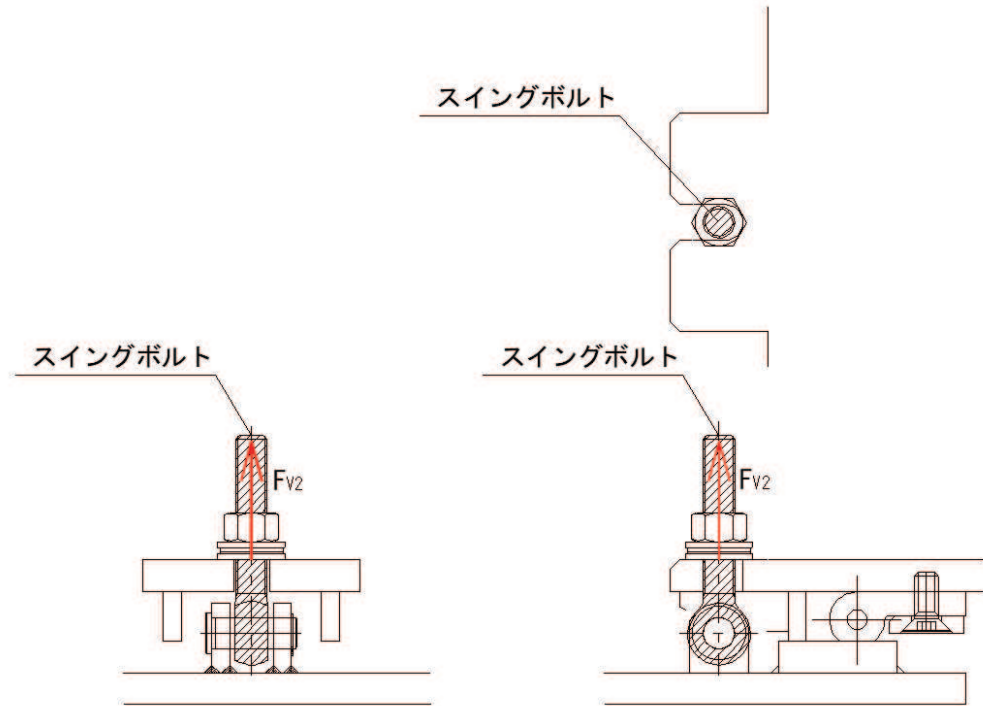
$L$  : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)

$t$  : エンドプレートの板厚 (mm)

図4-12 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図4-13に示す



$$\sigma = F_{v2} / A$$

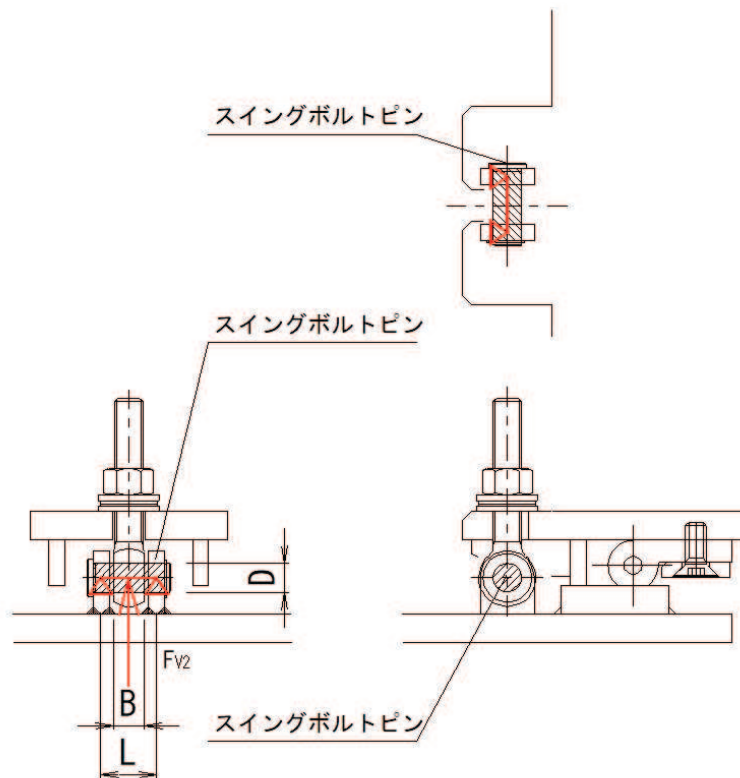
ここで、

- $\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $A$  : スイングボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

図4-13 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 4-14 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

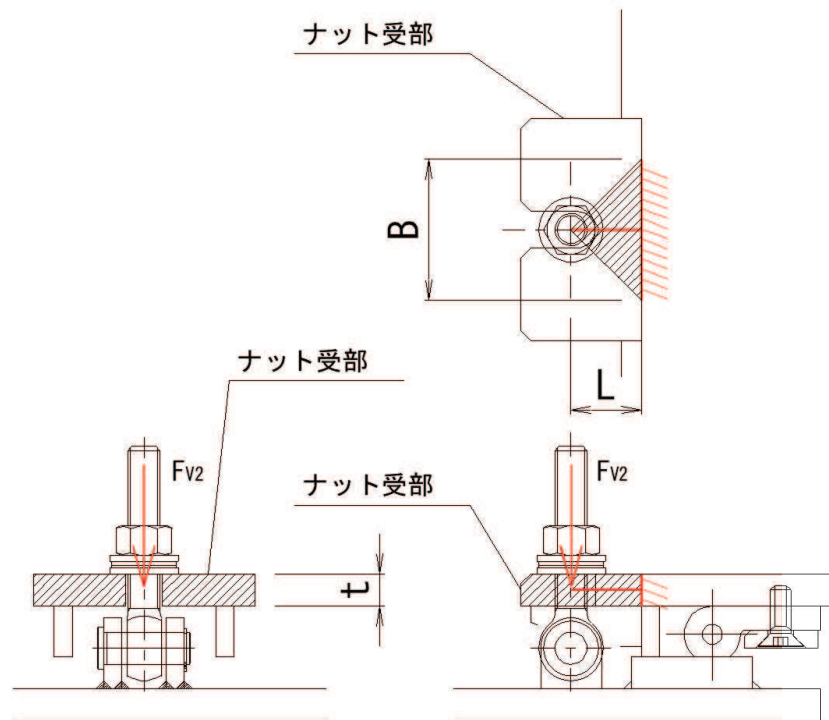
ここで，

- $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $L$  : ヒンジ支点間距離 (mm)
- $B$  : 荷重の载荷長 (mm)
- $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $A$  : スイングボルトピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $D$  : ピンの直径 (mm)

図 4-14 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受部のモデル図及び応力算定式を図4-15に示す



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : 腕長さ (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : 有効断面幅 (mm)

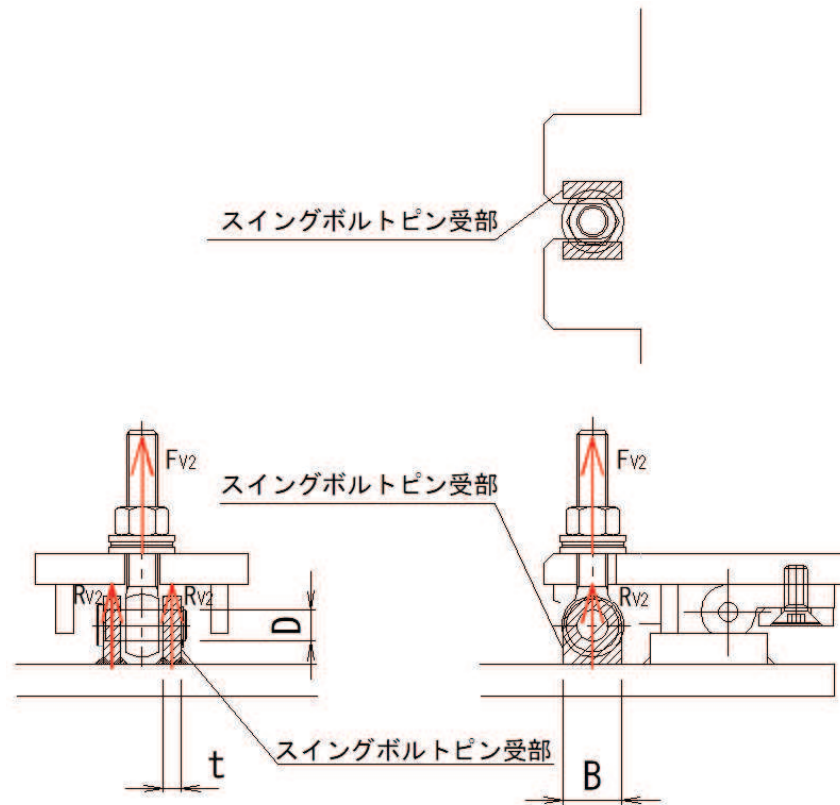
$A$  : ナット受部の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$t$  : ナット受部の板厚 (mm)

図4-15 ナット受部のモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 4-16 に示す



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- $\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $R_{v2}$  : スイングボルトピン受金具が負担する縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{v2}$  : 縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $A$  : スイングボルトピン受部の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $B$  : スイングボルトピン受部の幅 (mm<sup>2</sup>)
- $t$  : スイングボルトピン受部の板厚 (mm<sup>2</sup>)

図 4-16 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

#### 4.5 評価条件

浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値を表4-9に示す。

表4-9 (1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値（主桁，スキンプレート，固定ボルト）

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
主桁	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	13.26
	P <sub>h</sub>	kN	浸水津波荷重	173.78
	h <sub>1</sub>	O.P. m	設計津波水位	18.6
	h <sub>2</sub>	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	1.13
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	3.74
	L <sub>1</sub>	mm	主桁の負担幅	875
	L <sub>2</sub>	mm	主桁全長	1700
	A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup>	主桁のせん断断面積	1998
	Z	mm <sup>3</sup>	主桁の断面係数	8.46×10 <sup>5</sup>
スキンプレート	G	kN	スキンプレートの固定荷重	6.61
	P <sub>h</sub>	kN	浸水津波荷重	173.78
	h <sub>1</sub>	O.P. m	設計津波水位	18.6
	h <sub>2</sub>	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	1.13
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	3.74
	L <sub>3</sub>	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	945
	L <sub>4</sub>	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	935
	β <sub>2</sub>	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
t	mm	スキンプレートの厚さ	16	
固定ボルト	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	13.26
	P <sub>h</sub>	kN	浸水津波荷重	173.78
	h <sub>1</sub>	O.P. m	設計津波水位	18.6
	h <sub>2</sub>	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	1.13
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	28

表 4-9 (2) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.59
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.59
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.59
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	31.59
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_v$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_h$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_h$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_v$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 4-9 (3) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	7.90
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	1.35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160
スイングボルト	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	157
スイングボルトピン	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	402
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	201
ナット受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.389
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	121.50



表 4-9 (4) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.13
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	31.59
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.13
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	31.59
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.13
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	55.13
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	31.59
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.39
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_v$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_h$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_h$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_v$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 4-9 (5) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	13.78
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	5.64
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	1.35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160
スイングボルト	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	157
スイングボルトピン	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	402
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	201
ナット受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.39
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	121.50

5. 評価結果

浸水防止蓋の強度評価結果を表5-1に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1(1) 浸水防止蓋の強度評価結果 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界 (応力度又は荷重)		検定値
主桁	曲げ	38	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.12 < 1.0
	せん断	37	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.20 < 1.0
	組合せ	75	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.24 < 1.0
スキンプレート	曲げ	120	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.37 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	121	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.38 < 1.0
固定ボルト	引張	6.6	kN	37.7	kN	0.18 < 1.0
	せん断	15.6	kN	32.9	kN	0.48 < 1.0
	組合せ	—		—		0.26 < 1.0

表 5-1 (2) 浸水防止蓋の強度評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	27	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.11 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	27	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	19	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	21	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	14	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
	せん断	6	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	18	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	63	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.24 < 1.0
	せん断	13	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
	組合せ	67	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.24 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	38	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.15 < 1.0
	せん断	33	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.22 < 1.0
	組合せ	68	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.24 < 1.0
エンドプレート	曲げ	37	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	37	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.13 < 1.0
スイングボルト	引張	35	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	73	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.27 < 1.0
	せん断	14	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
	組合せ	76	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.26 < 1.0
ナット受部	曲げ	64	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.24 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	64	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.22 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	23	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0

表 5-1 (3) 浸水防止蓋の強度評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	80	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.31 < 1.0
	せん断	11	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	組合せ	82	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.29 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	35	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
	せん断	91	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.60 < 1.0
	組合せ	161	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.56 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	68	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.26 < 1.0
	せん断	17	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.12 < 1.0
	組合せ	74	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.26 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	109	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.42 < 1.0
	せん断	23	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.16 < 1.0
	組合せ	115	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.40 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	85	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.33 < 1.0
	せん断	65	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.43 < 1.0
	組合せ	141	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.49 < 1.0
エンドプレート	曲げ	82	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.31 < 1.0
	せん断	10	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	組合せ	83	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.29 < 1.0
スイングボルト	引張	35	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	73	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.27 < 1.0
	せん断	14	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
	組合せ	76	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.26 < 1.0
ナット受部	曲げ	64	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.24 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	64	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.22 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	23	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明
- 6.5.3.9 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）の耐震性についての  
計算書に関する補足説明

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	4
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	6
2.5 記号の説明	7
3. 評価対象部位	12
4. 固有値解析	14
4.1 固有振動数の計算方法	14
4.2 固有振動数の計算条件	17
4.3 固有振動数の計算結果	17
5. 構造強度評価	18
5.1 構造強度評価方法	18
5.2 荷重及び荷重の組合せ	18
5.3 許容限界	20
5.4 設計用地震力	22
5.5 評価方法	23
5.6 評価条件	41
6. 評価結果	46
7. 揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の耐震評価	49
7.1 概要	49
7.2 評価方針	50
7.3 適用基準	52
8. 地震応答解析	53
8.1 位置	53
8.2 構造概要	54
8.3 評価方針	57
8.4 地盤の応答解析モデル	58
8.5 地盤応答	77

9 耐震評価	78
9.1 評価方針	78
9.2 荷重及び荷重の組合せ	78
9.3 地下水位	80
9.4 許容限界	80
9.5 評価方法	81
9.6 評価結果	85
(別紙1) ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価	95
(別紙2) 浸水防止蓋接合部の健全性評価について	104

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））（以下「浸水防止蓋」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防止設備としてSクラスの施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

あわせて、浸水防止蓋の間接支持構造物である揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を示す。

なお、浸水防止蓋及び揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

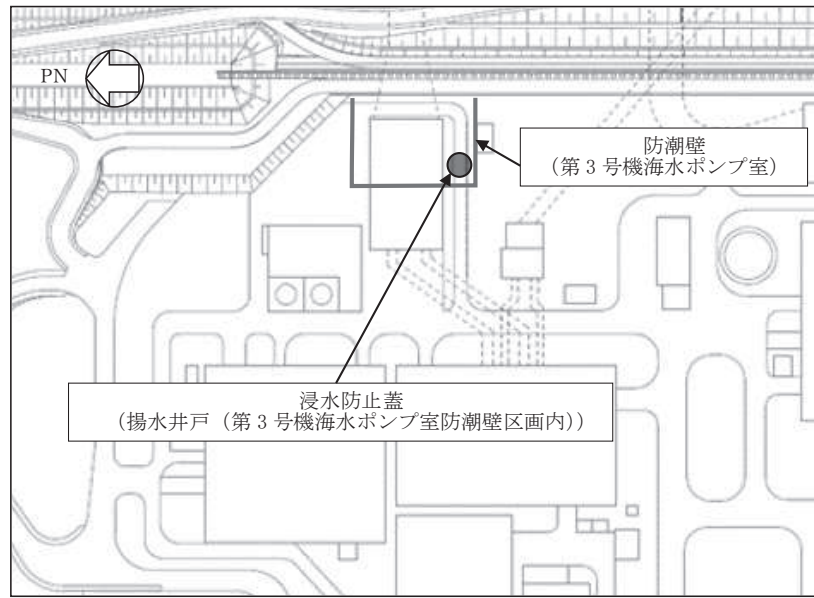


2. 一般事項

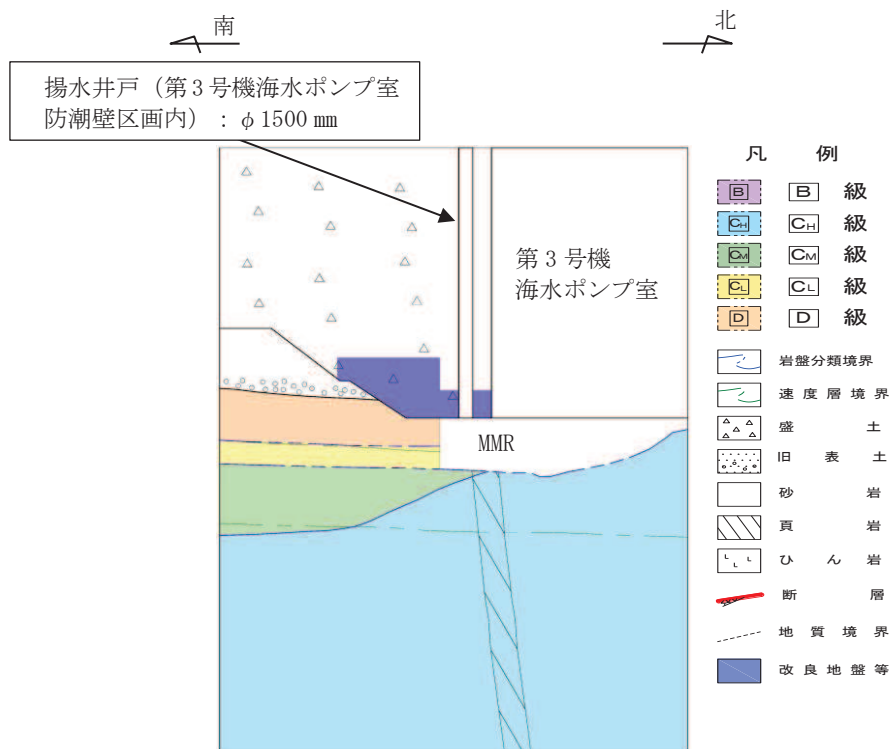
2.1 配置概要

浸水防止蓋は、揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部から浸水を防止するために設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図2-1、流入対策図を図2-2に示す。



(平面図)



(断面図 (揚水井戸 (第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内) , 南北方向) )

図2-1 浸水防止蓋の設置位置図

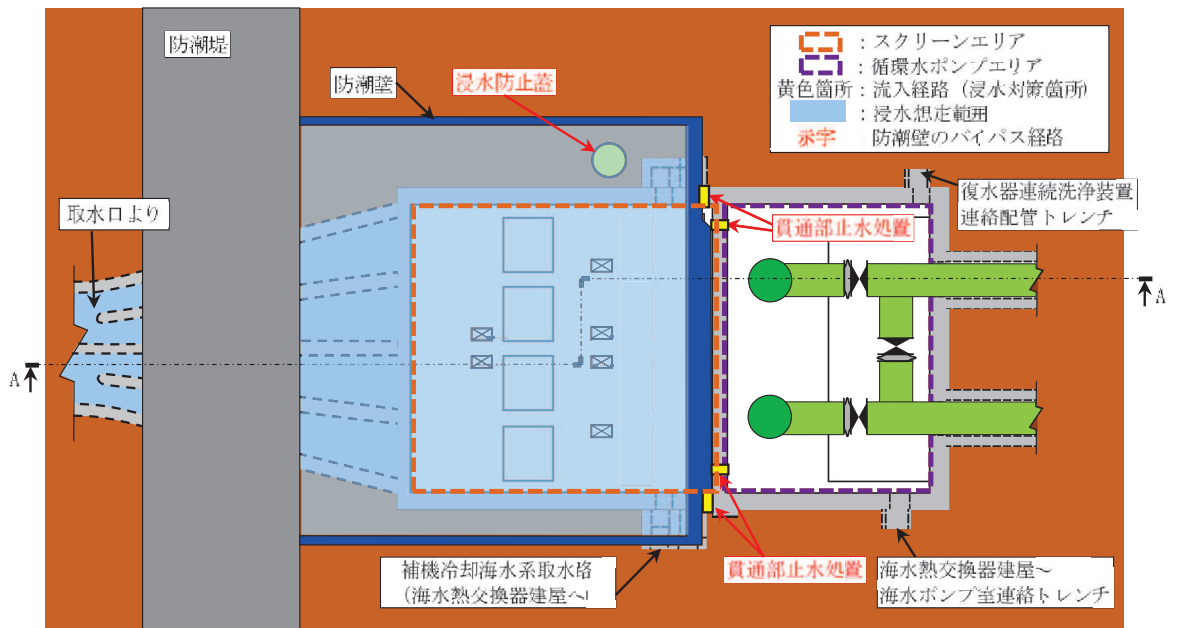


図 2-2 (1) 第 3 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (平面図)

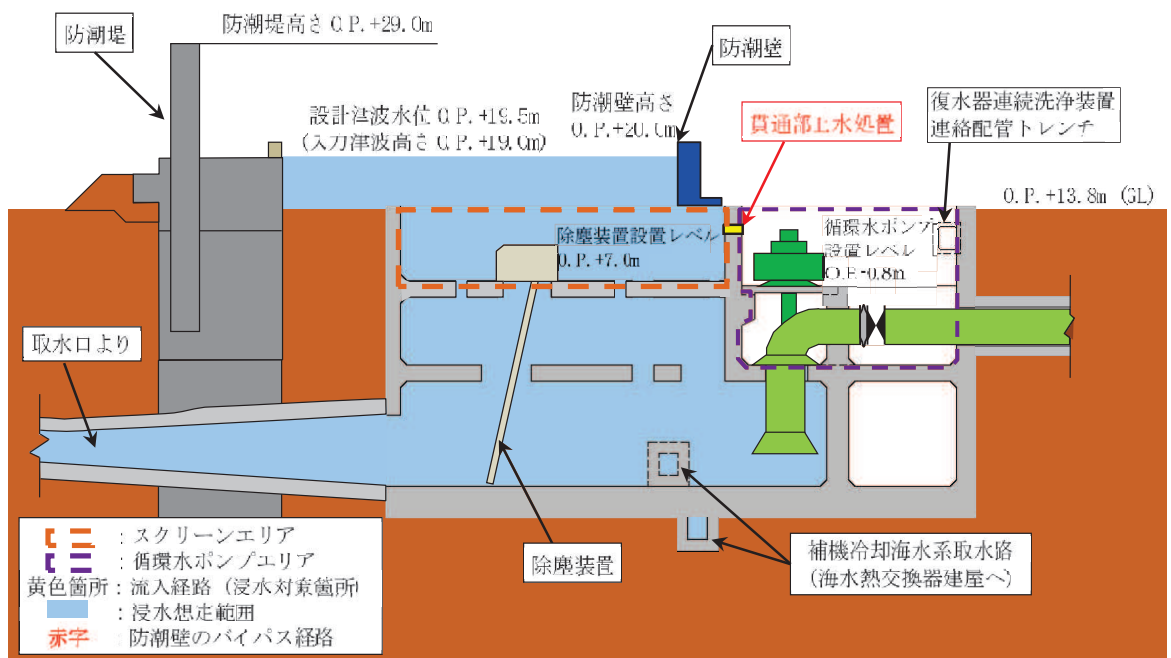


図 2-2 (2) 第 3 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (A-A 断面図)

## 2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、円形のスキンプレートに受桁（H型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。ハッチ部の開閉運用の詳細については、「6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明 参考資料1 浸水防止蓋の開閉運用について」に示す。

浸水防止蓋は、揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトで固定する。 受桁は揚水井戸に溶接で固定する。	浸水防止蓋、受桁、ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

### 2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数及び「8. 地震応答解析」から得られる加速度に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-3 に示す。

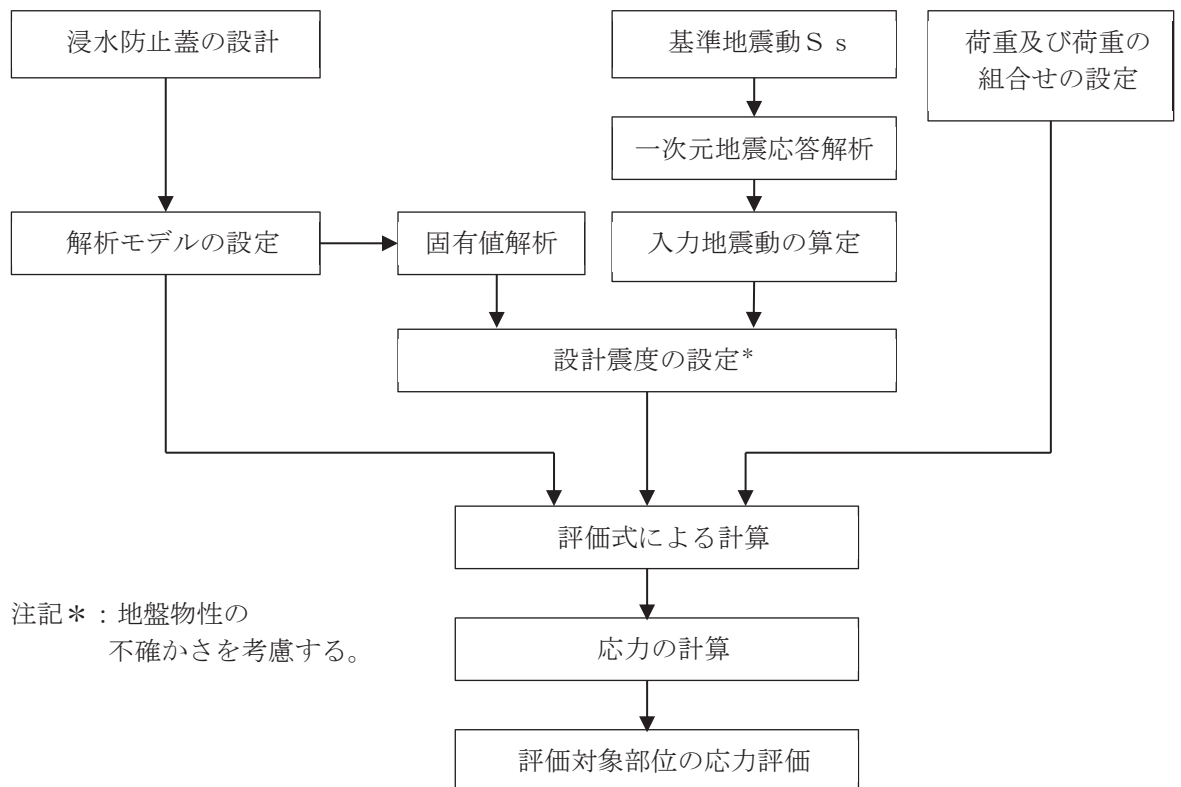


図 2-3 耐震評価フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (3) ダム堰施設技術協会 平成 28 年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

## 2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

記号	単位	定義
$S_s$	kN	基準地震動 $S_s$ による地震荷重
$k_H$	—	基準地震動 $S_s$ の水平方向の設計震度
$k_v$	—	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度
$G$	kN	固定荷重
$P_s$	kN	積雪荷重
$W_s$	N/m <sup>2</sup>	1 cm 当りの積雪荷重
$d_s$	cm	積雪高さ
$A$	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	kN/m <sup>2</sup>	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	最大せん断応力度
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	最大曲げ応力度
$Q$	kN	最大せん断力
$M$	kN・m	最大曲げモーメント
$x$	N/mm <sup>2</sup>	組合せ応力度
$L_1$	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
$L_2$	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
$L_3$	mm	受桁の負担幅
$L_4$	mm	受桁全長
$t$	mm	スキンプレートの厚さ
$N$	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
$A'$	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの有効断面積
$\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルト 1 本当りに作用する引張応力度
$\tau_s$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断応力度

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	$W_{HR}$	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	$W_{HP}$	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	$W_V$	kN	鉛直荷重
	$W_R$	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	$k_H$	—	基準地震動 $S_s$ の水平方向の設計震度
	$k_V$	—	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度
	$G$	kN	ハッチの固定荷重
	$P_s$	kN	積雪荷重
	$L_c$	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離
	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
	$F_{v2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重
ヒンジプレート (ハッチ側)	$\sigma_N$	N/mm <sup>2</sup>	軸方向引張応力度
	$\sigma_{bR}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bP}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bV1}$	N/mm <sup>2</sup>	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	$\tau_R$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	$\tau_P$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	$\tau_v$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	$\tau_{PX}$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数
$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$\sigma_N$	N/mm <sup>2</sup>	軸方向引張応力度
	$\sigma_{bR}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bP}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	$\tau_R$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	$\tau_P$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積
	$B$	mm	ヒンジプレート幅
$t$	Mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離
	$B$	mm	荷重の載荷長
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
	$A$	mm <sup>2</sup>	ヒンジピンの断面積
$D$	mm	ヒンジピンの直径	



表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$P$	kN	ボルト引張力
	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力
	$Q$	kN	ボルトせん断力
	$Q_R$	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	$Q_P$	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	$L_V$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	$L_H$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	$N_H$	本	回転軸平行方向のボルト本数
$N_V$	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$P$	kN	ボルト引張力
	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
	$B$	mm	有効断面幅
	$A$	mm <sup>2</sup>	エンドプレートの有効断面積
	$L$	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
$t$	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイングボルト	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	A	mm <sup>2</sup>	断面積
スイングボルトピン	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	x	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	A	mm <sup>2</sup>	スイングボルトピンの断面積
	D	mm	スイングボルトピンの直径
ナット受部	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	x	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	F <sub>v2</sub>	kN	締付部に作用する鉛直荷重
	L	mm	腕長さ
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm <sup>2</sup>	ナット受部の有効断面積
スイングボルトピン受部	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	R <sub>v2</sub>	kN	スイングボルトピン受金具が負担する締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm <sup>2</sup>	スイングボルトピン受部の断面積
	B	mm	スイングボルトピン受部の幅
	t	mm	スイングボルトピン受部の板厚

### 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、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、地震に伴う慣性力がスキンプレートに伝わり、受桁及び固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、受桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。

浸水防止蓋のハッチ部の運用について、原則閉止運用とするとともに、定期点検時等により開状態となる場合においても速やかに閉操作できる人員を、ハッチ付近に待機させる運用とすることから（詳細は、「6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明 参考資料1 浸水防止蓋の開閉運用について」に示す。）、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、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。なお、ヒンジ部については開放時における評価も実施する。開放時における評価については、「別紙1 ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価」に示す。

評価対象部位を図3-1に示す。

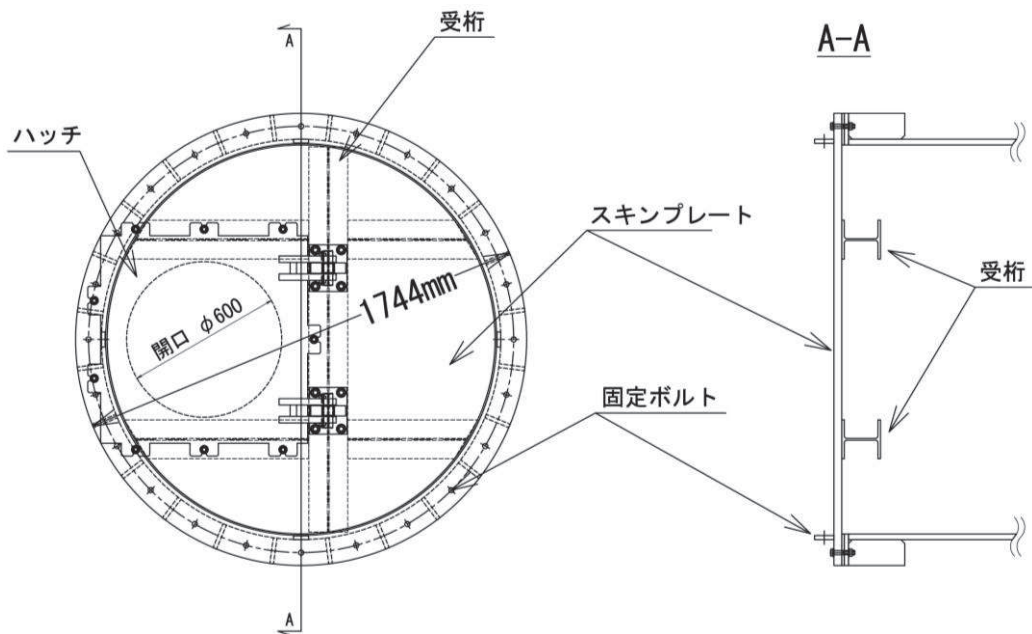
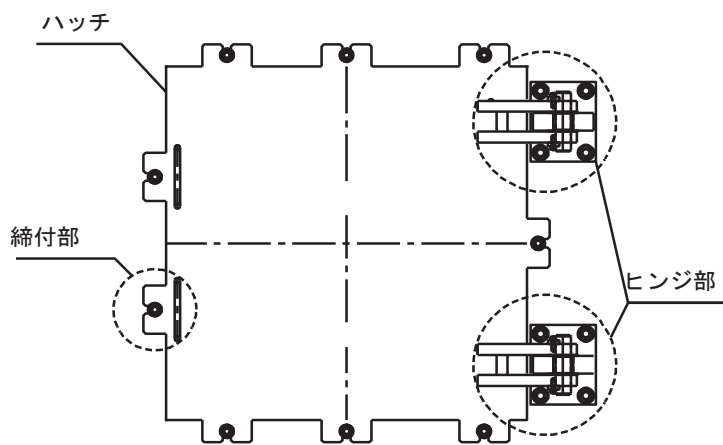
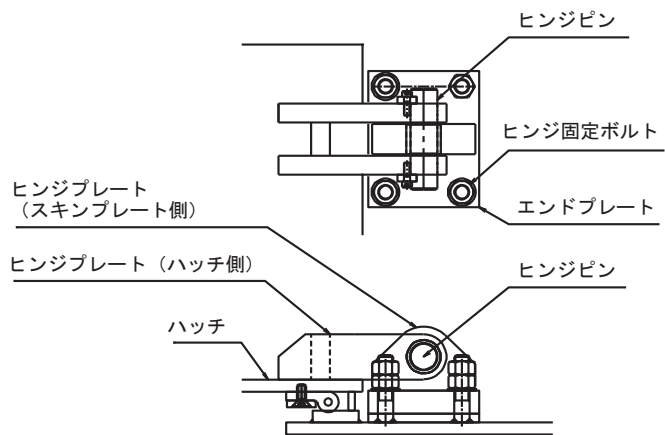


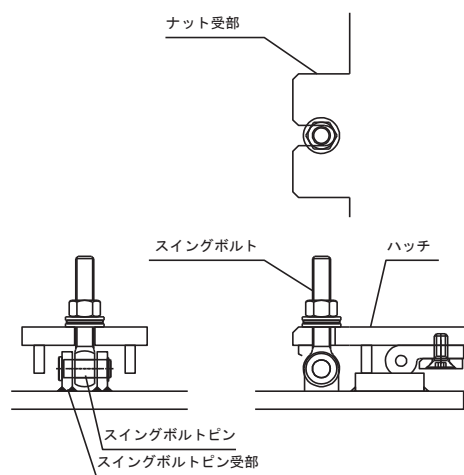
図3-1 (1) 評価対象部位 (スキンプレート、受桁及び固定ボルト)



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

#### 4. 固有値解析

##### 4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を算出する。

##### 4.1.1 解析モデルの設定

ハッチ部は基本閉止しスキンプレートと一体構造であることから、スキンプレートについては、円板に単純化したモデルとし、モデル化に用いる長さはスキンプレート直径とする。ハッチ部については、周囲をボルトで固定することから、四辺支持の長方形板に単純化したモデルとする。受桁については、剛な断面を有しているとともに、溶接で躯体と固定する構造であることから、両端固定支持に単純化したモデルとし、モデル化には、全長が最も長い受桁を対象とする。

図4-1に解析モデル図を示す。

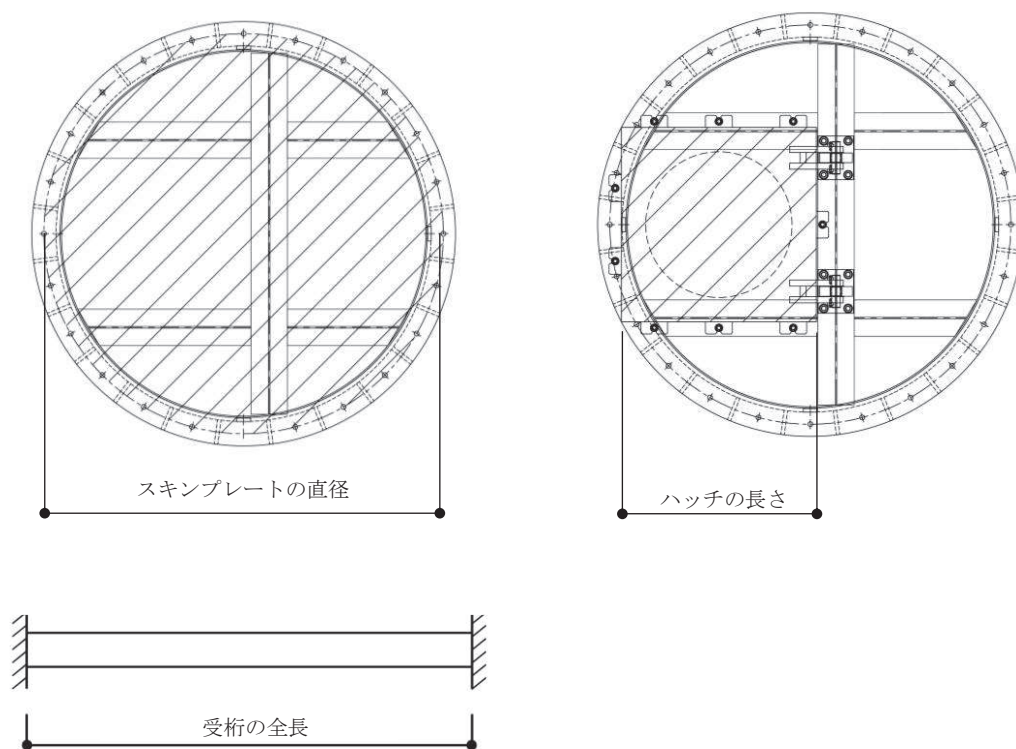


図4-1 スキンプレート、ハッチ及び受桁の固有値解析モデル

#### 4.1.2 記号の説明

各部材の固有振動数算出に用いる記号を表4-1に示す。

表4-1(1) スキンプレーットの固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
$f_1$	Hz	一次固有振動数
$t$	mm	スキンプレーットの厚さ
$a$	mm	スキンプレーットの半径
$E$	N/mm <sup>2</sup>	ヤング率
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
$\sigma$	-	ポアソン比
$\gamma$	N/mm <sup>3</sup>	鋼材の単位体積重量

表4-1(2) ハッチの固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
$f_2$	Hz	一次固有振動数
$t$	mm	ハッチの厚さ
$a$	mm	ハッチの幅
$b$	mm	ハッチの長さ
$E$	N/mm <sup>2</sup>	ヤング率
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
$\sigma$	-	ポアソン比
$\gamma$	N/mm <sup>3</sup>	鋼材の単位体積重量

表4-1(3) 受桁の固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
$f_3$	Hz	受桁の一次固有振動数
$L_3$	mm	受桁の全長
$E$	N/mm <sup>2</sup>	ヤング率
$I_3$	mm <sup>4</sup>	受桁の断面二次モーメント
$m_3$	kg/mm	受桁の質量分布

#### 4.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数  $f$  を「機械工学便覧（日本機械学会）」、「土木学会構造力学公式集」を参考に以下の式より算出する。

##### (1) スキンプレート

$$f_1 = \frac{11.00^2 \cdot t}{4\pi a^2} \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \sigma^2) \cdot \gamma}}$$

##### (2) ハッチ

$$f_2 = \frac{\pi \cdot t}{4} \cdot \left( \frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \sigma^2) \cdot \gamma}}$$

##### (3) 受桁

$$f_3 = \frac{4.73^2}{2\pi L_3^2} \sqrt{\frac{E \cdot I_3 \cdot 10^3}{m_3}}$$

#### 4.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2(1) スキンプレートの固有振動数の計算条件

スキンプレートの厚さ t (mm)	スキンプレートの半径 a (mm)	ヤング率 E (N/mm <sup>2</sup> )	重力加速度 g (m/s <sup>2</sup> )	ポアソン比 σ (-)	単位体積重量 γ (N/mm <sup>3</sup> )
16	872	2.05×10 <sup>5</sup>	9.80665	0.3	7.7×10 <sup>-6</sup>

表 4-2(2) ハッチの固有振動数の計算条件

ハッチの厚さ t (mm)	ハッチの幅 a (mm)	ハッチの長さ b (mm)	ヤング率 E (N/mm <sup>2</sup> )	重力加速度 g (m/s <sup>2</sup> )	ポアソン比 σ (-)	単位体積重量 γ (N/mm <sup>3</sup> )
16	800	800	2.05×10 <sup>5</sup>	9.80665	0.3	7.7×10 <sup>-6</sup>

表 4-2(3) 受桁固有振動数の計算条件

はり長さ L (mm)	ヤング率 E (N/mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント I (mm <sup>4</sup> )	質量分布 m (kg/mm)
1485	2.05×10 <sup>5</sup>	5.63×10 <sup>6</sup>	3.11×10 <sup>-2</sup>

#### 4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

部位	固有振動数 (Hz)
スキンプレート	62.65
ハッチ	384.04
受桁	311.06



## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

### 5.2 荷重及び荷重の組合せ

#### 5.2.1 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下記に示す。

$$G + S_s + P_s$$

ここで、  
G : 固定荷重 (kN)  
S<sub>s</sub> : 基準地震動 S<sub>s</sub> による地震荷重 (kN)  
P<sub>s</sub> : 積雪荷重 (kN)

#### 5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

##### (1) 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。

##### (2) 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

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の式より算出する。

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

ここで、  
P<sub>s</sub> : 積雪荷重 (kN)  
W<sub>s</sub> : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m<sup>2</sup>)  
d<sub>s</sub> : 積雪高さ 43 (cm)  
A : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

(3) 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重として、基準地震動  $S_s$  に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : 固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k$  : 基準地震動  $S_s$  の設計震度

### 5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

#### 5.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
受桁	SM490Y	H-150×150×7×10 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

#### 5.3.2 許容限界

##### (1) スキンプレート, 受桁, 固定ボルト

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を踏まえて表 5-2 の値とする。

表 5-2 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

(2) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム堰施設技術協会 平成 28 年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 5-3 の値とする。

表 5-3 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

#### 5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，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，浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は「8. 地震応答解析」に示す地震応答解析結果を用いる。

耐震評価で用いる揚水井戸（第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の最大加速度を表 5-4 に，設計震度を表 5-5 に示す。

表 5-4 (1) 地盤の地表面最大加速度（水平方向）

地震動	解析ケース	最大加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )
S s - N 1	ケース③	-505.5

表 5-4 (2) 地盤の地表面最大加速度（鉛直方向）

地震動	解析ケース	最大加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )
S s - D 2	ケース①	1308.9

表 5-5 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S s の設計震度	
		水平方向 $k_H$	鉛直方向 $k_v$
揚水井戸（第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）	O.P. 14.0	0.52	1.34

## 5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

### 5.5.1 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 5-1 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力度及びせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

- (1) 基準地震動  $S_s$  による地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_v$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

- (2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重  $W_{ss}$

$$W_{ss} = (G + S_s + P_s) / A$$

ここで、 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

- (3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度  $\sigma$

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_1^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 $\sigma$  : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\beta_2$  : スキンプレートの辺長比に応じた係数  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $L_1$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

- (4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度  $\tau$   
 スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_1 + L_2) \cdot 2)$$

- ここで、 $\tau$  : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $L_1$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)  
 $L_2$  : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

- (5) スキンプレートに作用する組合せ応力度  
 スキンプレートに作用する曲げ応力度、せん断応力度を算定し、スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また、スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ここで、 $x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

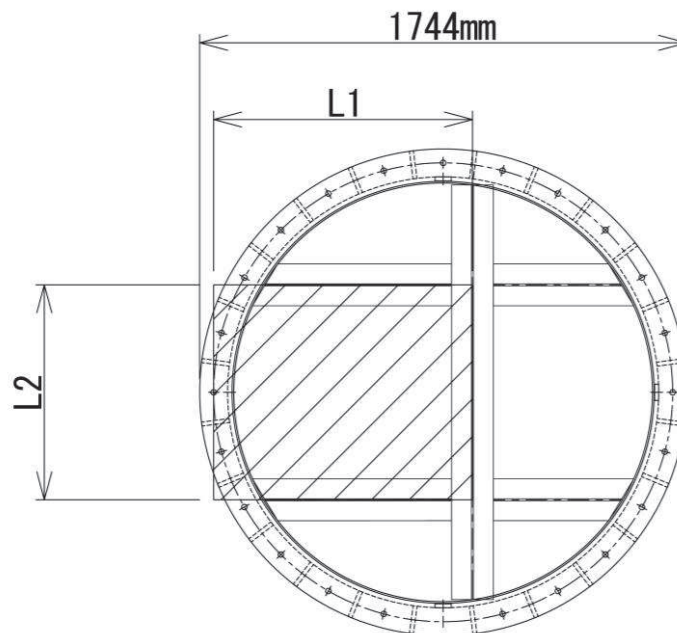


図 5-1 評価の対象とするスキンプレート

## 5.5.2 受桁

受桁の支持条件は両端を固定支持とし、受桁が負担する荷重は保守的にスキンプレートに上載される積雪荷重、スキンプレートの固定荷重の全重量及び地震荷重を受桁に作用させる。図 5-2 に評価の対象とする受桁を示す。

### (1) 基準地震動 $S_s$ による地震荷重 $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $G$  : スキンプレートと受桁の固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_v$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

### (2) 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s s'}$

$$W_{s s'} = (G + S_s + P_s) \cdot L_3 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 $W_{s s'}$  : 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)  
 $G$  : 受桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による地震荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $L_3$  : 受桁の負担幅 (mm)  
 $A$  : スキンプレートの面積 (m<sup>2</sup>)

### (3) 受桁に作用する最大せん断応力度 $\tau$

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

$\tau$  : 受桁に作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q$  : 受桁に作用する最大せん断力 (kN)

$A_s$  : 受桁のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

ここで、 $Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$

$Q$  : 受桁に作用する最大せん断力 (kN)

$W_{s s'}$  : 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_4$  : 受桁全長 (mm)



(4) 受桁に作用する最大曲げ応力度  $\sigma$

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

$\sigma$  : 受桁に作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 受桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 受桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

ここで,  $M = 1/8 \cdot W s s' \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2$

M : 受桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

W s s' : 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L<sub>4</sub> : 受桁全長 (mm)

(5) 受桁に作用する組合せ応力度

主桁に作用する曲げ応力度, せん断応力度を算定し, 主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また, 主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から, 組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し, 短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで, x : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

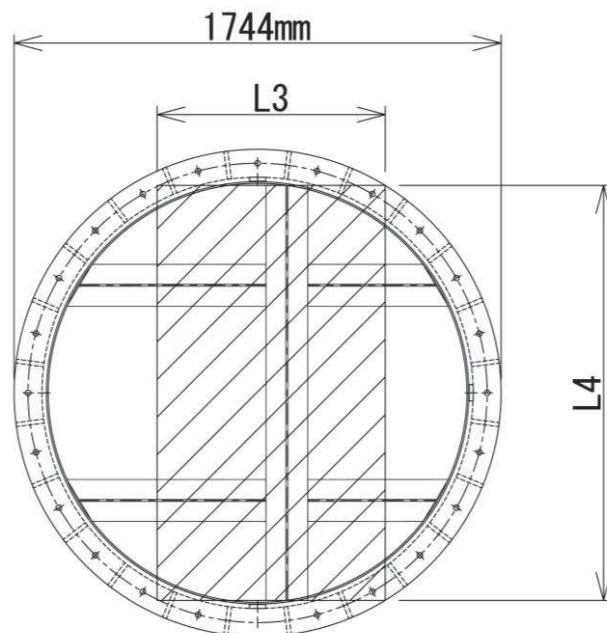


図 5-2 評価の対象とする受桁

### 5.5.3 固定ボルト

図 5-3 に固定ボルトの納まりを示す。

- (1) 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)  
 $G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_H$  : 基準地震動  $S_s$  の水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重  $S_s$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで、 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)  
 $G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $k_V$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度  $\sigma_t$

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

ここで、 $T_s = S_s / N$   
 $\sigma_t$  : 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度 (N/mm)  
 $T_s$  : 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による鉛直方向の地震荷重 (kN)  
 $N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数  
 $A'$  : 固定ボルトの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

- (4) 固定ボルト 1 本あたりに生じるせん断応力度  $\tau_s$

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

ここで、 $q_s = S_s / N$   
 $\tau_s$  : 固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $q$  : 固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (kN)  
 $S_s$  : 基準地震動  $S_s$  による水平方向の地震荷重 (kN)  
 $N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数  
 $A'$  : 固定ボルトの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

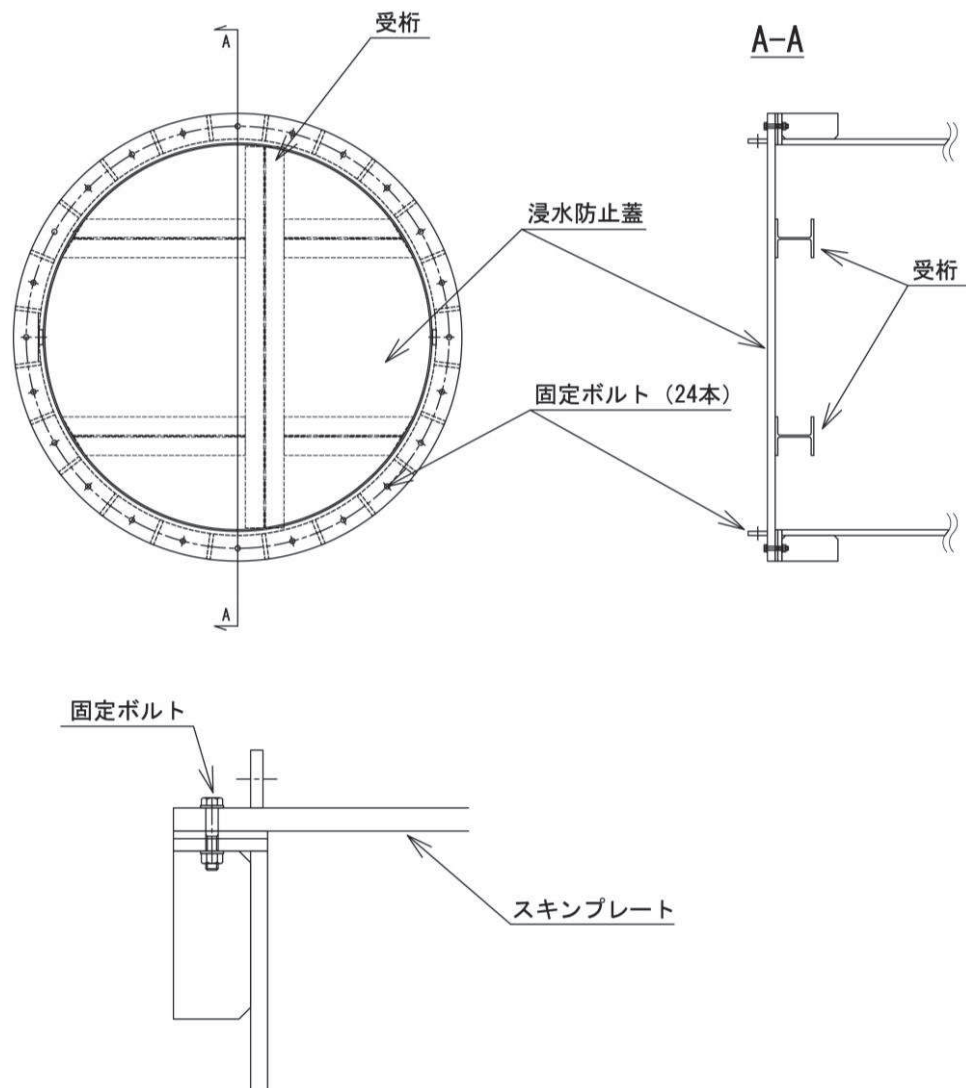


図 5-3 固定ボルトの納まり

#### 5.5.4 ハッチ

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図5-4に、荷重算定式を図5-5に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については、スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。なお、ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価については、「別紙1 ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価」に示す。

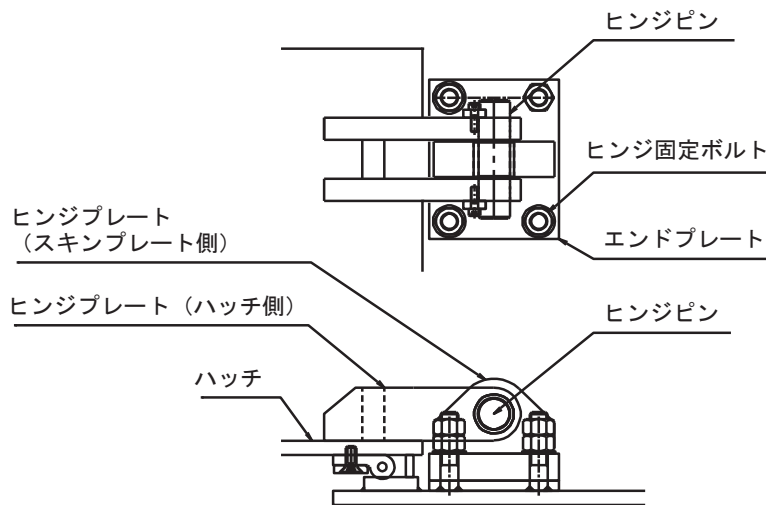


図5-4 (1) ヒンジ部の構造概要

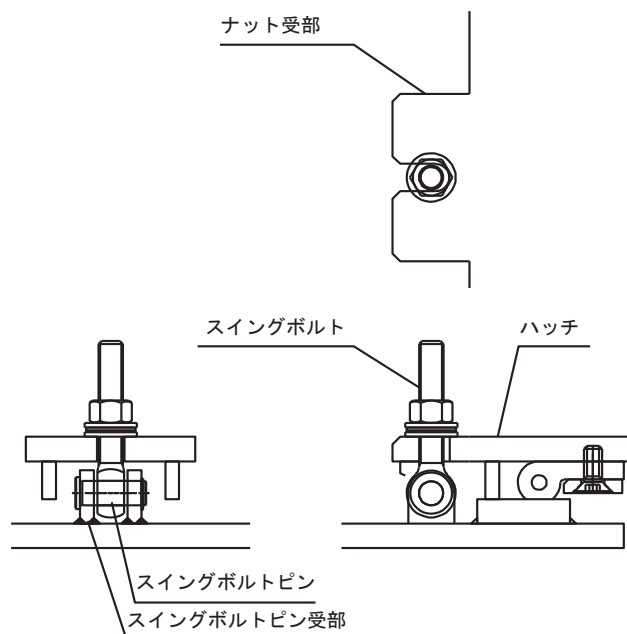
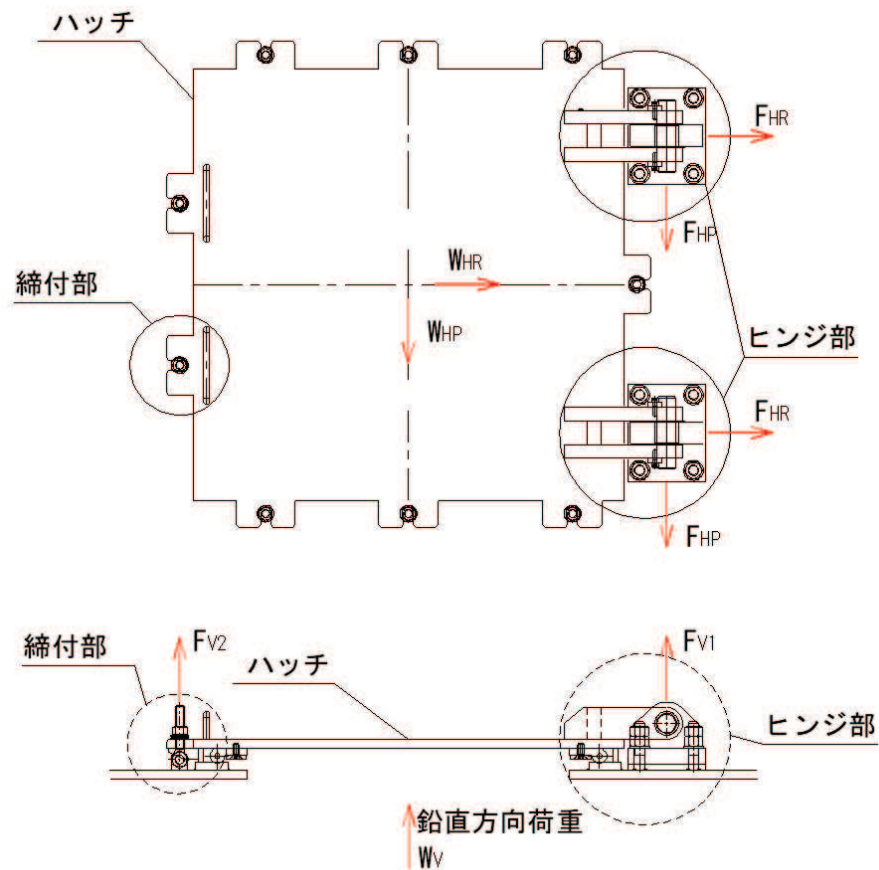


図5-4 (2) 締付部の構造概要



$$W_{HR} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_{HP} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_V = (G + P_s) + (G + P_s) \cdot k_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{V1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{V2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

- $W_{HR}$  : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $W_{HP}$  : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $W_V$  : 鉛直荷重 (kN)
- $W_R$  : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- $L_c$  : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- $L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- $G$  : ハッチの固定荷重 (kN)
- $P_s$  : 積雪荷重 (kN)
- $k_H$  : 基準地震動  $S_s$  の水平方向の設計震度
- $k_V$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度
- $F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{V2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

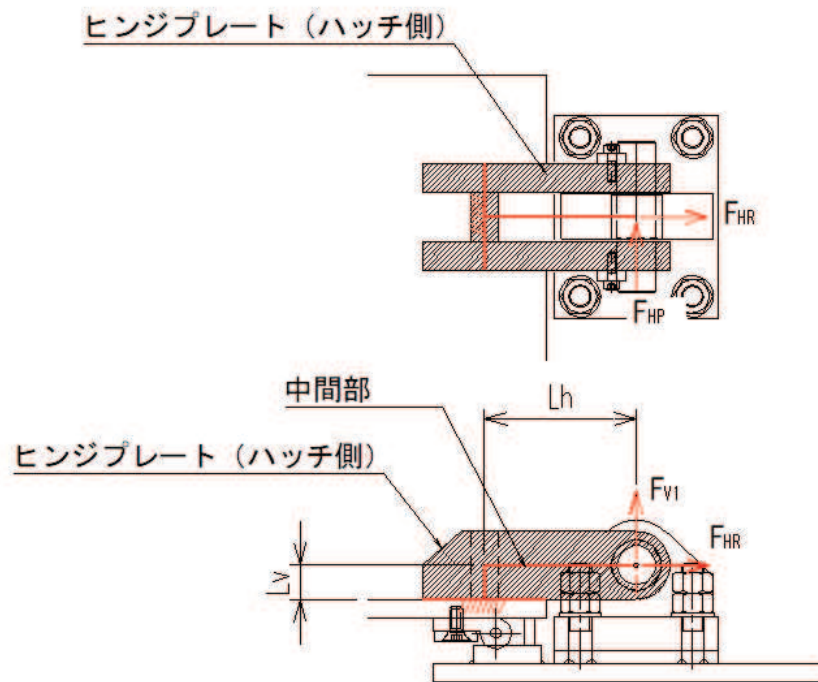
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$  : 分担率

$$(\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.5, \alpha_3=0.1, \beta=0.1)$$

図 5-5 ハッチの構造概要及び荷重算定式

#### 5.5.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図5-6に示す。



#### ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bV1}$  : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_v$  : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

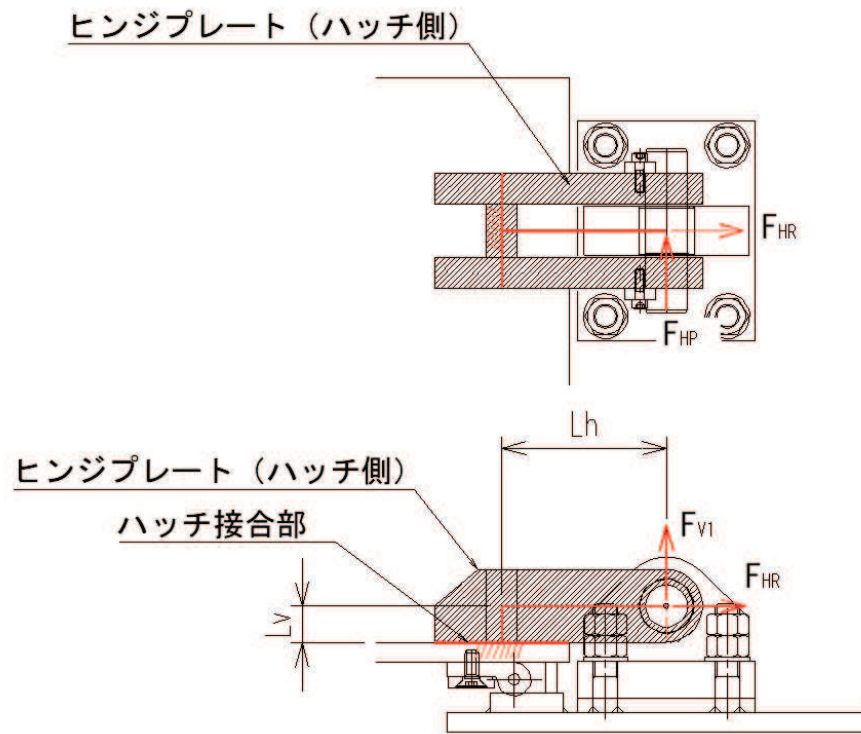
$L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

$Z_1$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm<sup>3</sup>)

$Z_2$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm<sup>3</sup>)

$A_1$  : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

図5-6 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部

$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$       ここで、

$\sigma_N = F_{V1} / A_2$

$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_3$

$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_3$

$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_4$

$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$

$\tau_R = F_{HR} / A$

$\tau_P = F_{HP} / A$

$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$

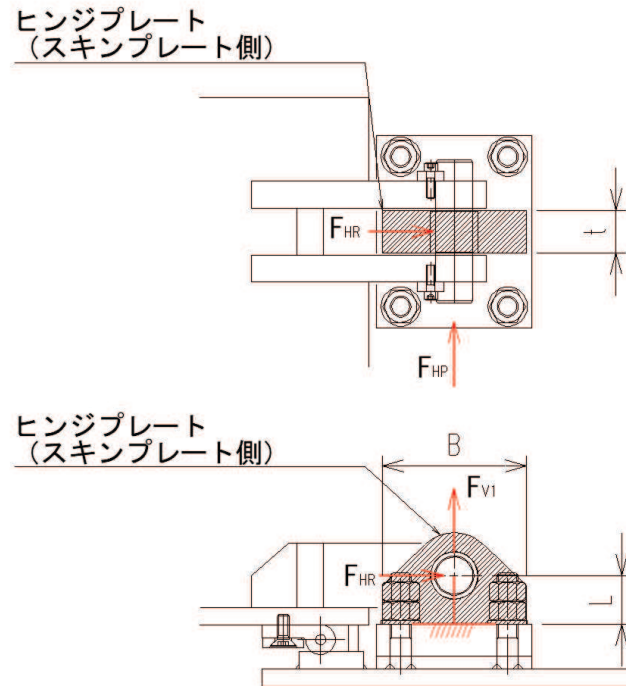
$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$

- $\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bR}$  : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_{bV1}$  : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_R$  : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_{PX}$  : 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- $F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- $L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- $L_v$  : ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
- $Z_3$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm<sup>3</sup>)
- $Z_4$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm<sup>3</sup>)
- $Z_p$  : 極断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $A_2$  : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

図5-6 (2) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

#### 5.5.4.2 ヒンジプレート（スキンプレート側）

ヒンジプレート（スキンプレート側）のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式を図5-7に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bR}$  : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_R$  : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$L$  : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

$Z_1$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$Z_2$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A$  : ヒンジプレート（スキンプレート側）の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$B$  : ヒンジプレート幅 (mm)

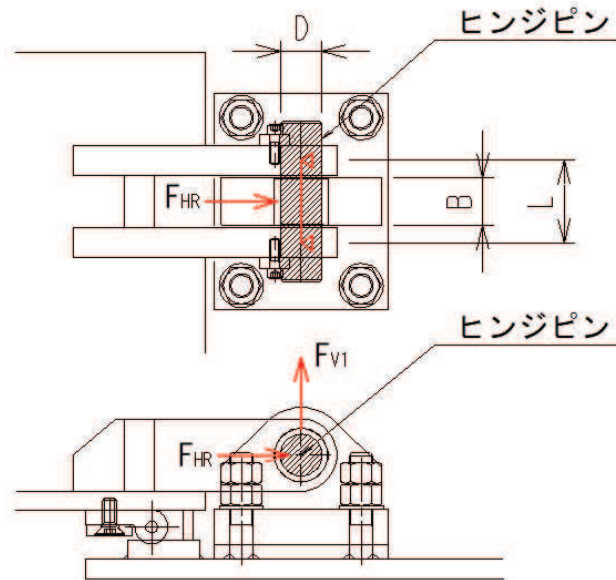
$t$  : ヒンジプレート板厚 (mm)

図5-7 ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式



### 5.5.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図5-8に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : ヒンジ支点間距離 (mm)

$B$  : 荷重の載荷長 (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

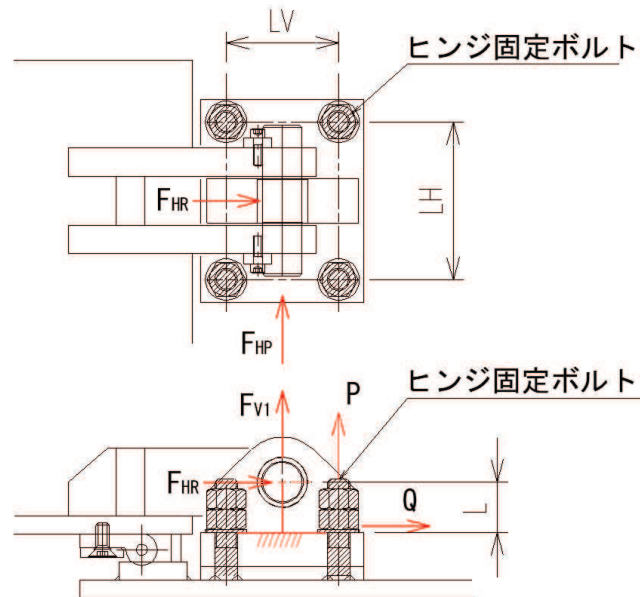
$A$  : ヒンジピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$D$  : ヒンジピンの直径 (mm<sup>2</sup>)

図5-8 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図5-9に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : ボルト引張力 (kN)

$P_R$  : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

$P_P$  : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

$P_V$  : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

$Q$  : ボルトせん断力 (kN)

$Q_R$  : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

$Q_P$  : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : ヒンジ基部ーピン穴間距離 (mm)

$L_V$  : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

$L_H$  : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

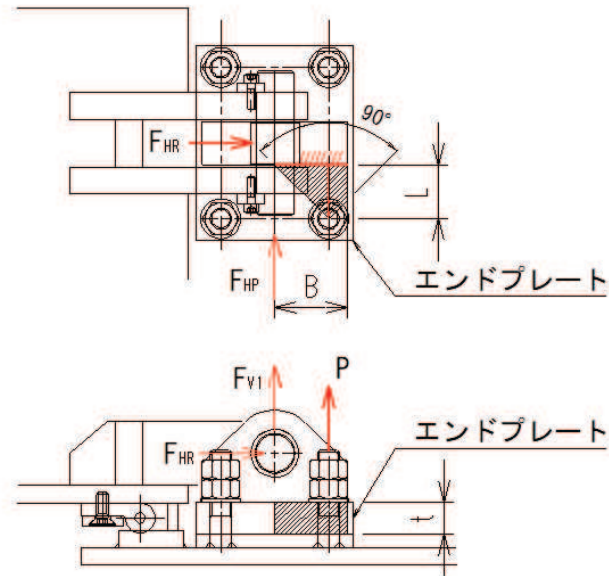
$N_H$  : 回転軸平行方向のボルト本数

$N_V$  : 回転軸直角方向のボルト本数

図5-9 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図5-10に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{VI} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : ボルト引張力 (kN)

$P_R$  : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

$P_P$  : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

$P_V$  : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : 有効断面幅 (mm)

$A$  : エンドプレートの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

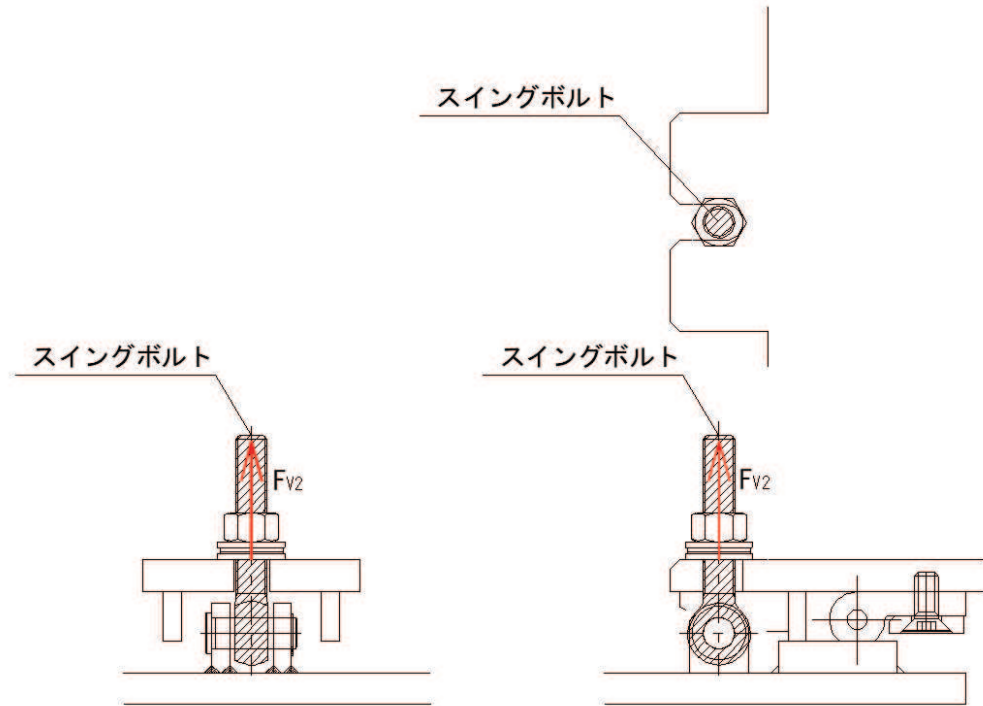
$L$  : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)

$t$  : エンドプレートの板厚 (mm)

図5-10 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図5-11に示す



$$\sigma = F_{v2} / A$$

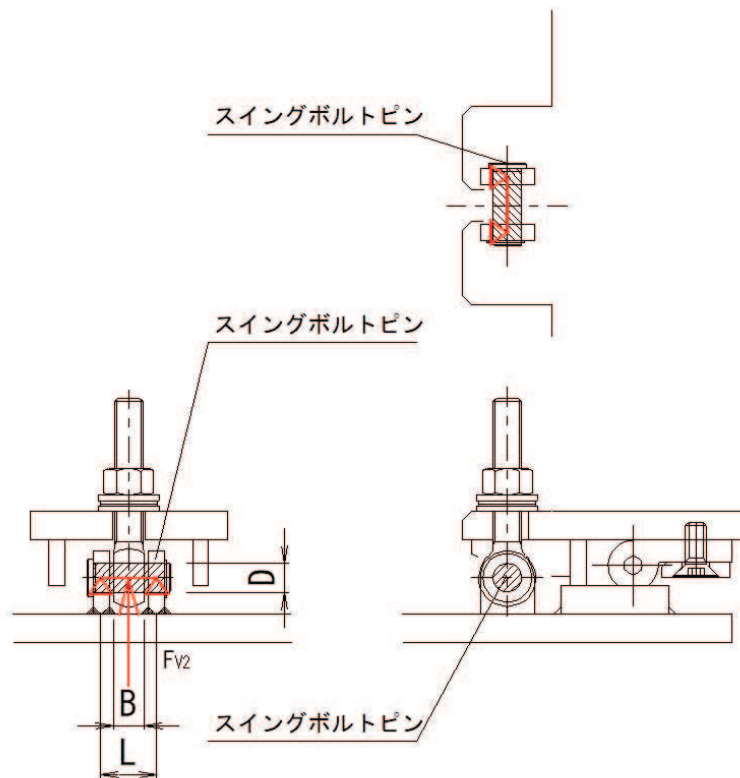
ここで、

- $\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $A$  : スイングボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

図5-11 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 5-12 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

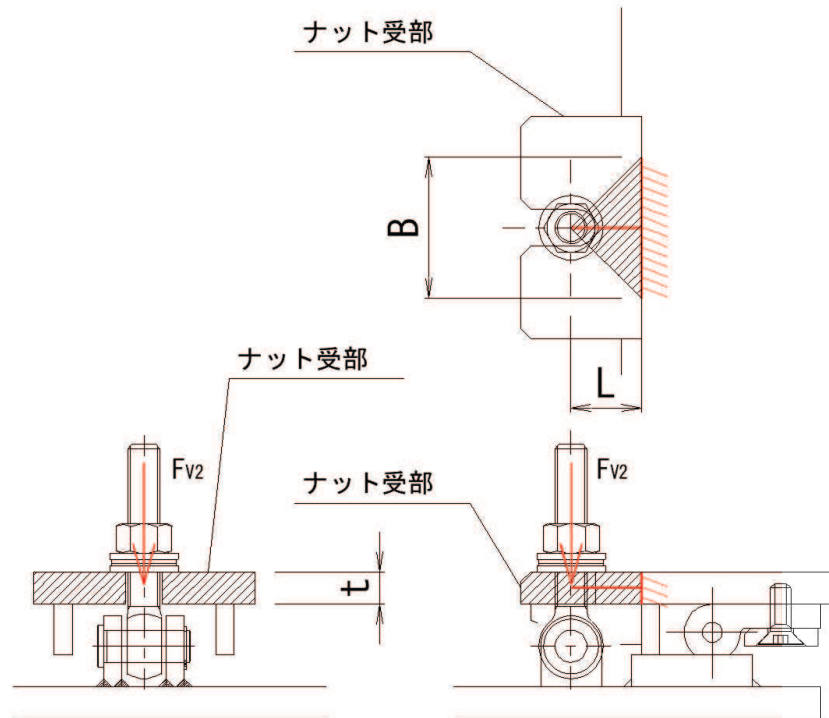
ここで，

- $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $L$  : ヒンジ支点間距離 (mm)
- $B$  : 荷重の载荷長 (mm)
- $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $A$  : スイングボルトピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $D$  : ピンの直径 (mm)

図 5-12 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受部のモデル図及び応力算定式を図5-13に示す



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : 腕長さ (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : 有効断面幅 (mm)

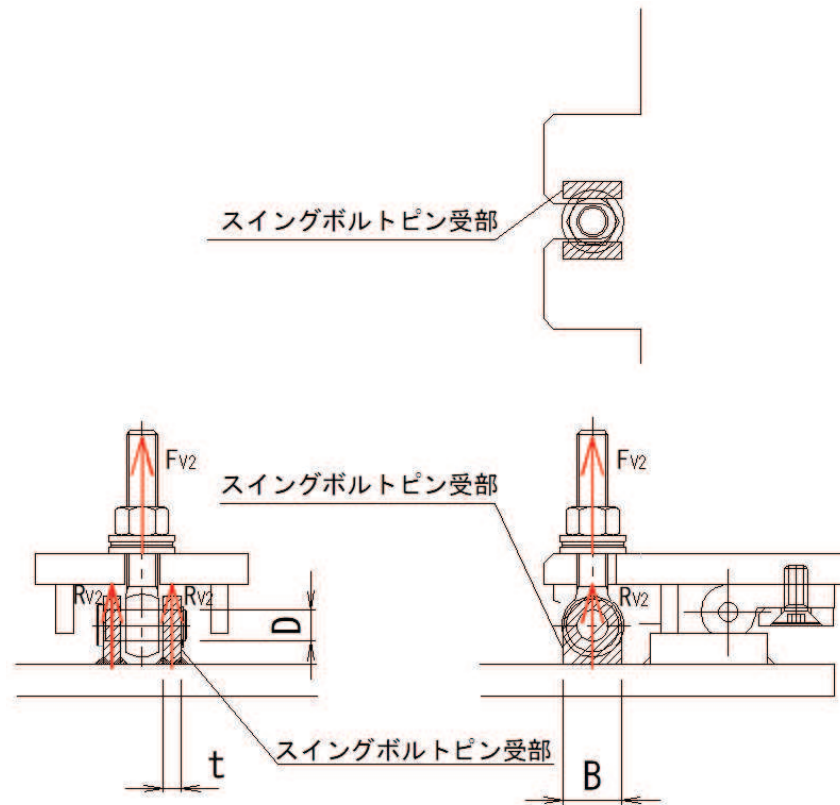
$A$  : ナット受部の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$t$  : ナット受部の板厚 (mm)

図5-13 ナット受部のモデル図及び応力算定式

#### 5.5.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 5-14 に示す



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- $\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $R_{v2}$  : スイングボルトピン受部が負担する縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{v2}$  : 縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $A$  : スイングボルトピン受部断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $B$  : スイングボルトピン受部の幅 (mm<sup>2</sup>)
- $t$  : スイングボルトピン受部の板厚 (mm<sup>2</sup>)

図 5-14 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

## 5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-6 に示す。

表 5-6 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
スキンプレート	G	kN	スキンプレートの固定荷重	4.94
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	0.72
	A	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積	2.39
	L <sub>1</sub>	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	770
	L <sub>2</sub>	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	927
	β <sub>2</sub>	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレートの厚さ	16
受桁	G	kN	スキンプレートと受桁の固定荷重	6.14
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	0.72
	L <sub>3</sub>	mm	受桁の負担幅	822
	L <sub>4</sub>	mm	受桁全長	1485
	A	m <sup>2</sup>	受桁のせん断断面積	910
	Z	mm <sup>4</sup>	受桁の断面係数	2.13×10 <sup>5</sup>
固定ボルト	G	kN	スキンプレートの固定荷重	4.94
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	0.72
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	24
	A'	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの有効断面積	157



表 5-6 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.02
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.02
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.02
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.02
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_v$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_h$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_h$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_v$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-6 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	0.26
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.23
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160
スイングボルト	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	157
スイングボルトピン	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	402
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	201
ナット受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	121.50

表 5-6 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.78
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	1.02
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.78
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	1.02
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.78
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.78
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	1.02
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_v$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_h$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_h$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_v$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-6 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	0.45
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0.18
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.23
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160
スイングボルト	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	157
スイングボルトピン	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	402
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	201
ナット受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.919
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	121.50

6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 (1) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
スキンプレート	曲げ	6	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	7	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
受桁	曲げ	5	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	10	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
固定ボルト	引張	3	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0

表 6-1 (2) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	4	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	4	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	2	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	2	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	1	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	1	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	3	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	2	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	3	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
エンドプレート	曲げ	2	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	2	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
スイングボルト	引張	6	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	13	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	13	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
ナット受部	曲げ	11	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	11	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	4	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0

表 6-1 (3) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	6	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	6	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	3	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	3	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	4	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	5	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	4	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
エンドプレート	曲げ	4	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	4	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
スイングボルト	引張	6	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	13	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	13	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
ナット受部	曲げ	11	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	11	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	4	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0

## 7. 揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の耐震評価

### 7.1 概要

揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）（以下、「揚水井戸」という。）は、鋼製シャフトからなる構造物であり、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介し  $C_M$  級岩盤に設置する。揚水井戸の頂部開口部に浸水防止蓋を設置する。

揚水井戸に要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。



## 7.2 評価方針

揚水井戸の耐震評価は地震応答解析に基づき実施し、表 7-1 に示すとおり、構造部材の健全性及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

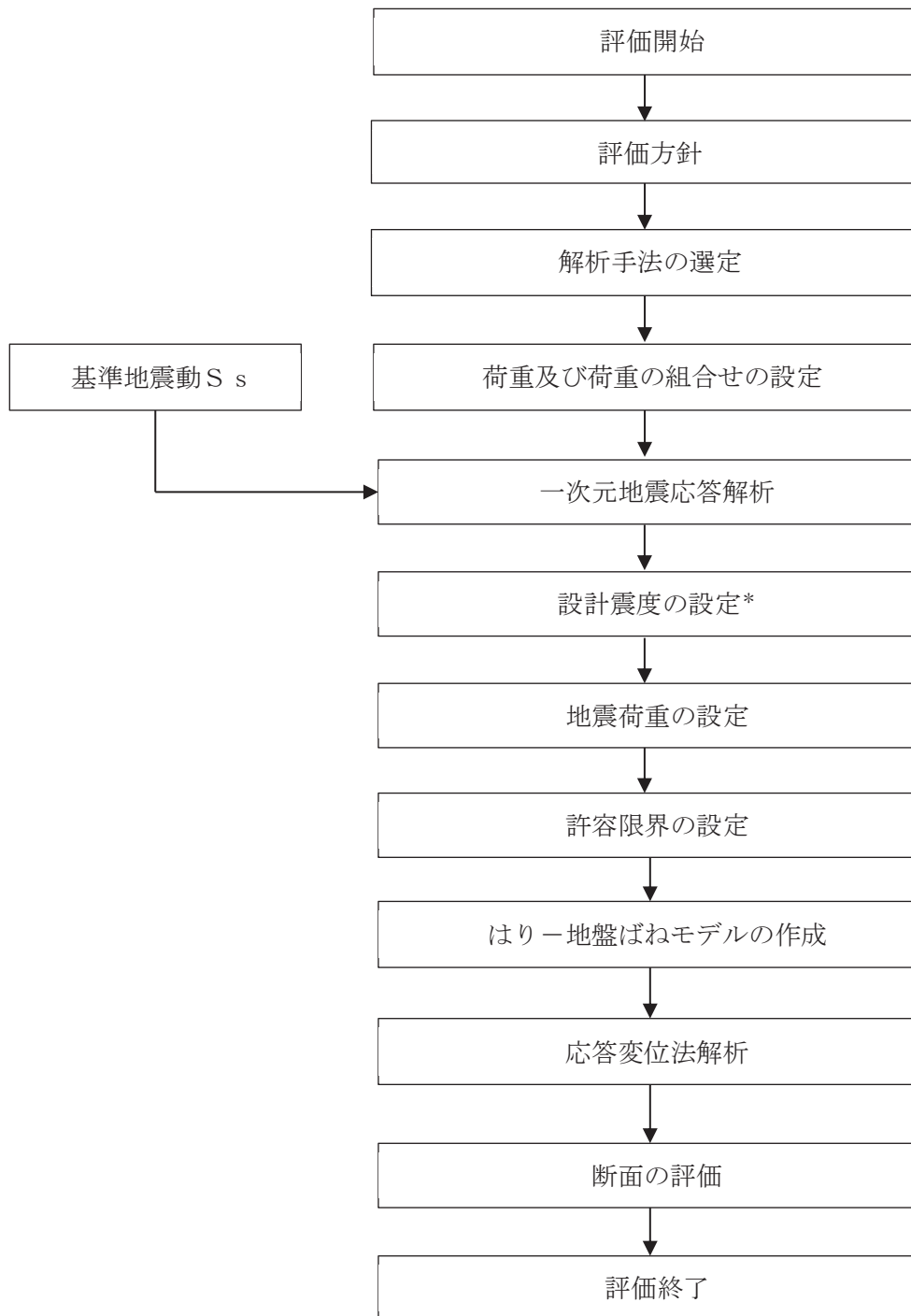
構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。なお、構造部材のうち地表面の浸水防止蓋接合部の健全性評価については、「別紙2 浸水防止蓋接合部の健全性評価」に示す。

揚水井戸の耐震評価フローを図 7-1 に示す。

表 7-1 揚水井戸の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鋼製シャフト	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*

注記\*： 妥当な安全余裕を考慮する。



注記\*：一次元地震応答解析にて算出された最大加速度による設計震度を設定する。

図 7-1 揚水井戸の耐震評価フロー

### 7.3 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。また，各項目で適用する規格・基準類を表 7-2 に示す。

- (1) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- (2) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)

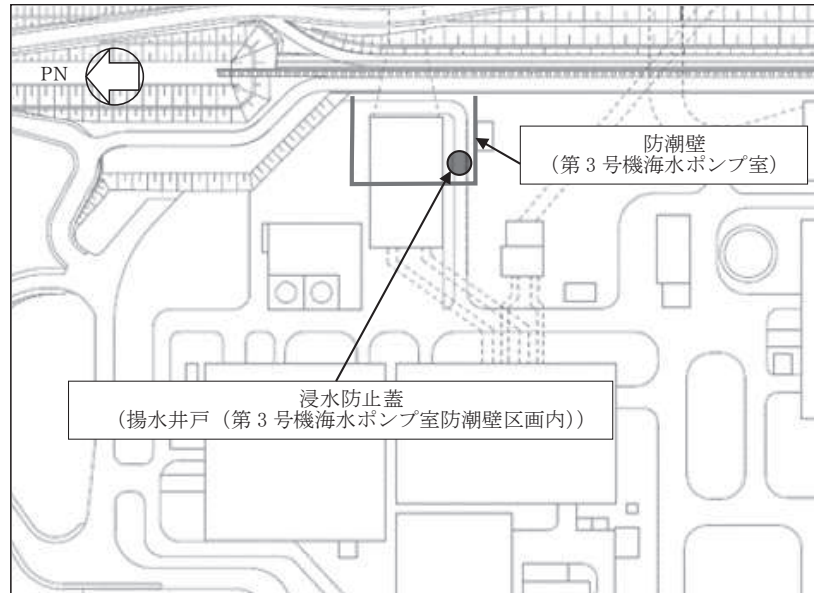
表 7-2 各項目で適用する規格・基準類

項目	適用する規格，基準類	備考 (参照先)
使用材料及び材料定数	・ 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編	—
一次元地震応答解析	・ 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987)	・ 地盤モデルの節点間隔の設定
許容限界	・ 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編	—
応答変位法解析	・ 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編	・ 応答変位法解析に用いる地盤ばねの設定

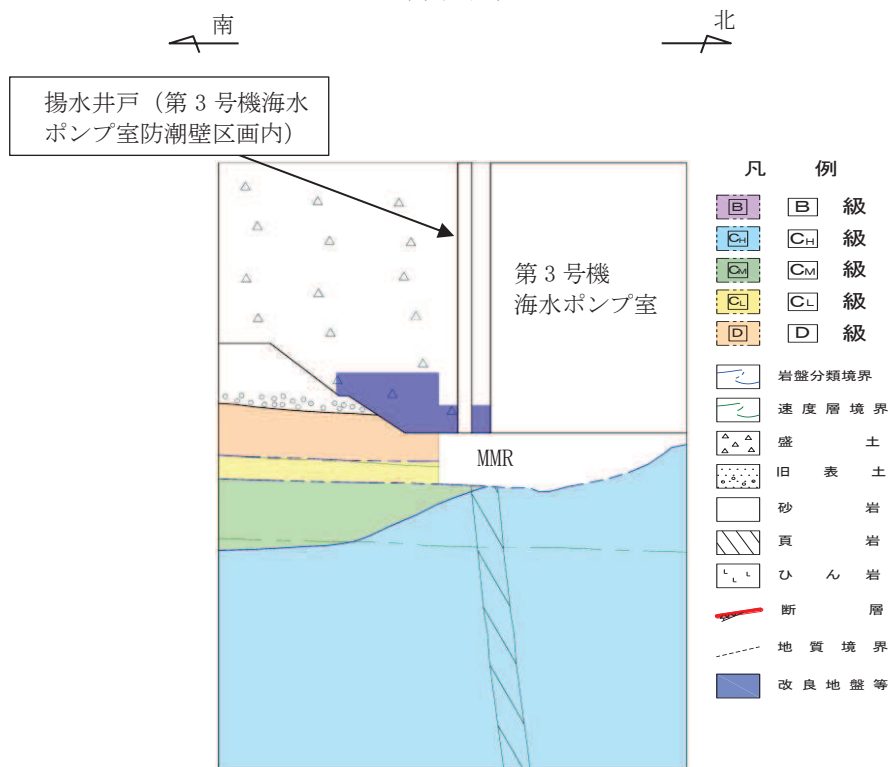
## 8 地震応答解析

### 8.1 位置

揚水井戸の設置位置を図 8-1 に示す。



(平面図)



(断面図 (南北方向))

図 8-1 揚水井戸の設置位置

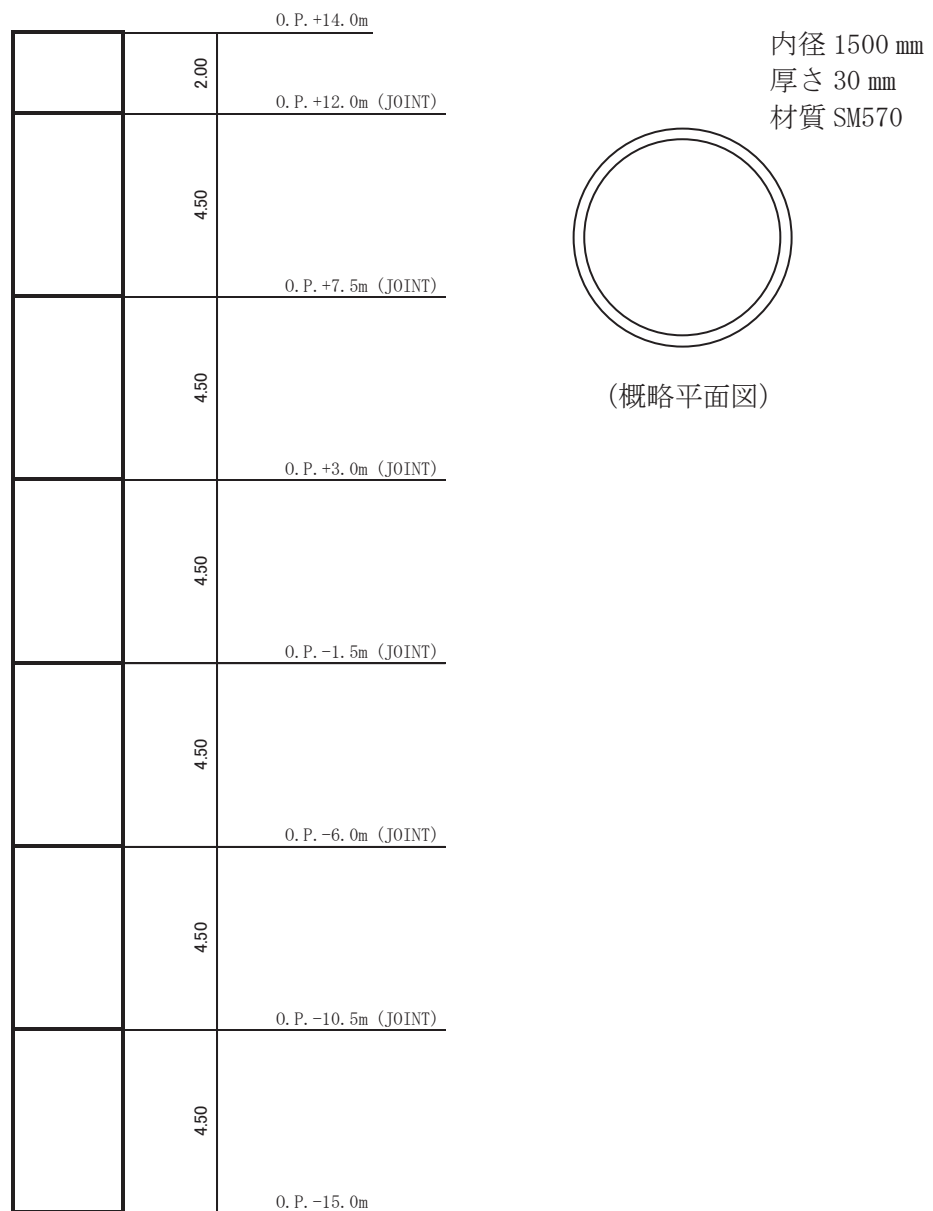
## 8.2 構造概要

揚水井戸は、防潮壁（第3号機海水ポンプ室）内に設置し、浸水防止蓋の間接支持構造物となる。

揚水井戸は、全長 30.0m、内径 1500 mm、厚さ 30 mm、材質 SM570 の鋼製構造とし、4.5m 単位のシャフトを繋ぎ合わせて（ジョイント部\*）設置する。

構造概要を図 8-2 に、揚水井戸設置位置の地質断面図及び地質状況を図 8-3、図 8-4 に示す。

注\* 施工上の継ぎ目



(概略断面図) (単位: m)

図 8-2 揚水井戸 構造概要図

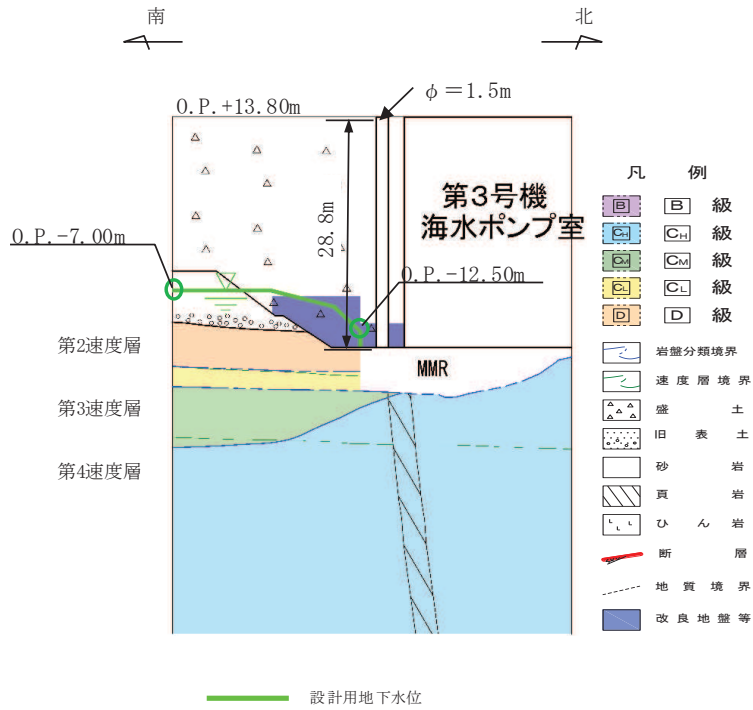


図 8-3(1) 揚水井戸周辺の地質断面図 (南北)

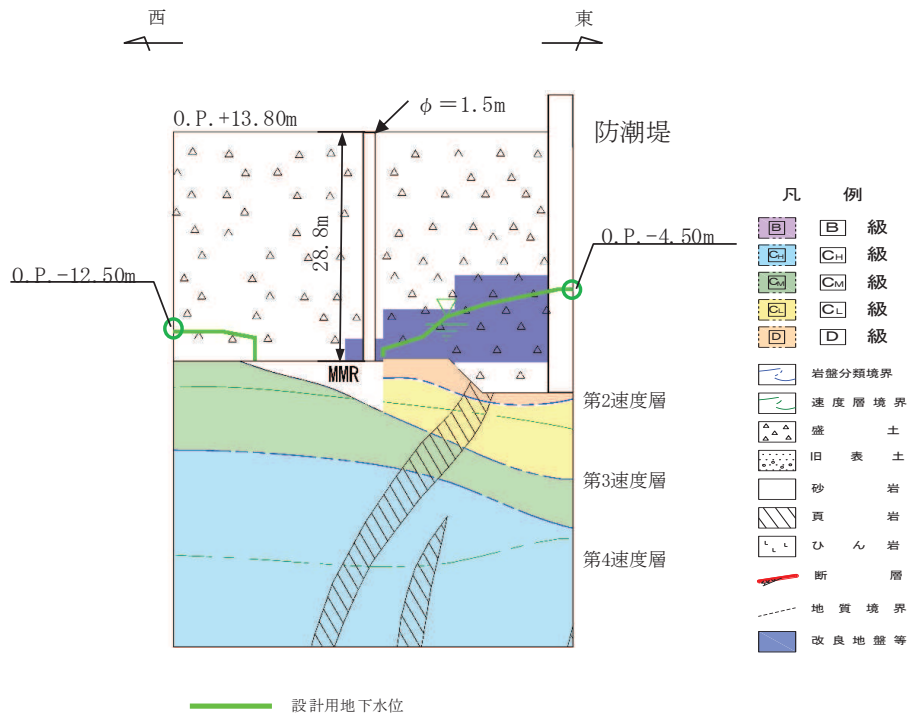


図 8-3(2) 揚水井戸周辺の地質断面図 (東西)

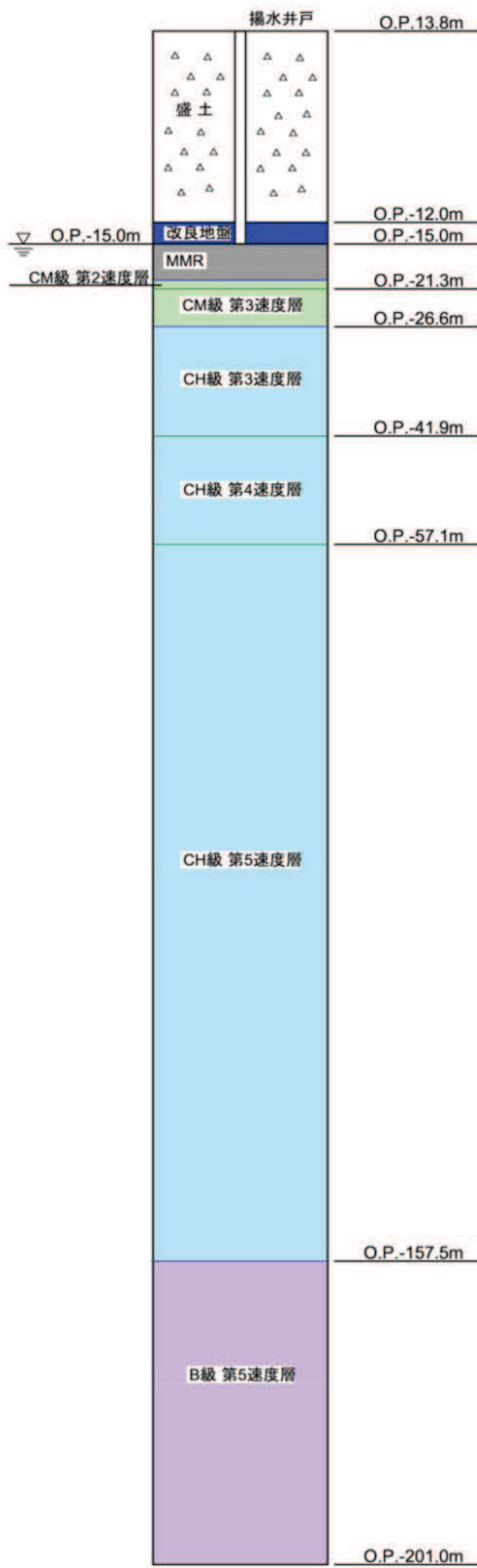


図 8-4 揚水井戸設置位置の地質状況

### 8.3 評価方針

揚水井戸設置位置の地盤の応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  に対して実施する。

地盤の応答解析は、「8.3 地盤の応答解析モデル」において設定した地盤モデルに基づき「8.4 地盤応答」を評価する。

地盤モデルには、地盤物性の不確かさを考慮し、地盤応答として地盤の地表面最大応答加速度を算出する。



#### 8.4 地盤の応答解析モデル

地盤の応答解析は、基準地震動  $S_s$  を用いて添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を踏まえて算定する。設計用震度は、入力地震動を地震応答解析モデルに入力して評価用地震動から算定する。

地震応答解析の概念を図 8-5 に、入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 8-6 に示す。揚水井戸は液状化の影響が及ばないように周囲を地盤改良するため、解析手法は図 8-7 に示す解析手法の選定フローに基づき全応力解析とする。また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようにモデル化し、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

地盤の応答解析では地盤物性のばらつきを考慮する。地盤物性のばらつき考慮ケースを表 8-1 に解析ケースを表 8-2 に示す。

解析コードには、引戻し解析に「SHAKE Ver1.6」を使用し、地盤の応答解析による設計震度及び地盤変位の算定には「TDAPⅢ Ver3.11」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

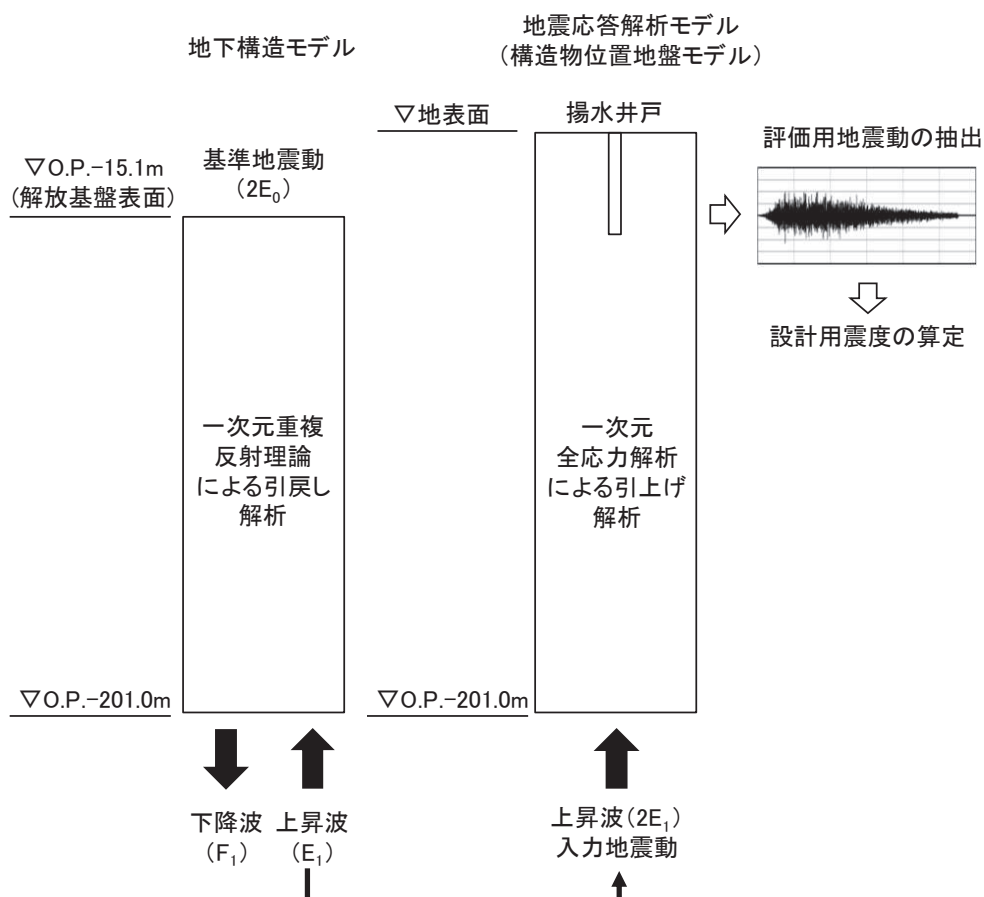


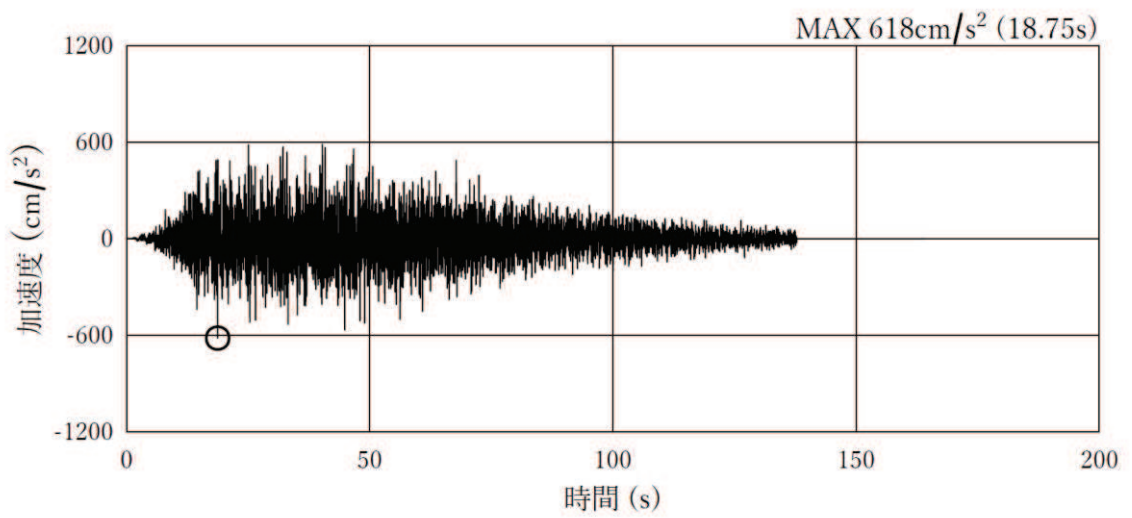
図 8-5 地震応答解析の概念

表 8-1 解析ケース (揚水井戸)

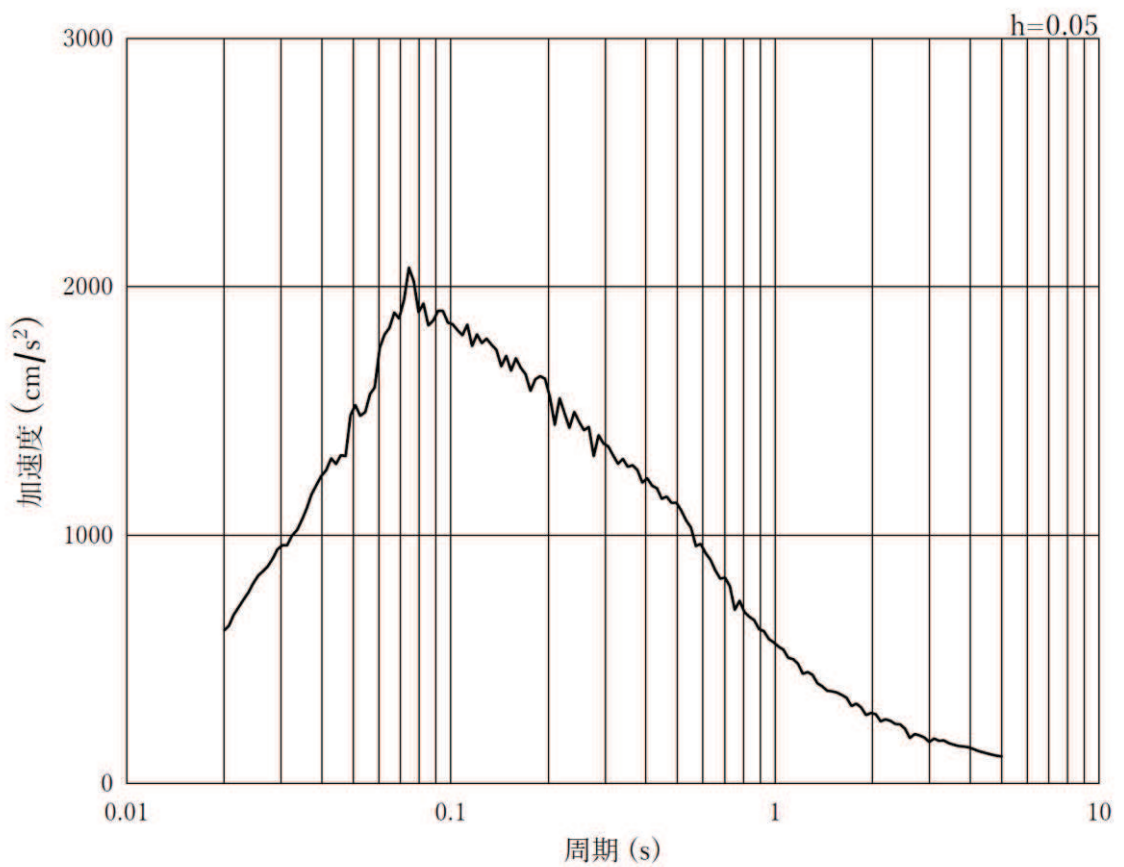
解析ケース	地盤物性
	盛土, 改良地盤 ( $G_0$ : 初期せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値
ケース②	平均値 + $1\sigma$
ケース③	平均値 - $1\sigma$

表 8-2 設計震度算定における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+ $1\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (- $1\sigma$ ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + $1\sigma$	平均値 - $1\sigma$
地震動	S s - D 1	○	○	○
	S s - D 2	○	○	○
	S s - D 3	○	○	○
	S s - F 1	○	○	○
	S s - F 2	○	○	○
	S s - F 3	○	○	○
	S s - N 1	○	○	○
	S d - D 2	○	○	○

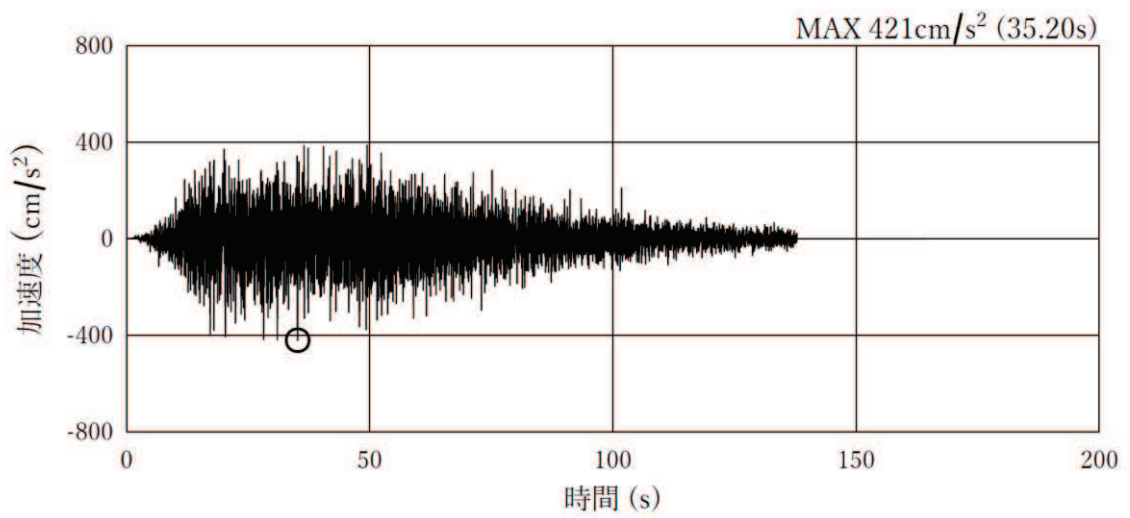


(a) 加速度時刻歴波形

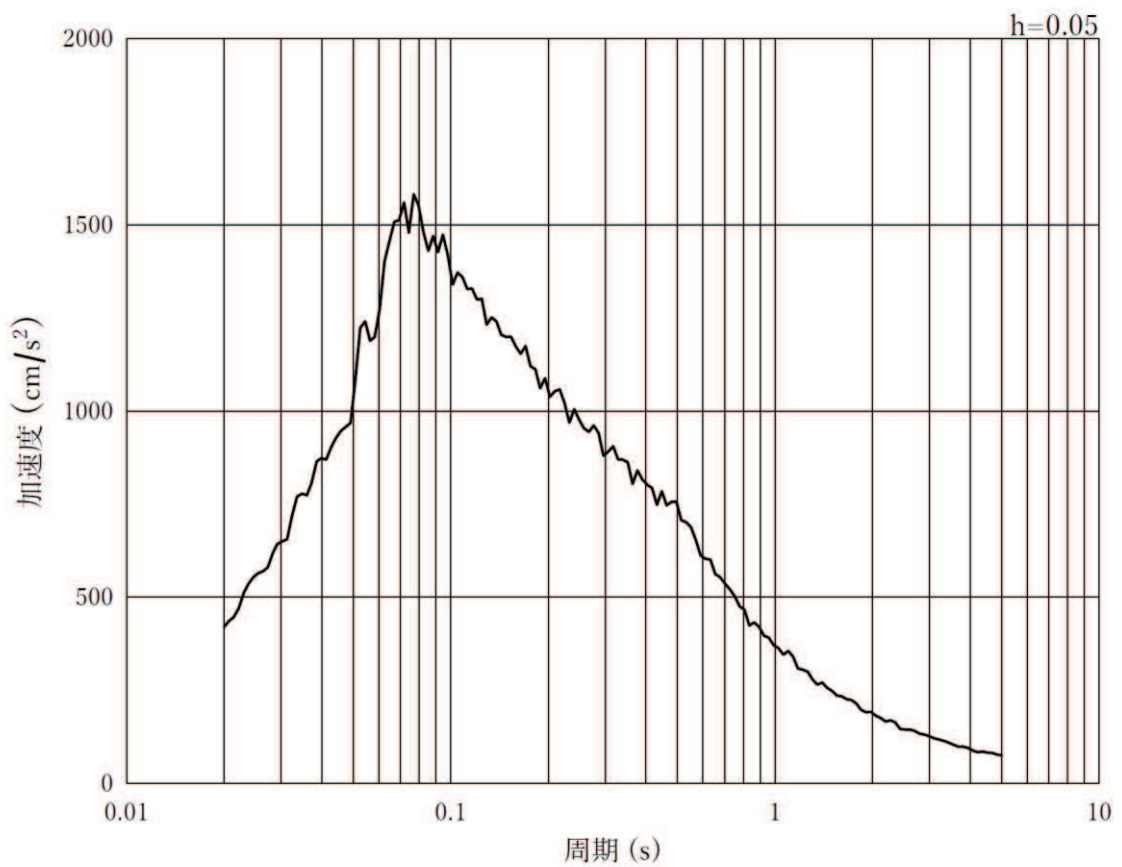


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - D 1)

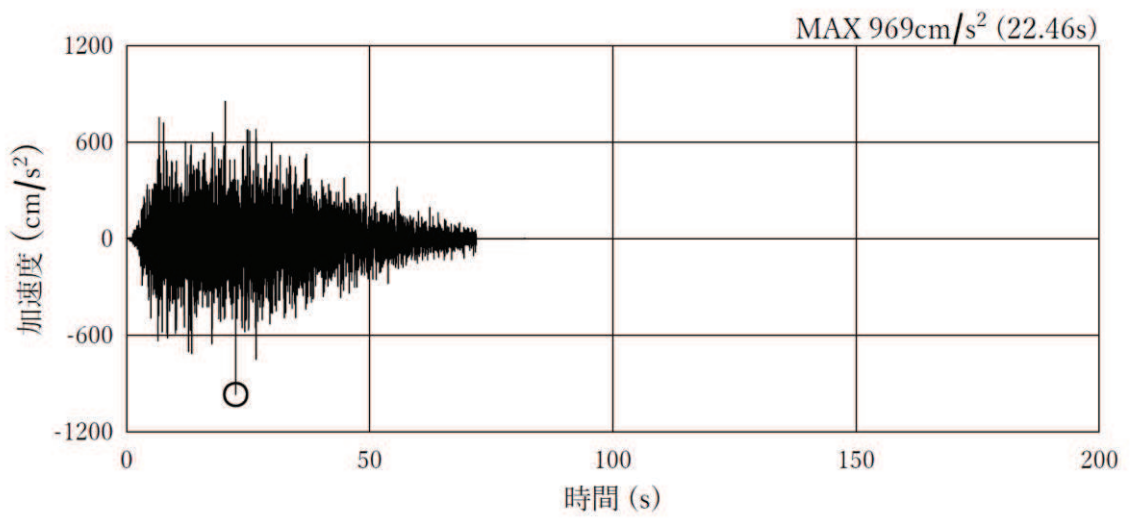


(a) 加速度時刻歴波形

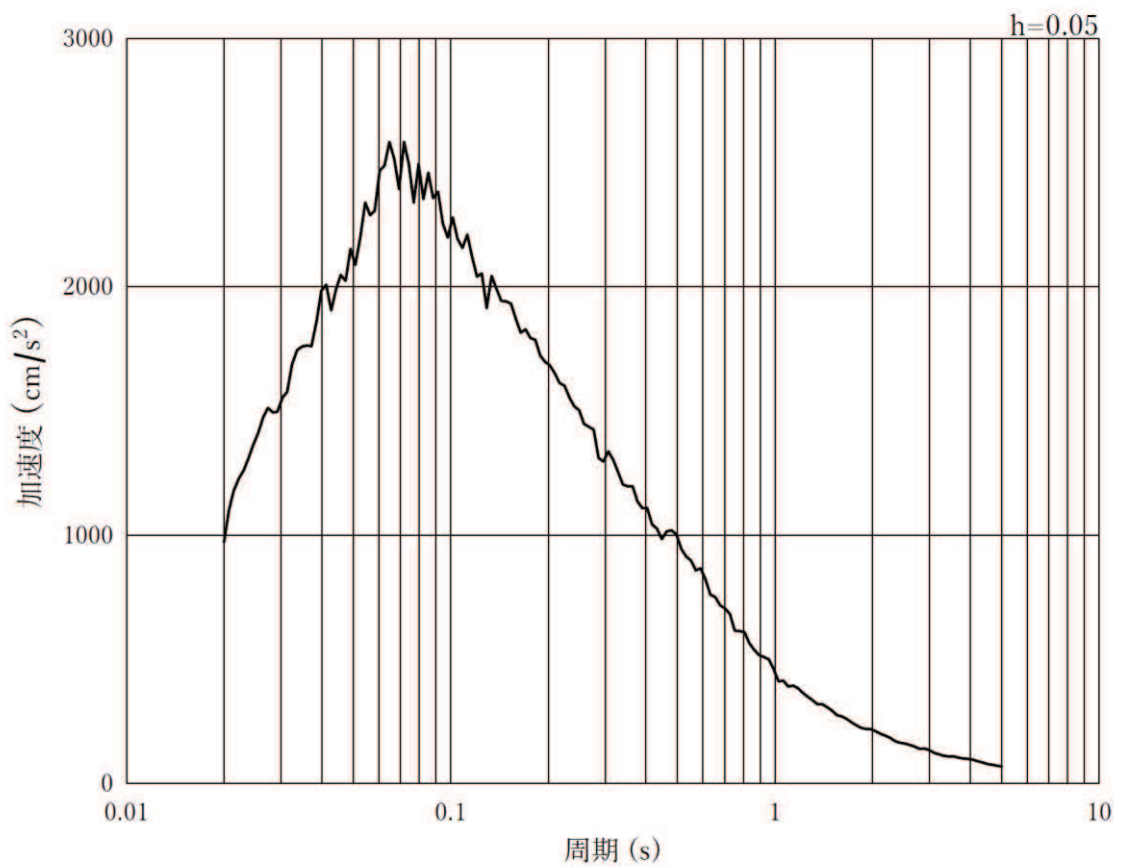


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - D 1)

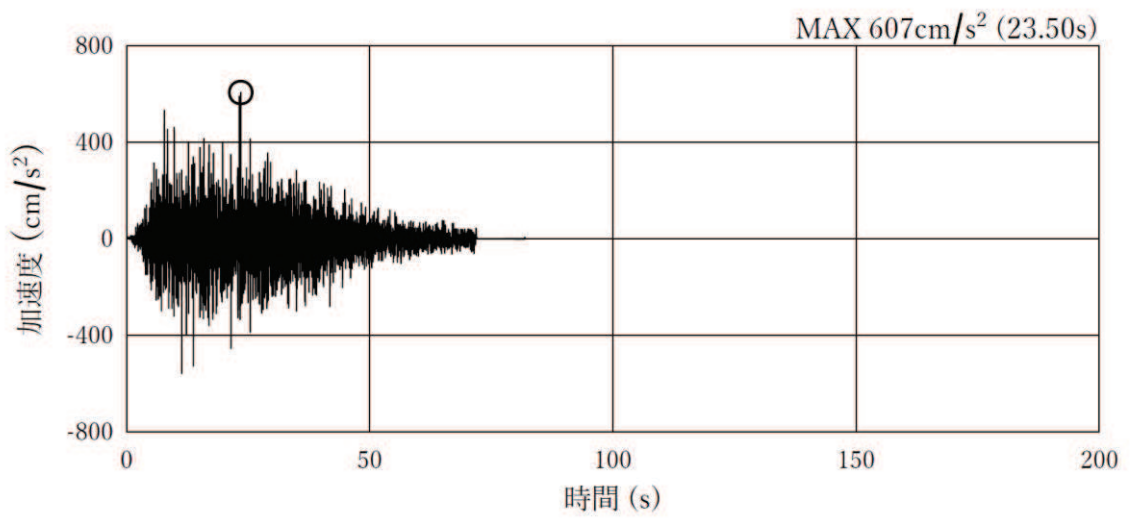


(a) 加速度時刻歴波形

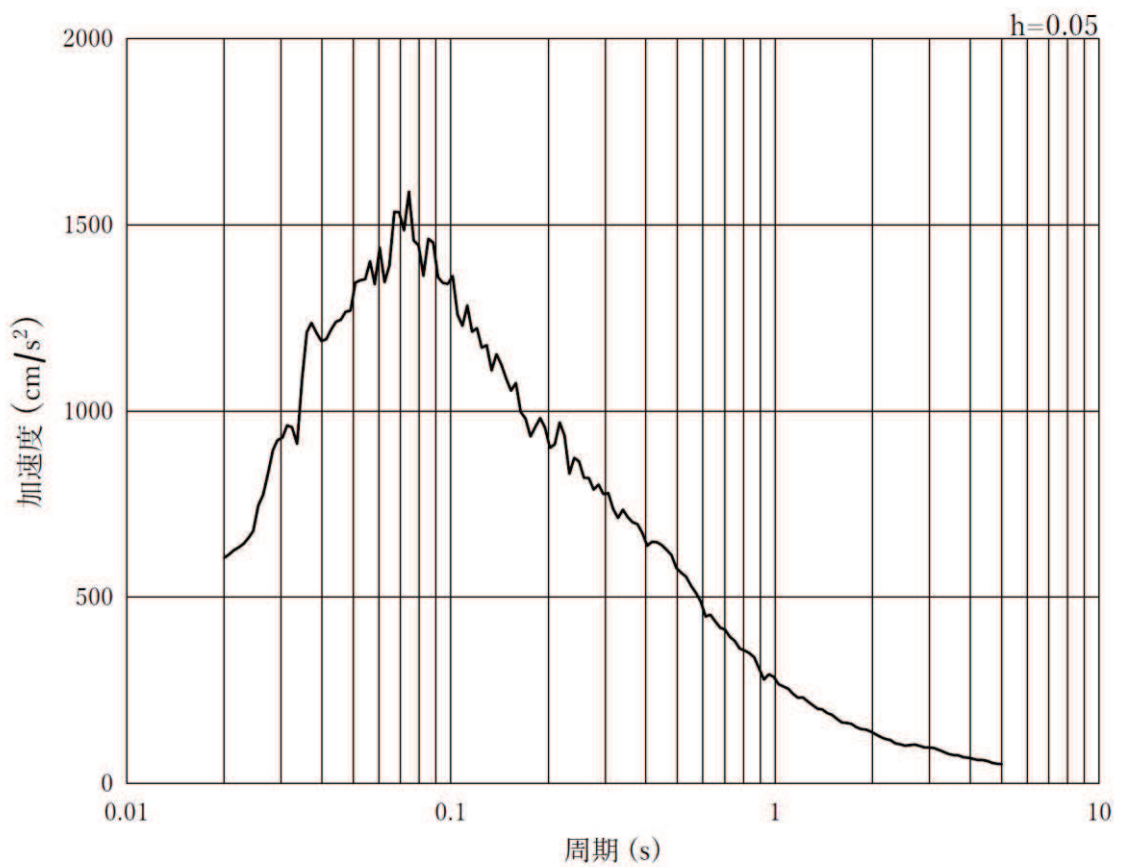


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - D 2)

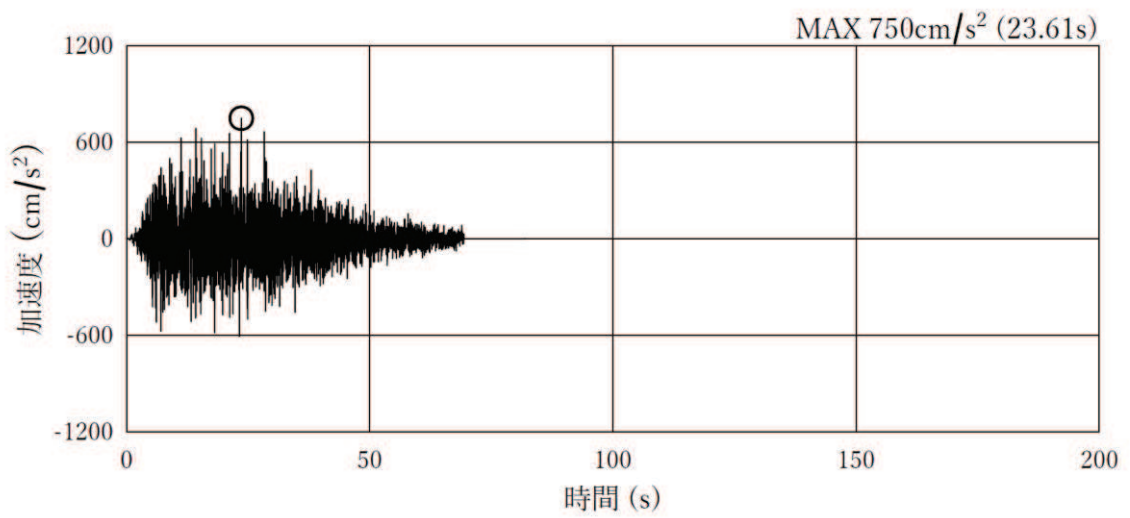


(a) 加速度時刻歴波形

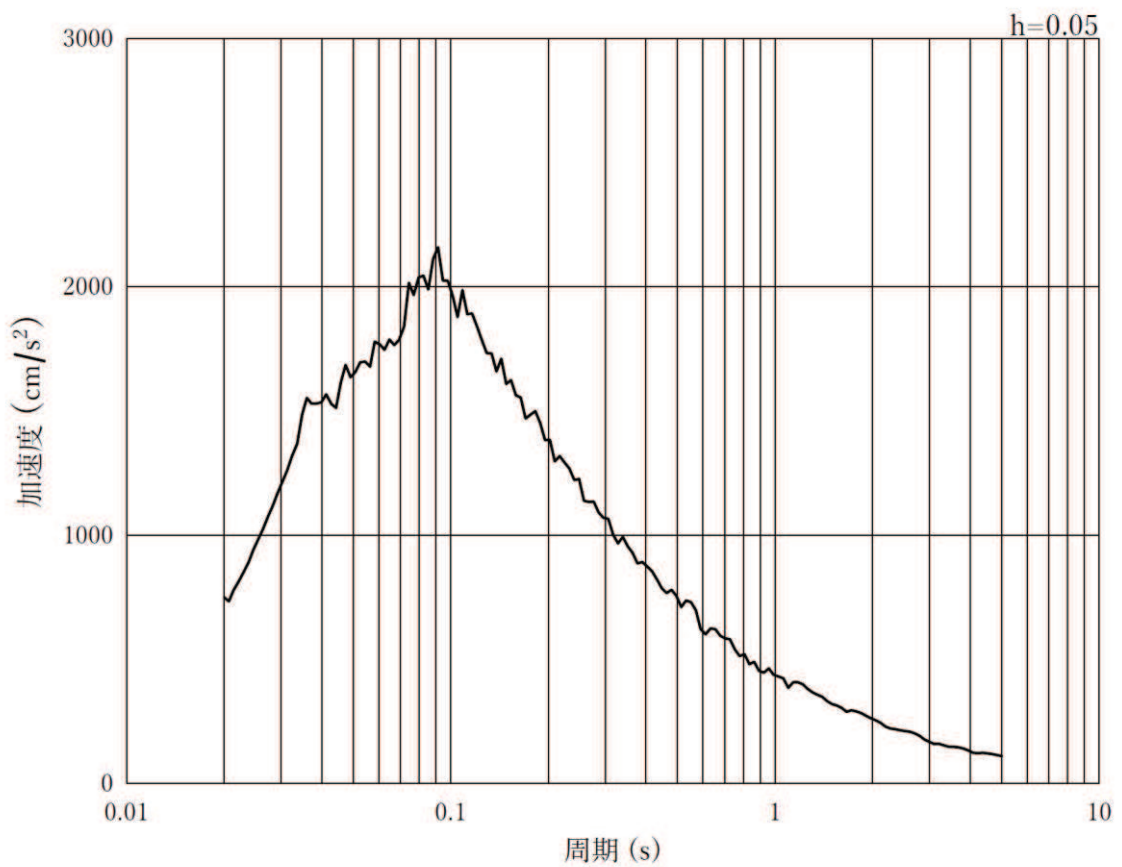


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - D 2)

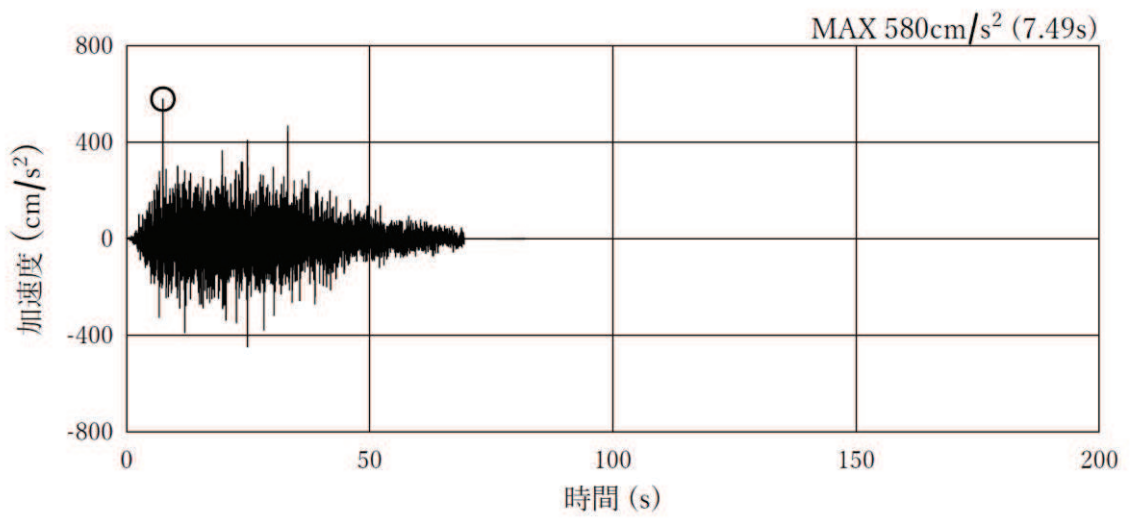


(a) 加速度時刻歴波形

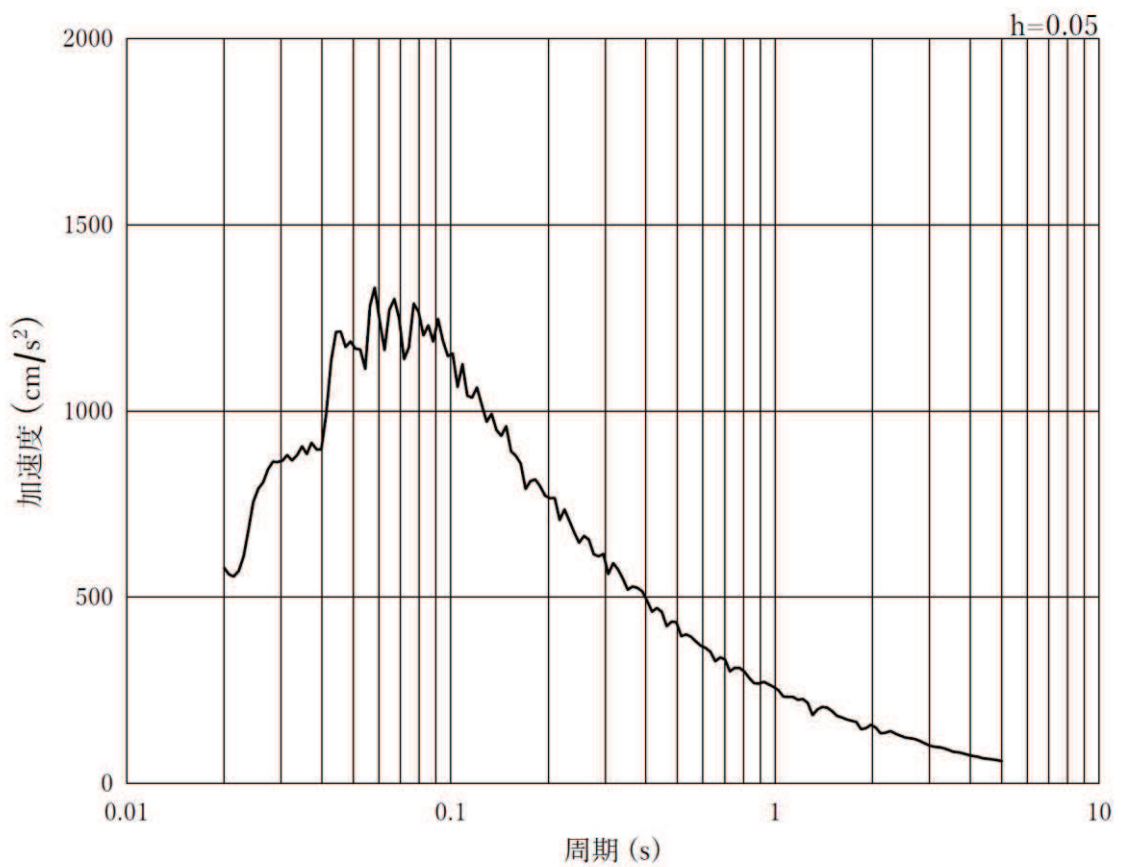


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - D 3)



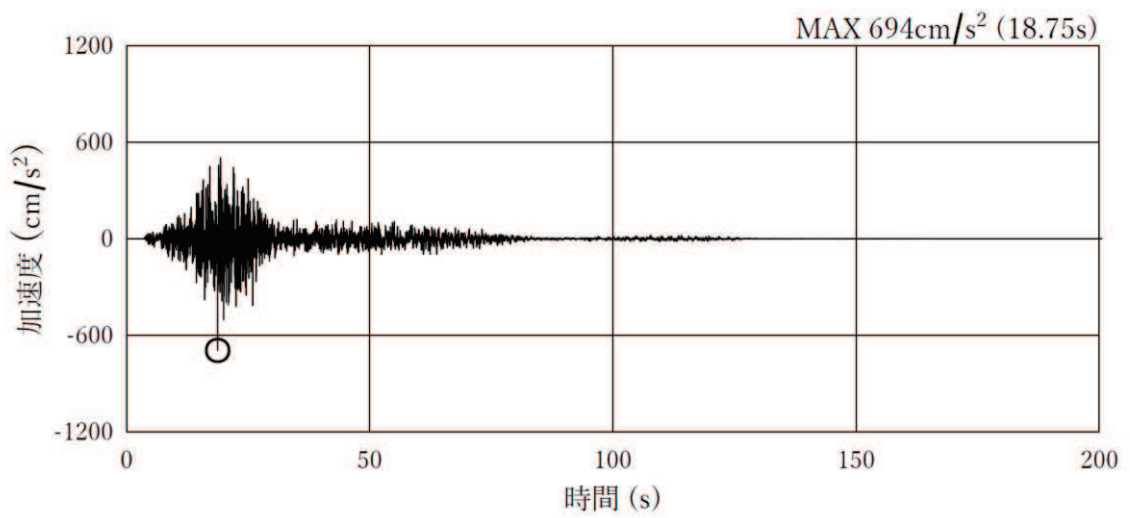
(a) 加速度時刻歴波形



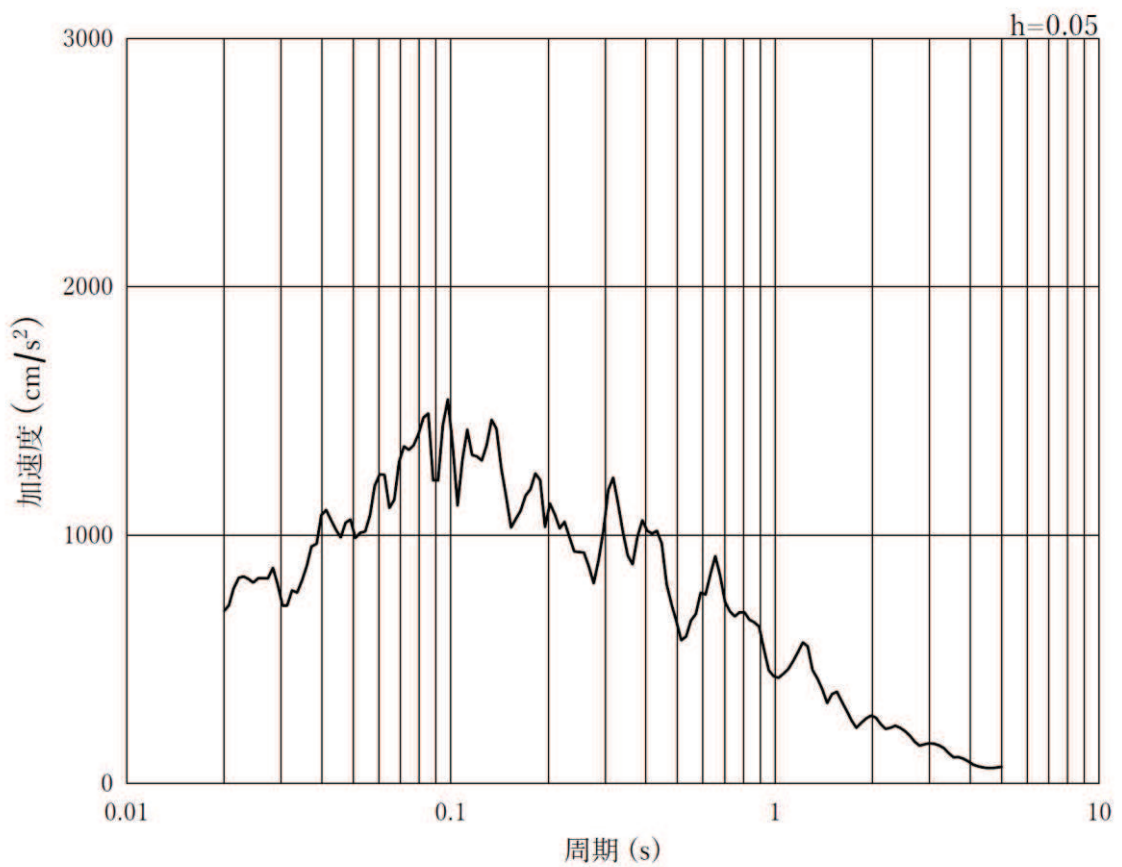
(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - D 3)



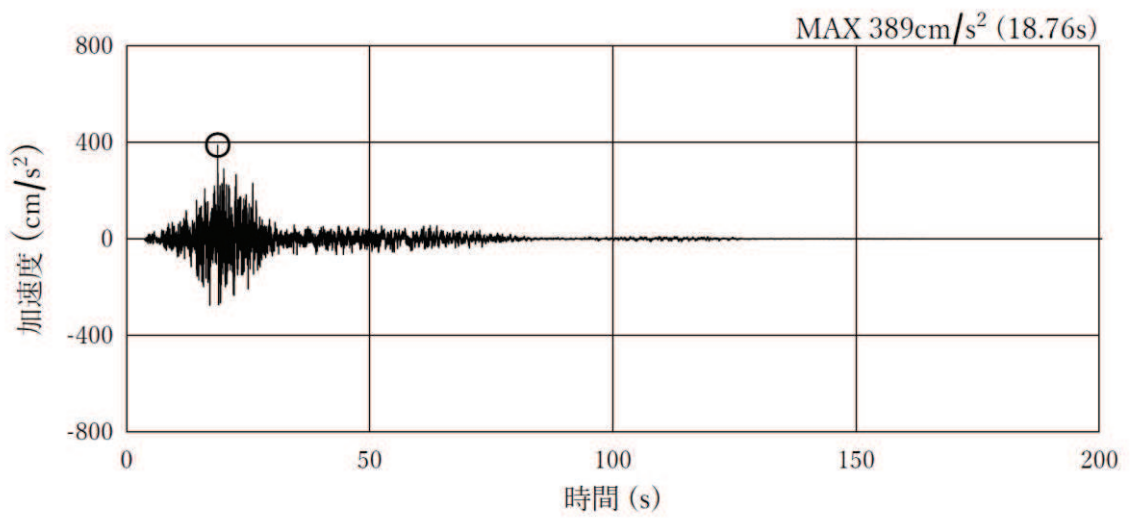


(a) 加速度時刻歴波形

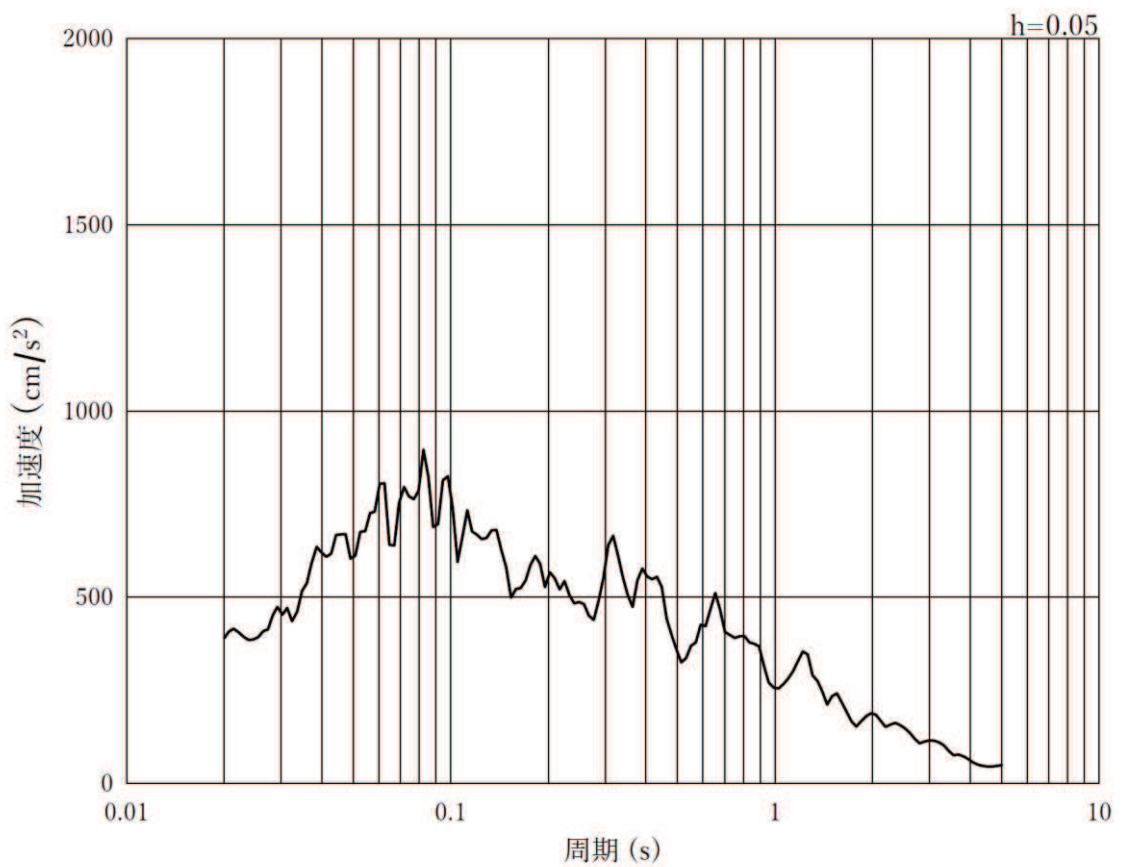


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - F 1)

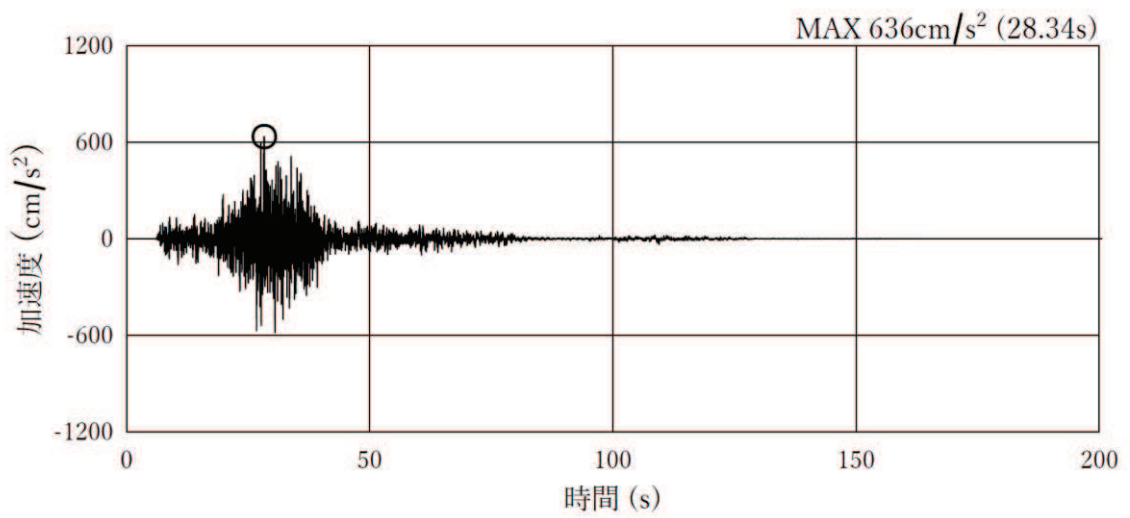


(a) 加速度時刻歴波形

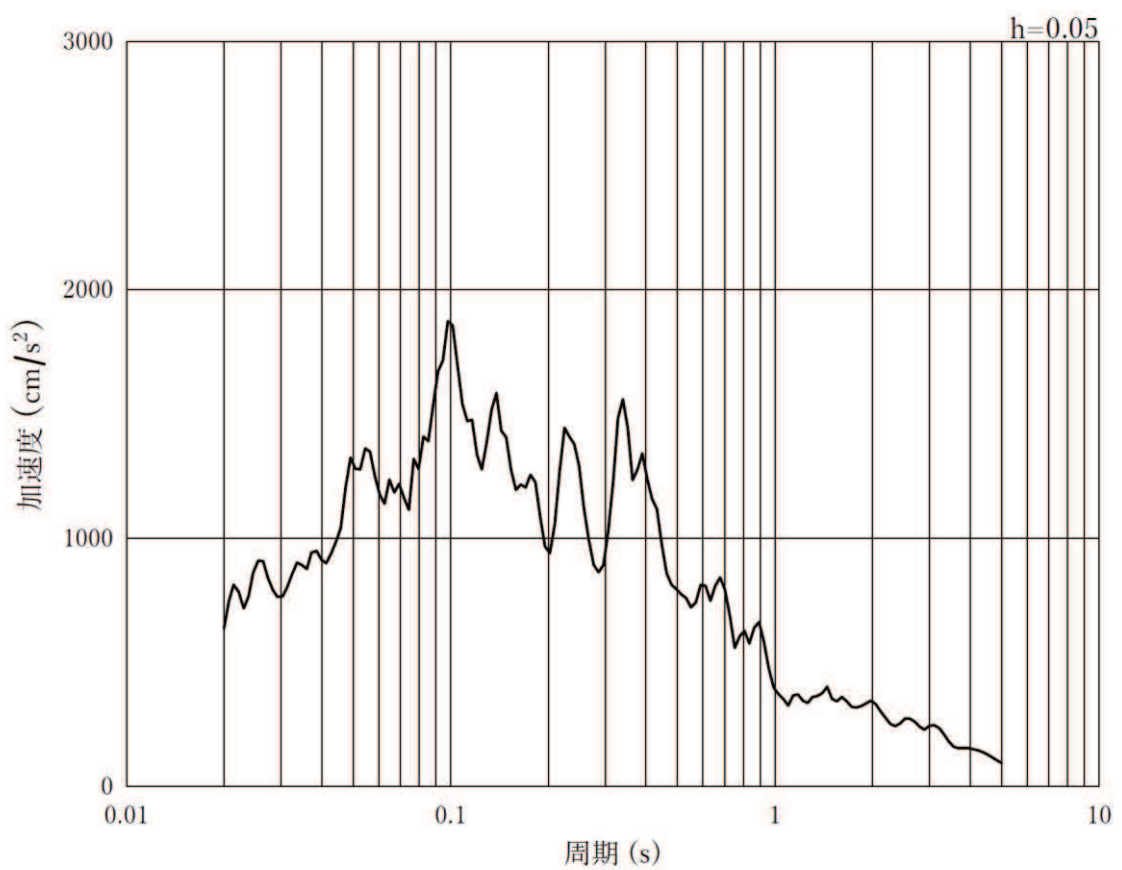


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - F 1)

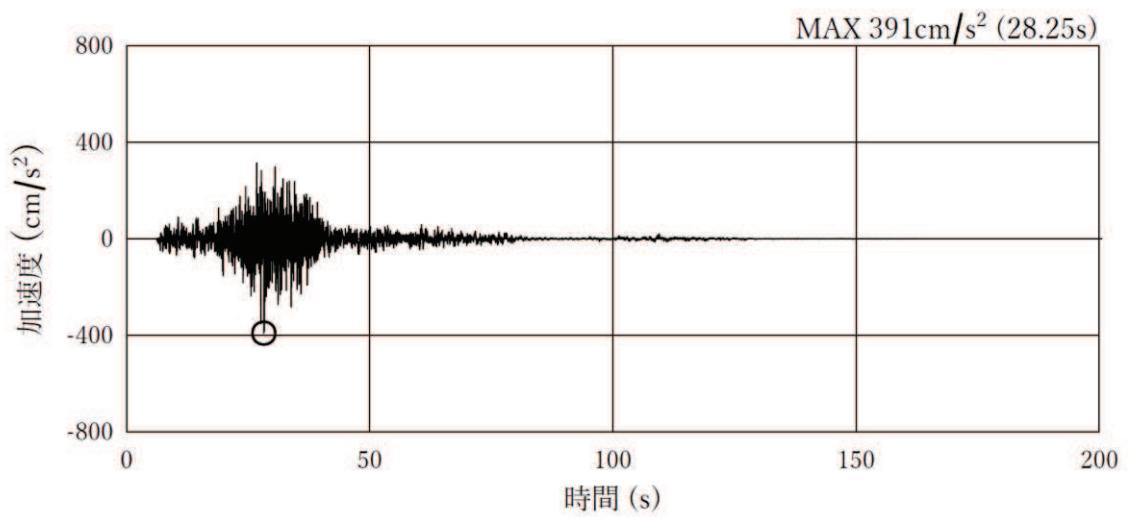


(a) 加速度時刻歴波形

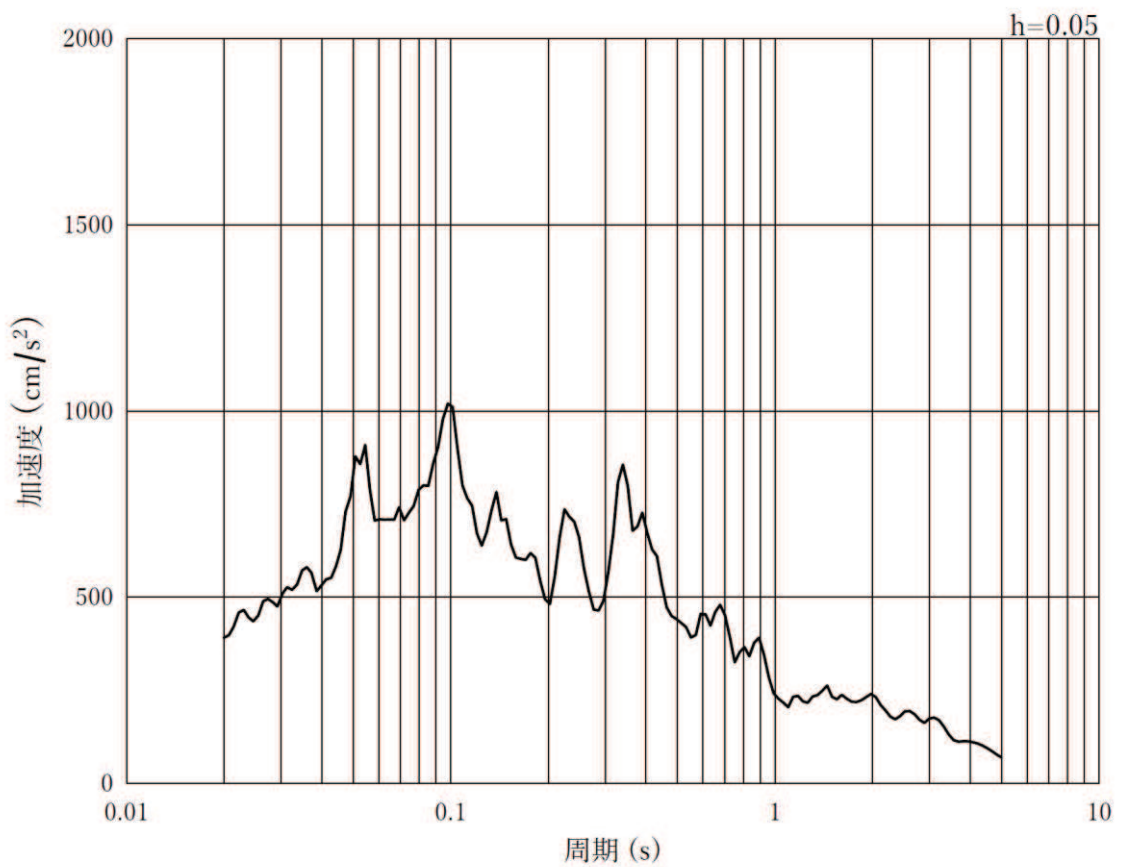


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - F 2)

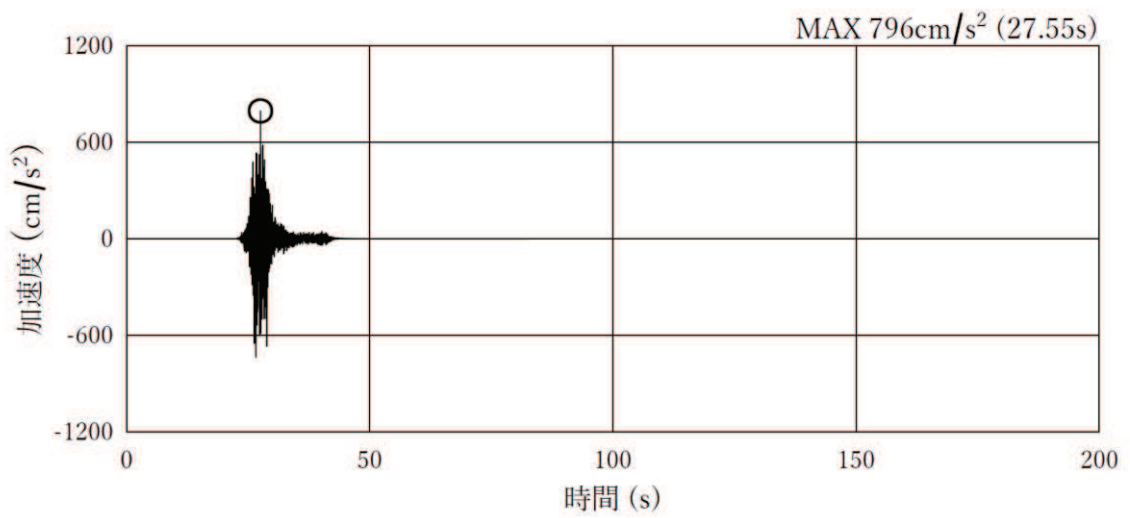


(a) 加速度時刻歴波形

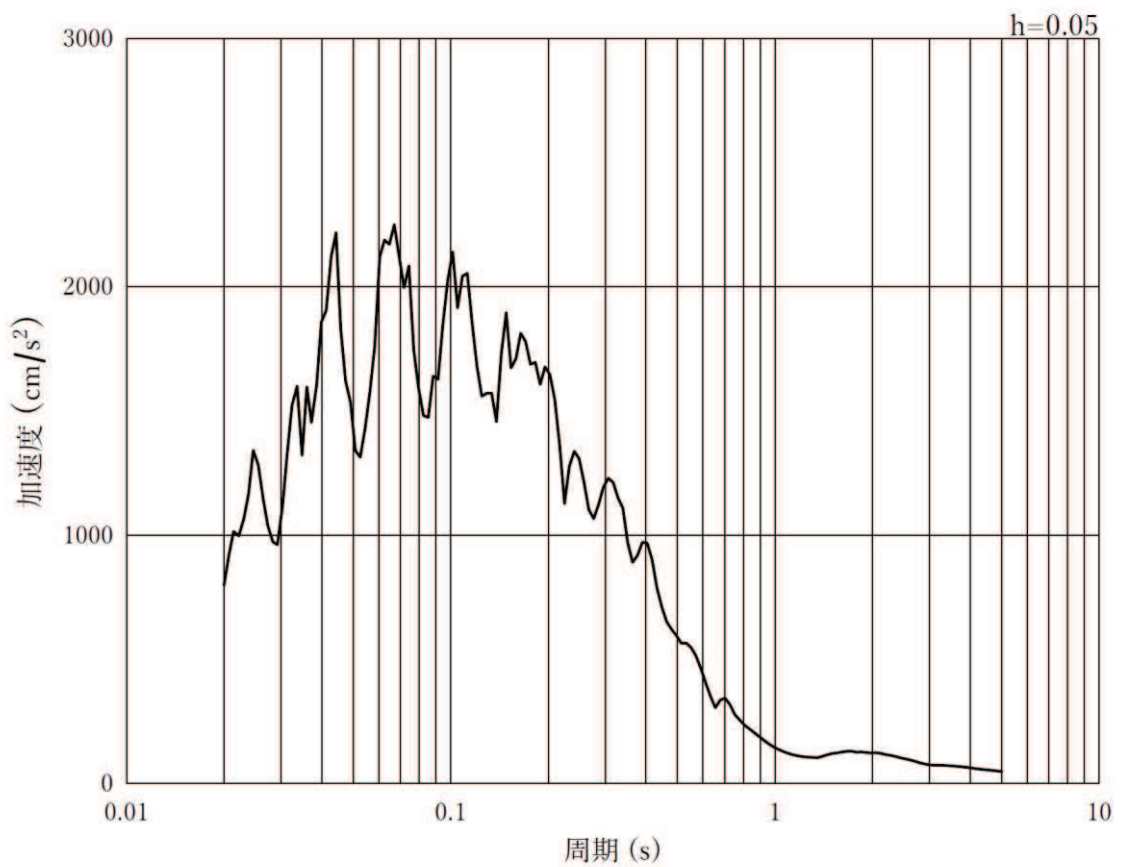


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - F 2)

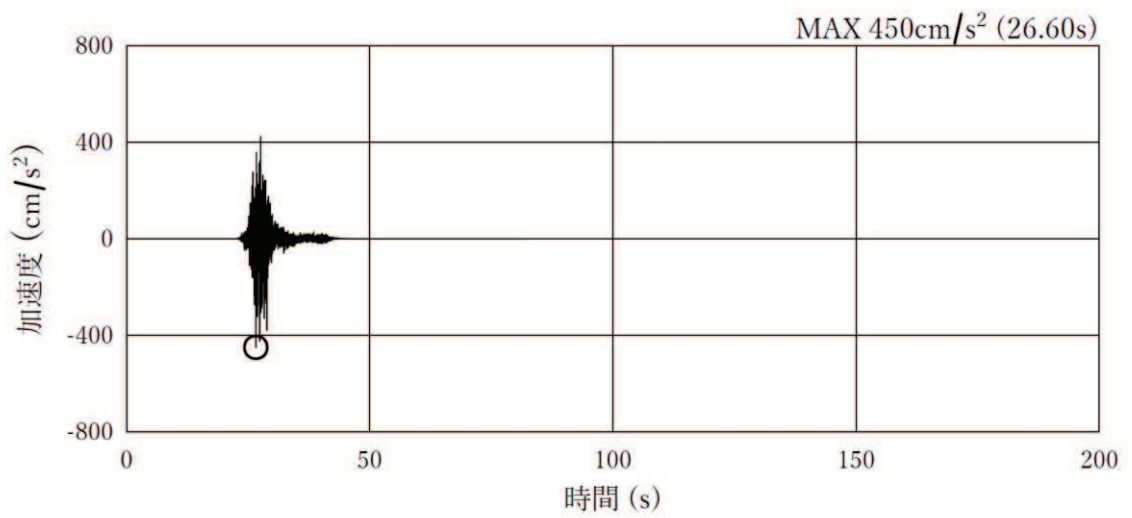


(a)加速度時刻歴波形

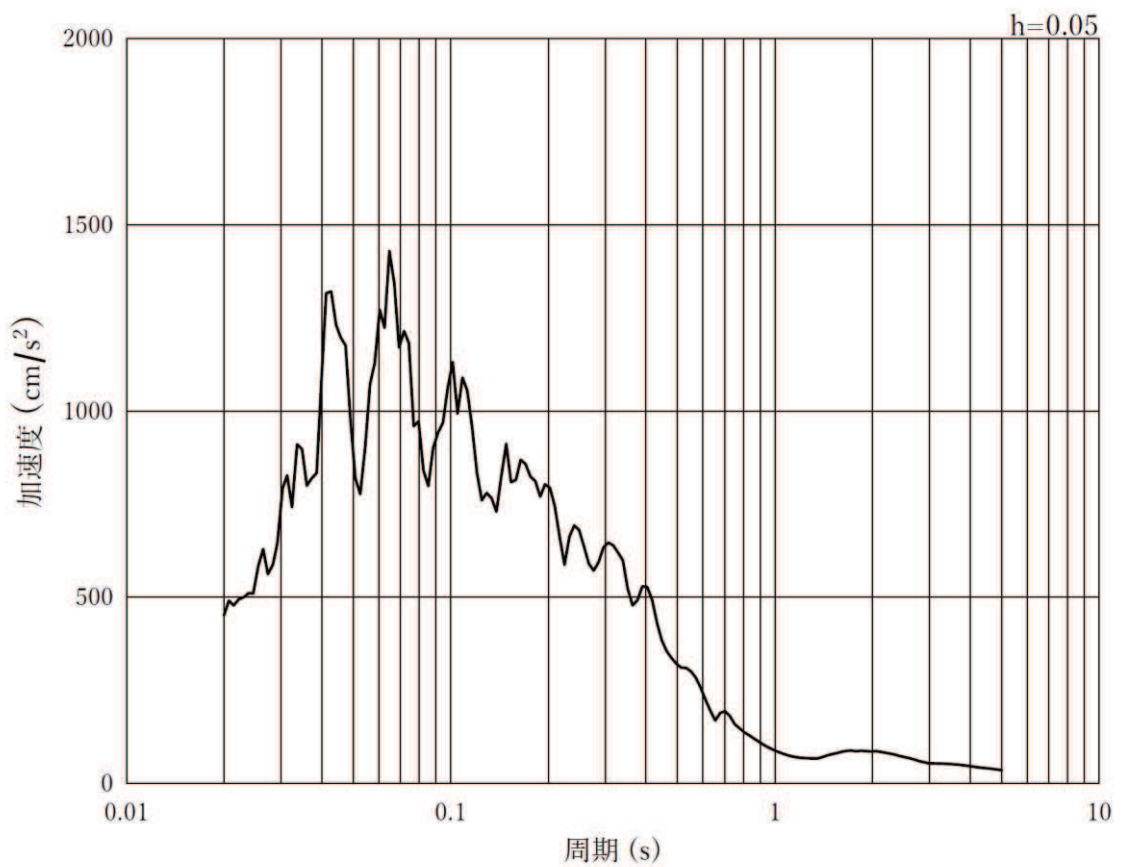


(b)加速度応答スペクトル

図 8-6(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - F 3)

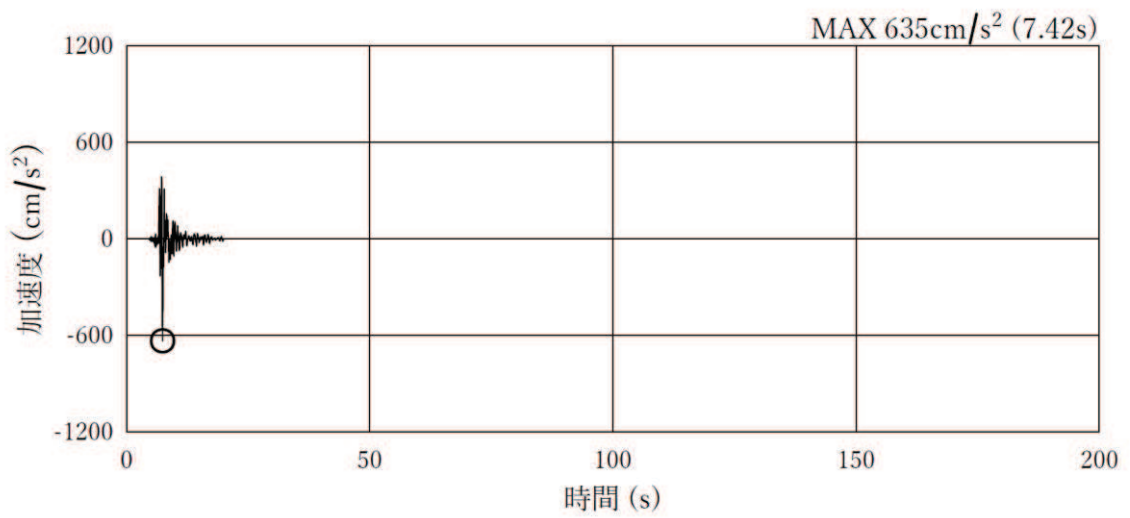


(a) 加速度時刻歴波形

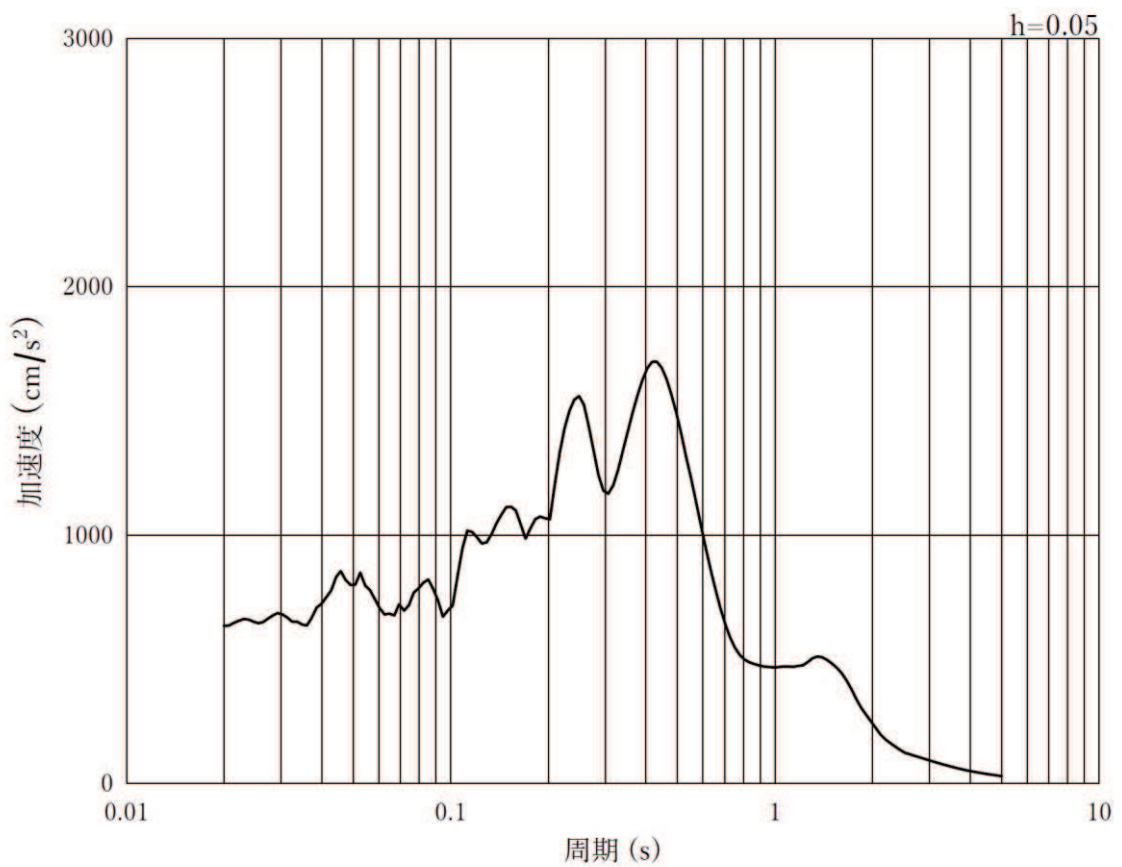


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - F 3)

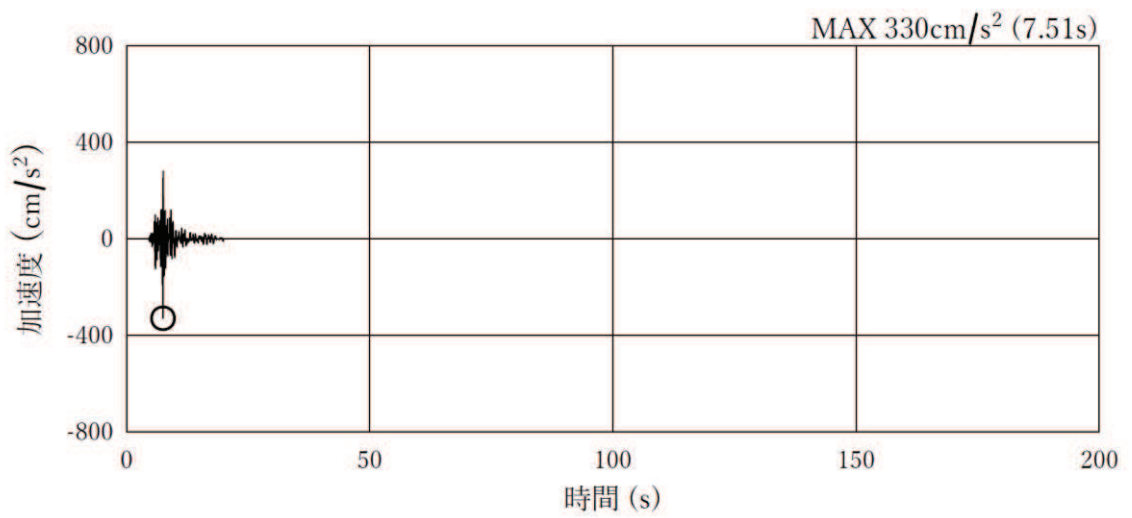


(a) 加速度時刻歴波形

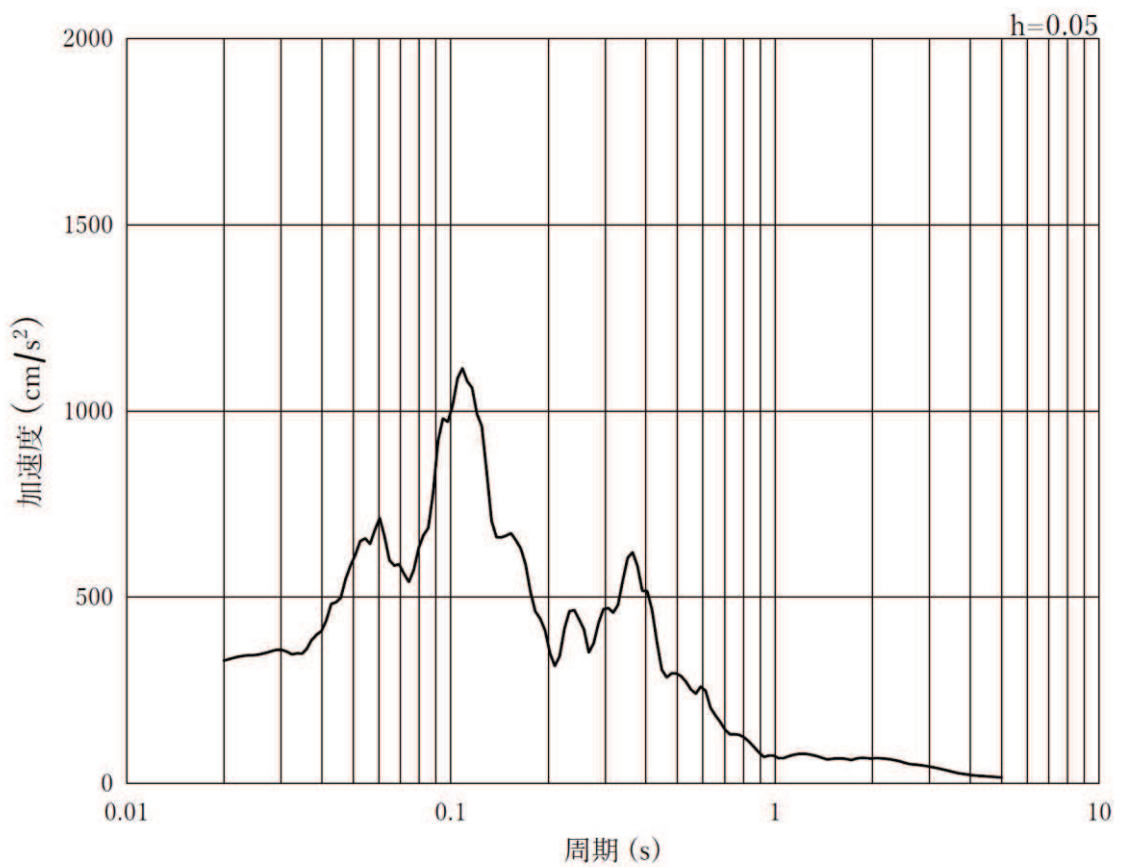


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S s - N 1)



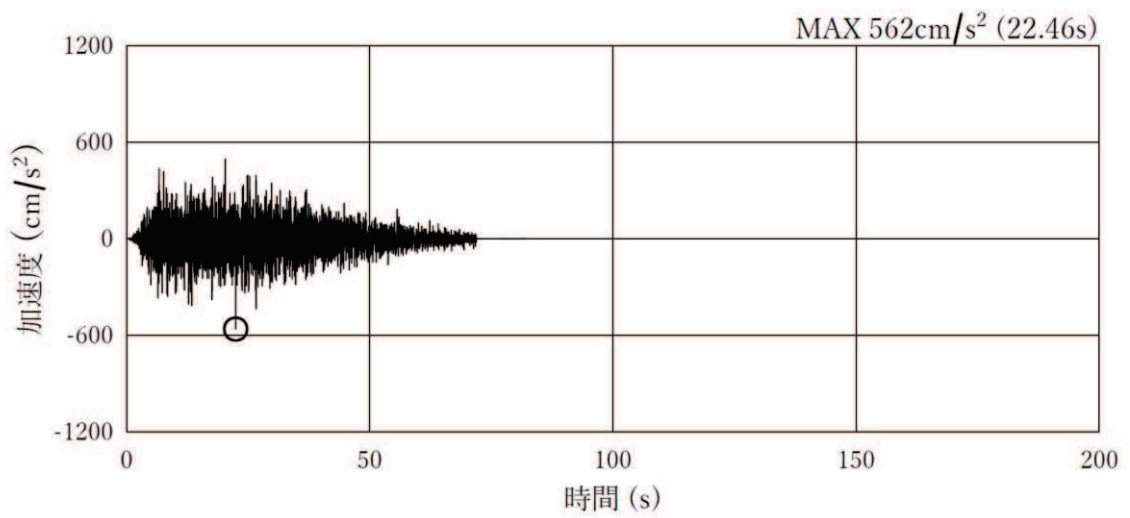
(a) 加速度時刻歴波形



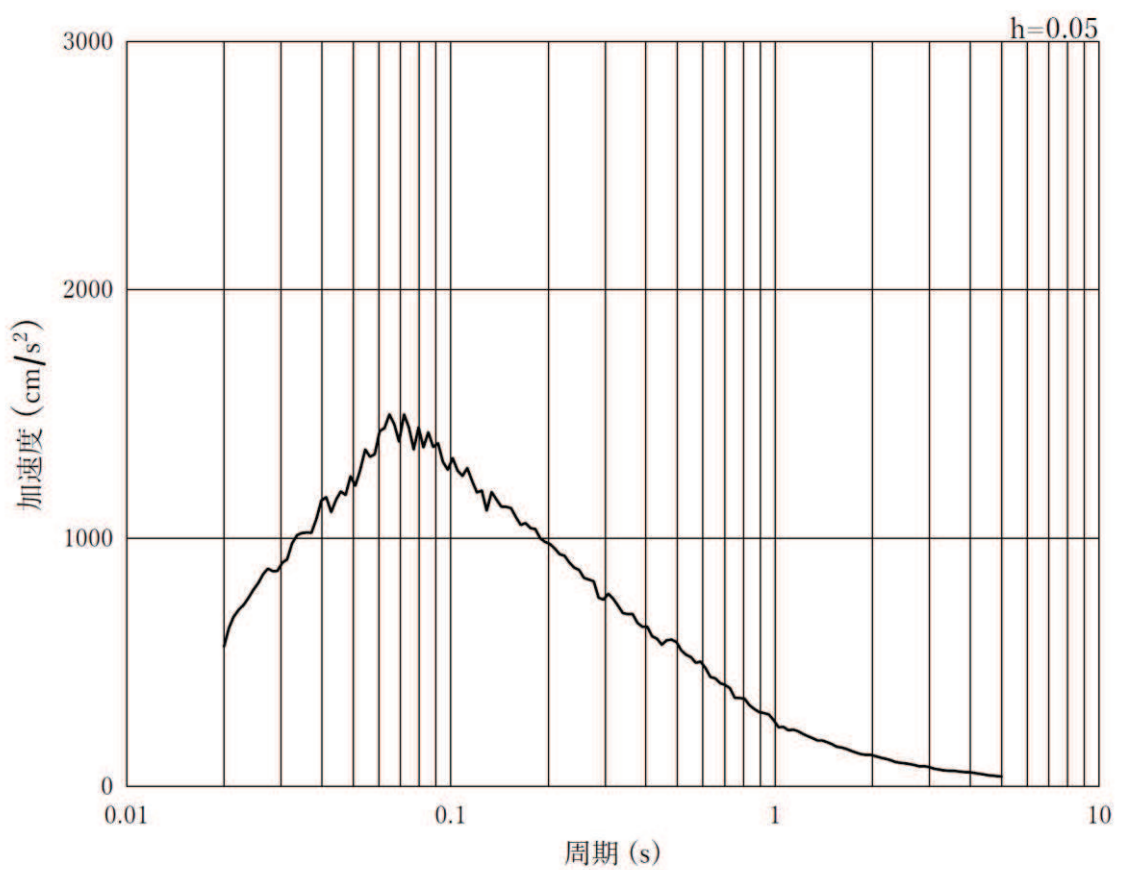
(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S s - N 1)



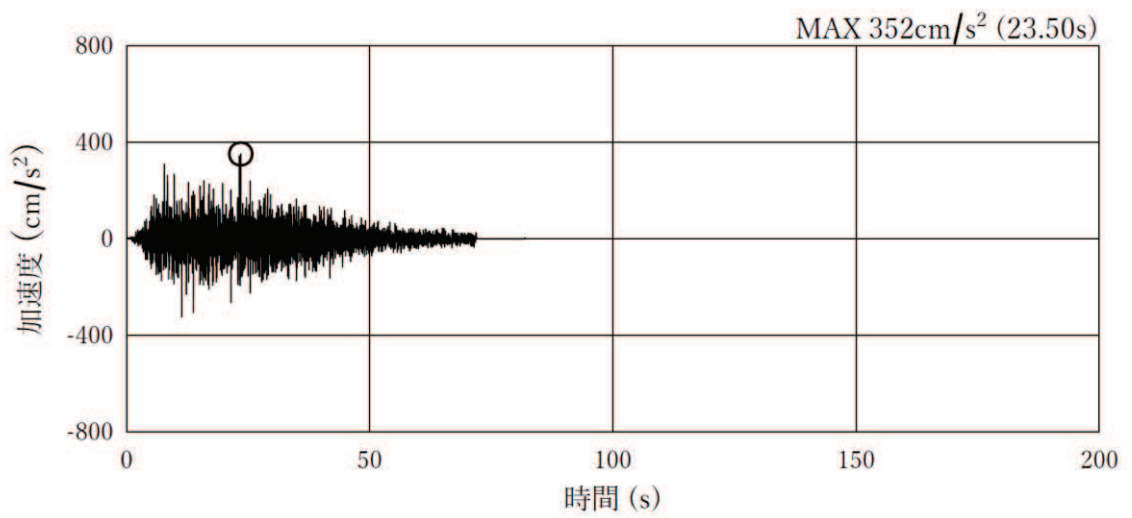


(a) 加速度時刻歴波形

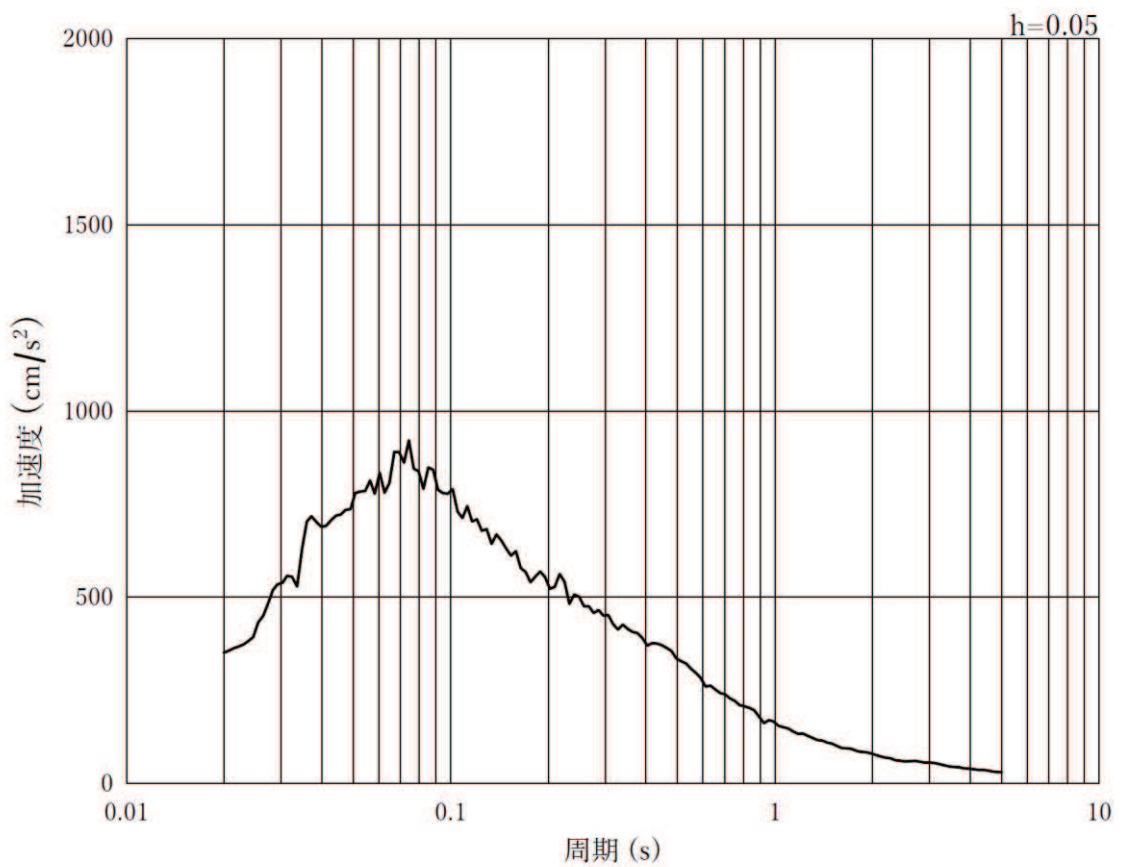


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : S d - D 2)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 8-6(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：S d - D 2)

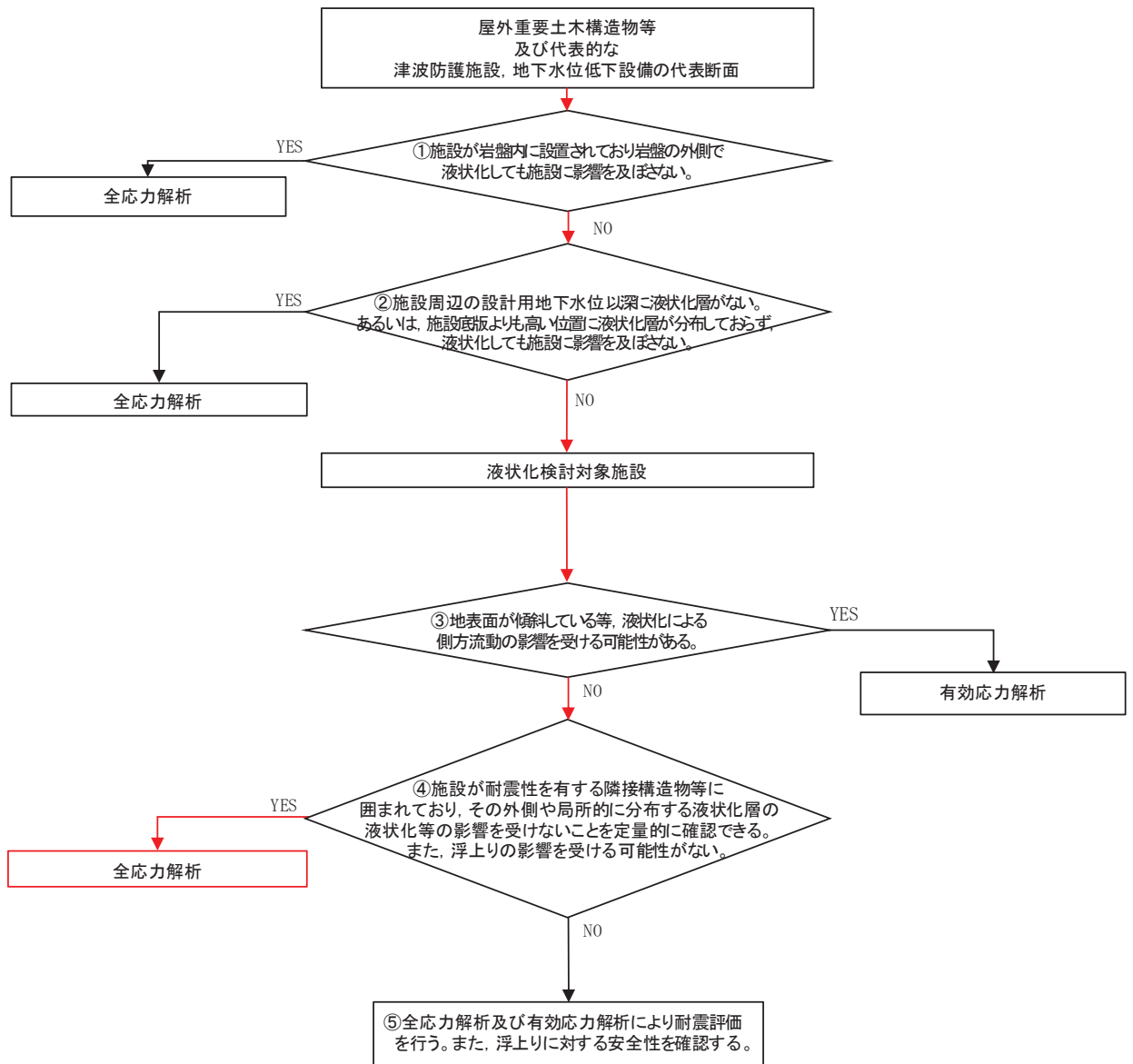


図 8-7 解析手法の選定フロー

## 8.5 地盤応答

解析結果のうち、すべての基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d-D2$  に対する地盤の地表面最大加速度を表 8-3 に示す。なお、弾性設計用地震動  $S_d-D2$  の応答加速度については、浸水防止蓋の強度評価における余震荷重の算定に用いる。

表 8-3(1) 地盤の最大応答加速度 (ケース①)

( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

方向	$S_s-D1$	$S_s-D2$	$S_s-D3$	$S_s-F1$	$S_s-F2$	$S_s-F3$	$S_s-N1$	$S_d-D2$
水平	371.3	371.3	345.1	-341.2	382.3	350.2	-477.2	265.3
鉛直	-1170.2	1308.9	1007.2	532.3	-747.5	-812.4	848.9	759.8

表 8-3(2) 地盤の最大応答加速度 (ケース②)

( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

方向	$S_s-D1$	$S_s-D2$	$S_s-D3$	$S_s-F1$	$S_s-F2$	$S_s-F3$	$S_s-N1$	$S_d-D2$
水平	364.5	365.5	340.9	-335.9	377.9	353.6	-460.2	265.6
鉛直	-1158.3	1298.2	-1059.2	537.3	-702.9	-780.6	809.6	752.1

表 8-3(3) 地盤の最大応答加速度 (ケース③)

( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

方向	$S_s-D1$	$S_s-D2$	$S_s-D3$	$S_s-F1$	$S_s-F2$	$S_s-F3$	$S_s-N1$	$S_d-D2$
水平	374.8	375.9	354.4	-348.3	394.8	344.9	-505.5	262.9
鉛直	-1182.7	1260.8	954.2	541.7	-792.5	-886.3	882.0	733.7

## 9 耐震評価

### 9.1 評価方針

揚水井戸の評価は、添付書類「VI-2-6 耐震設計の基本方針」に基づき、応力解析による断面の評価を行うことで、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能の確認を行う。

### 9.2 荷重及び荷重の組合せ

耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 9.2.1 耐震評価上考慮する状態

耐震評価において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### (1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

##### (2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

##### (3) 設計用自然条件

積雪の影響を考慮する。なお、埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

##### (4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

#### 9.2.2 荷重

耐震評価において考慮する荷重を以下に示す。

##### (1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

##### (2) 積載荷重(P)

積載荷重として積雪荷重を含めて地表面に  $4.9\text{kN/m}^2$  を考慮する。

##### (3) 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

積雪荷重については、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮する。

##### (4) 地震荷重(S<sub>s</sub>)

地震荷重については、「8. 地震応答解析」で得られる基準地震動 S<sub>s</sub> 及び弾性設計用地震動 S<sub>d-D2</sub> に対する地盤の地表面相対変位最大時における変位を考慮する。

### 9.2.3 荷重の組合せ

耐震評価における荷重の組合せを表 9-1 に、考慮する荷重の詳細を表 9-2 に示す。

表 9-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S s)	G + P + S s

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P s を含めて 4.9kN/m<sup>2</sup> を地表面に考慮)

S s : 地震荷重

表 9-2 考慮する荷重

種別	荷重		算定方法	
永久荷重	固定荷重	躯体自重	○	・ 設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	—	・ 対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	○	・ 上載盛土による土圧を考慮する。
		積載荷重	○	・ 積雪荷重を含めて 4.9(kN/m <sup>2</sup> ) を考慮する。
	静止土圧		○	・ 水平・鉛直土圧を考慮する。
	外水圧		—	・ 地下水位はないため考慮しない。
	内水圧		—	・ 内水はないため考慮しない。
	積雪荷重		○	・ 積載荷重に含めて考慮する。
	風荷重		—	・ 埋設構造物であることから考慮しない。
偶発荷重	水平地震動	○	・ 基準地震動 S s による水平及び鉛直同時加振を考慮する。	
	鉛直地震動	○		

### 9.3 地下水位

地下水位は MMR 上限面とし、盛土、改良地盤については地下水以浅の物性を使用する。  
揚水井戸周辺の設計用地下水位を図 8-4 に示す。

### 9.4 許容限界

#### 9.4.1 構造部材の健全性に対する許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

鋼製シャフトの許容限界は、「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に基づき、表 9-3 示す短期許容応力度とする。

表9-3 鋼製シャフトの許容応力度及び短期許容応力度

鋼材	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容 応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	許容引張応力度及び 許容圧縮応力度 $\sigma_{sa}$	許容せん断応力度 $\tau_{sa}$	
SM570 ( $t \leq 40\text{mm}$ )	255		382
		145	217

注記\*：「日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」により鋼材の許容応力度に対して1.5倍の割り増しを考慮する。

#### 9.4.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 9-4 に示す。

表 9-4 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力	牧の浜部層	11.4

## 9.5 評価方法

### 9.5.1 構造部材の健全性評価

#### (1) 解析方法及びモデル化方法

鋼製シャフトの応力解析は、「8. 地震応答解析」で得られる地盤変位を用いた応答変位法を用いる。鋼製シャフトは曲げ及びせん断剛性を考慮した線形はり要素としてモデル化し、地盤は「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）」に基づき、受動土圧を上限値としたバイリニア型の地盤ばねでモデル化する。地盤モデルの節点間隔は「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1」に基づき、設定する。

解析モデルを図 9-1 に、地盤ばねの設定概要を図 9-2 に示す。

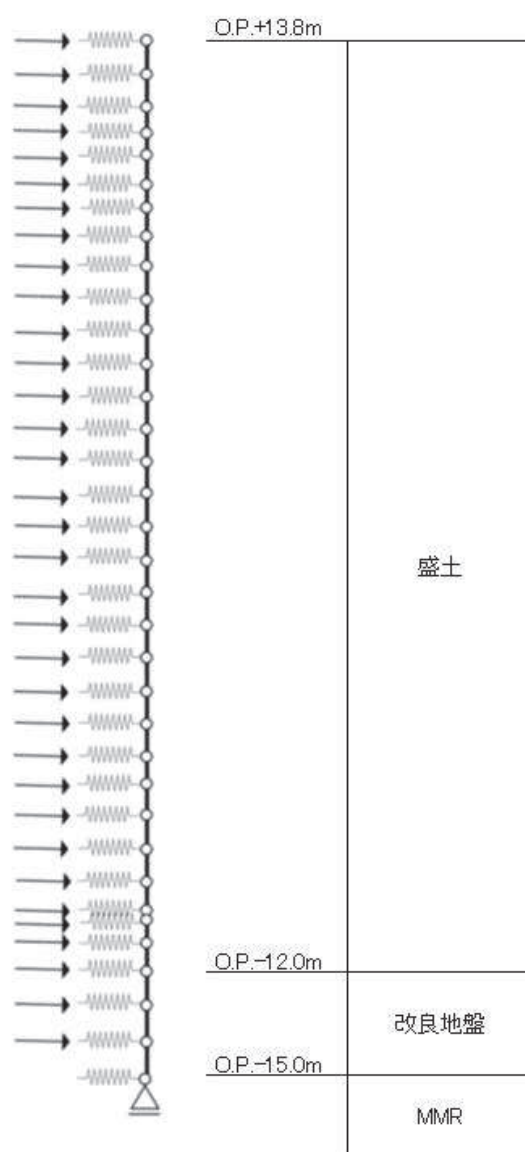


図 9-1 応答変位法解析モデル



### 地盤ばねの設定

地盤ばねは、以下の式に基づき水平地盤反力係数  $k_H$  を考慮する。

$$k_H = \alpha_K \cdot k_{H0} (B_H / 0.3)^{-3/4}$$

ここで、

$k_H$  : 水平地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$\alpha_K$  : 地盤反力係数の換算係数 (=1.0)

$k_{H0}$  : 水平方向地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$$k_{H0} = (1/0.3) \cdot E_D$$

$$E_D = 2 \cdot (1 + \nu_D) \cdot G_D$$

$E_D$  : 地盤の変形係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$\nu_D$  : 動ポアソン比

$G_D$  : 地盤の等価せん断剛性 (kN/m<sup>3</sup>)

地盤の等価せん断剛性は収束剛性  $G_{eq}$  を用いる。 $G_{eq}$  は図 8-5 に示した入力地震動を図 8-3 の 1 次元地盤モデルに入力し、1 次元波動論に基づく地盤応答解析により設定する。地震応答解析には解析コードは「microSHAKE/3D ver2.3.1」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

$B_H$  : 荷重作用方向に直交する基礎の換算載荷幅 (m)

$$B_H = (D / \beta)^{1/2}$$

$D$  : 鋼製シャフト外径 (m)

$\beta$  : 杭の特性値 (m<sup>-3</sup>) (=  $k_H \cdot D / (4 \cdot E \cdot I)^{1/4}$ )

$E$  : 鋼製シャフトのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$I$  : 鋼製シャフトの断面 2 次モーメント (m<sup>4</sup>)

地盤モデルの節点間隔は、以下の式に基づき設定する。

$$V_s / 20 \text{ (Hz)} \times 1 / 5$$

ここで、 $V_s$  : せん断波速度 (初期剛性時) (m/s<sup>2</sup>)

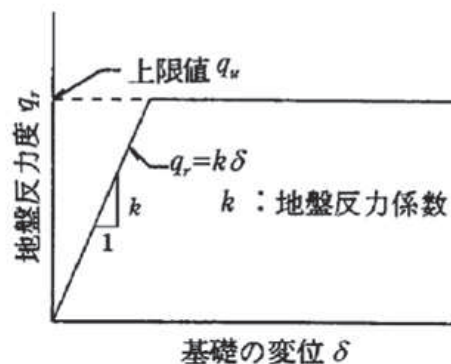


図 9-2 地盤ばねの設定概要

(2) 照査方法

応答変位法に用いる地盤変位は、解析ケース①の水平方向の地盤ばねを介して地表面の相対変位が最大となる時刻の変位分布を用いて照査を実施する。また、解析ケース②、③の地表面相対変位が解析ケース①を上回る場合は、その変位分布を用いた照査も実施する。曲げ・軸力系の破壊に対する照査式およびせん断破壊に対する照査式を以下に示す。また、鋼製シャフトの断面性能を表 9-5 に物性値を表 9-6 に示す。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査

$$\sigma_s = N/A + M/Z$$

- ここで、 $\sigma_s$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $N$  : 軸力 (kN)  
 $A$  : 断面積 (腐食代 2 mm (内側 : 1 mm, 外側 : 1 mm) 考慮) (mm<sup>2</sup>)  
 $M$  : 曲げモーメント (kN・m)  
 $Z$  : 断面係数 (腐食代 2 mm (内側 : 1 mm, 外側 : 1 mm) 考慮) (mm<sup>3</sup>)

せん断破壊に対する照査

$$\tau_s = \kappa \cdot Q/A$$

- ここで、 $\tau_s$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\kappa$  : 形状係数 (=2 (円筒形))  
 $Q$  : せん断力 (kN)  
 $A$  : 断面積 (腐食代 2 mm (内側 : 1 mm, 外側 : 1 mm) 考慮) (mm<sup>2</sup>)

表 9-5 揚水井戸 鋼製シャフトの断面性能

標高 O. P. (m)	内径 (mm)	厚さ* (mm)	断面 2 次 モーメント (mm <sup>4</sup> )	断面係数 (mm <sup>3</sup> )	せん断断面積 (mm <sup>2</sup> )
13.8~-15.0	1500	30	4.22×10 <sup>10</sup>	5.06×10 <sup>7</sup>	1.35×10 <sup>5</sup>

注記\* : 鋼管の外表面が土中に接し内表面が湿潤状態となるため、各応力度の算定に当たっては、日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編に基づき、内側及び外側に 1mm の腐食代を考慮する。

表 9-6 揚水井戸 鋼製シャフトの材料物性

材料		単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鋼材	SM570	77.0	2.0×10 <sup>5</sup>	0.3

### 9.5.2 基礎地盤の支持性能評価

鋼製シャフトの基礎地盤の支持性能評価は、「8. 地震応答解析」で得られる地表面の最大鉛直加速度を用いた鉛直震度と自重による地盤反力から接地圧を算定する。

なお、鉛直震度は保守的に深さによらず一律とし、以下の照査により評価を実施する。

$$R_u = R / A$$

ここで、 $R_u$  : 最大接地圧 (kN) (N/mm<sup>2</sup>)

$R$  : 地盤反力 (常時+地震時) (kN)

$A$  : 断面積 (腐食代 2 mm (内側 : 1 mm, 外側 : 1 mm) 考慮) (mm<sup>2</sup>)

## 9.6 評価結果

### 9.6.1 構造部材の健全性評価結果

#### (1) 評価に用いる地盤変位

「8. 地震応答解析」で得られる基準地震動  $S_s$  の解析ケース①の地表面の最大相対変位の比較を表 9-7 に、地表面の地盤変位が最大となる時刻の変位分布図を図 9-3 に示す。鋼製シャフトは土中構造物であり周辺地盤の特徴から地盤改良と盛土との境界部において曲げ・軸力系の応力が最大となり、当該部における曲率に比例的であると考えられる。各地震動では、変形モードの特徴から 1 次モードにおいて境界部の曲率が大きくなっており、地表面の変形量に比例している。以上から、地表面の変位が最大となる  $S_s-N1$  の地盤変位分布を用いて健全性評価を行う。

また、 $S_s-N1$  を対象に、地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース②及び解析ケース③の地表面の最大相対変位の比較を表 9-7 に示す。これから、解析ケース③の最大相対変位は解析ケース①の最大相対変位を上回ることから、解析ケース③の地盤変位を用いた検討も実施する。 $S_s-N1$  (解析ケース③) の地表面の地盤変位が最大となる時刻の変位分図を図 9-3 に示す。

表 9-7 地表面の最大相対変位の比較

解析ケース		地表面の最大相対変位 (m)		
		ケース①	ケース②	ケース③
基本ケース			地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 $\sigma$	平均値-1 $\sigma$
地震動	$S_s-D1$	0.115	—	—
	$S_s-D2$	0.092	—	—
	$S_s-D3$	0.101	—	—
	$S_s-F1$	0.096	—	—
	$S_s-F2$	0.107	—	—
	$S_s-F3$	0.050	—	—
	$S_s-N1$	<u>0.197</u>	0.189	<u>0.203</u>

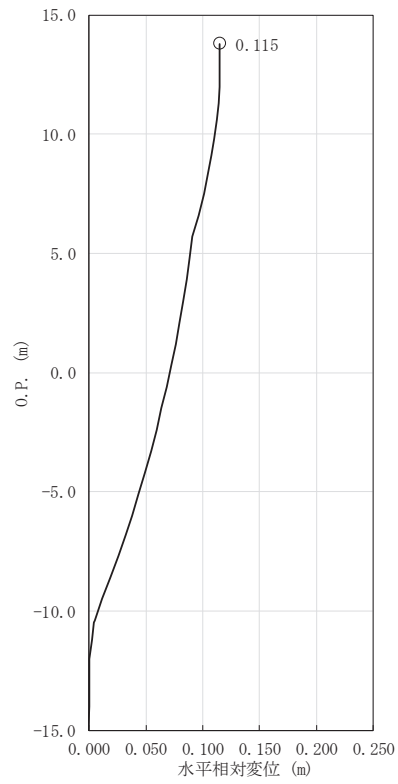


図 9-3 (1) 地表面の地盤変位最大時の変位分布図  
(S s - D 1, 解析ケース①)

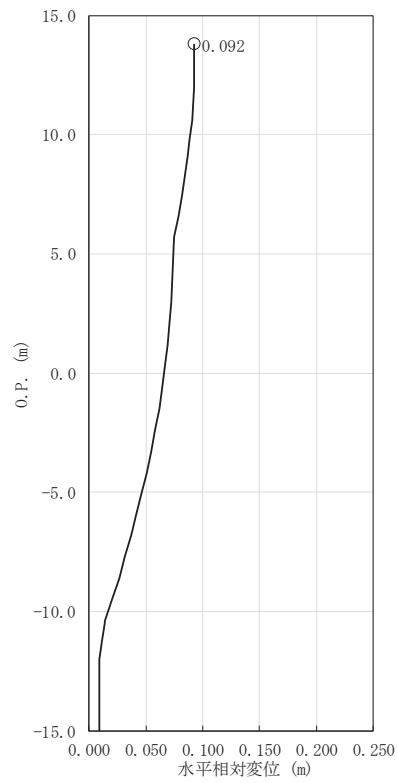


図 9-3 (2) 地表面の地盤変位最大時の変位分布図  
(S s - D 2, 解析ケース①)

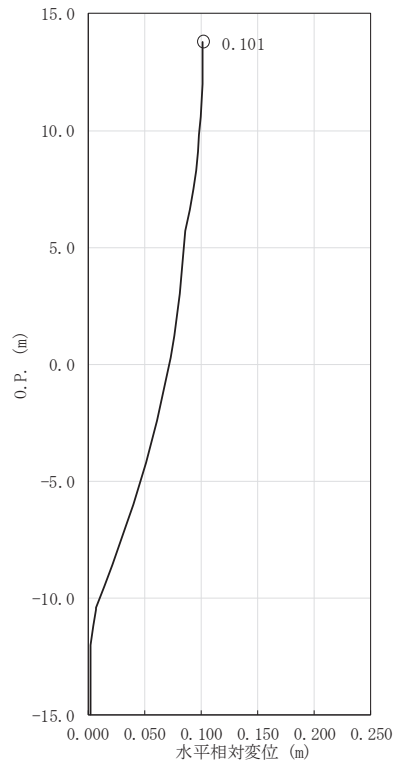


図 9-3 (3) 地表面の地盤変位最大時の変位分布図  
(S s - D 3, 解析ケース①)

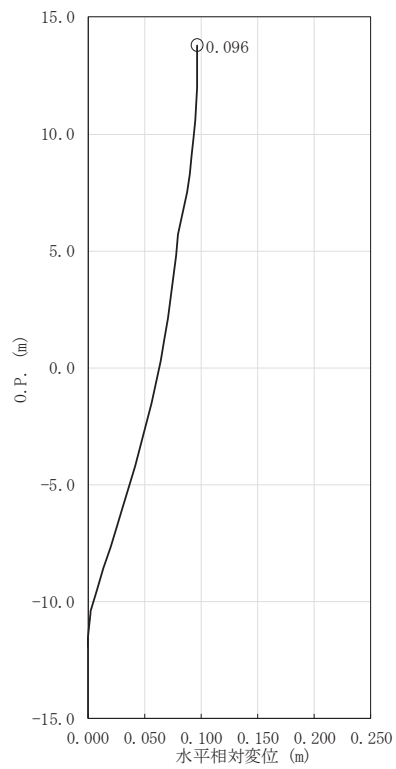


図 9-3 (4) 地表面の地盤変位最大時の変位分布図  
(S s - F 1, 解析ケース①)

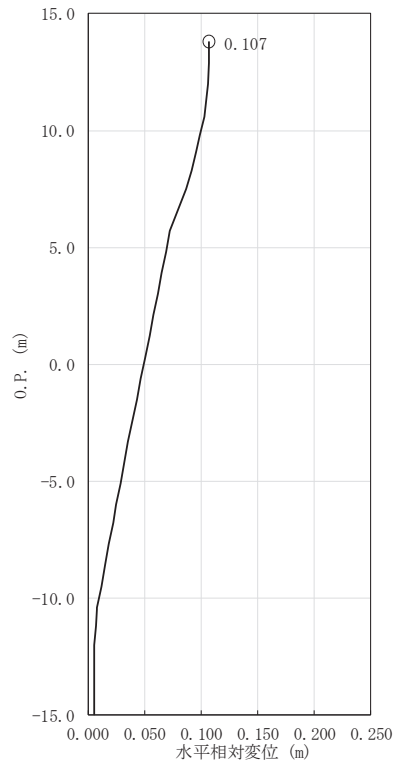


図 9-3 (5) 地表面の地盤変位最大時の変位分布図  
(S s - F 2, 解析ケース①)

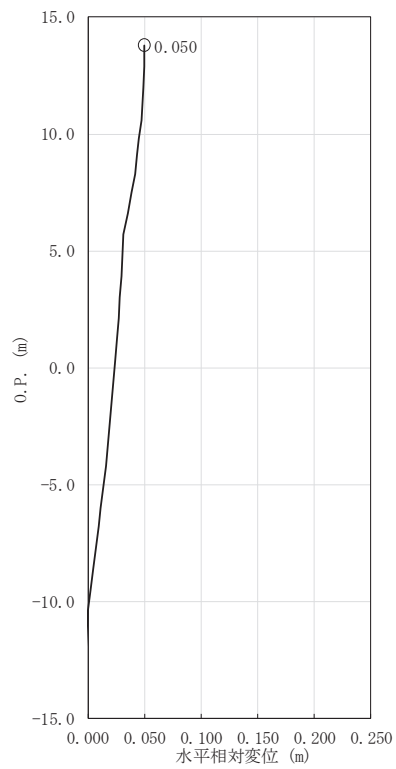


図 9-3 (6) 地表面の地盤変位最大時の変位分布図  
(S s - F 3, 解析ケース①)

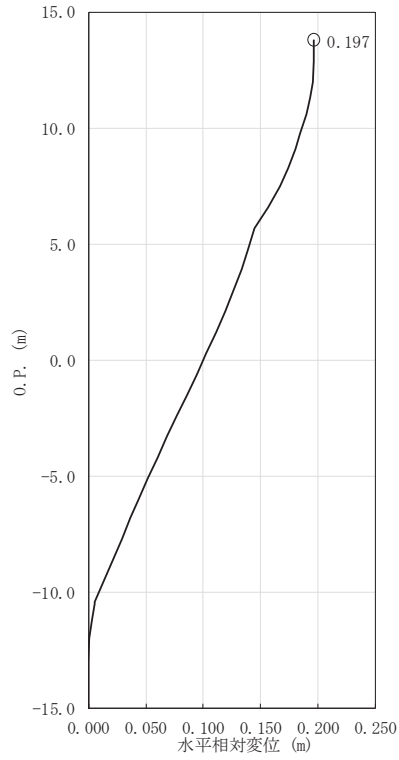


図 9-3 (7) 地表面の地盤変位最大時の変位分布図  
(S s - N 1, 解析ケース①)

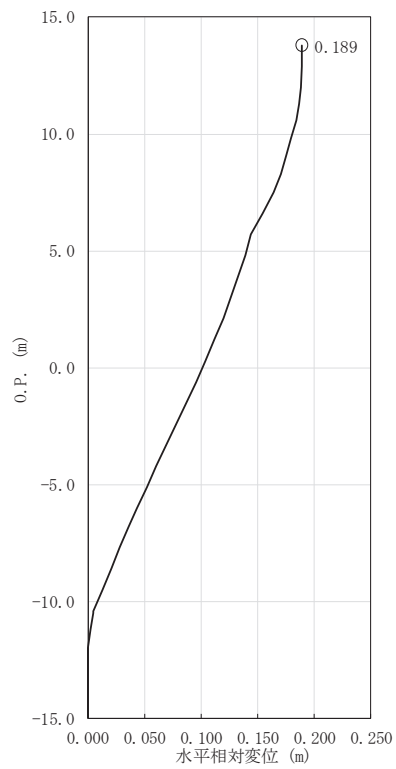


図 9-3 (8) 地表面の地盤変位最大時の変位分布図  
(S s - N 1, 解析ケース②)



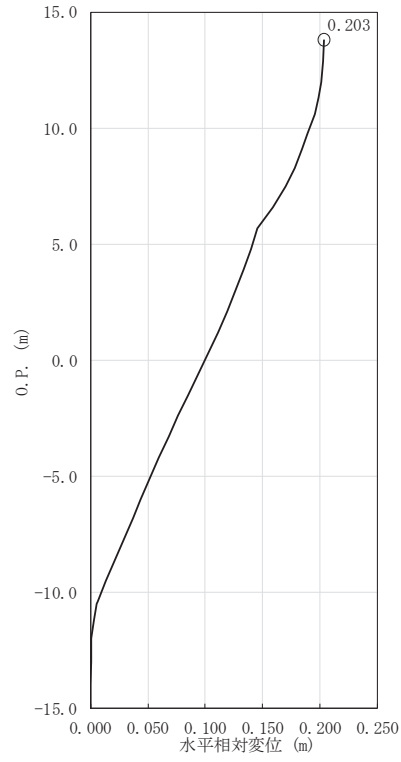
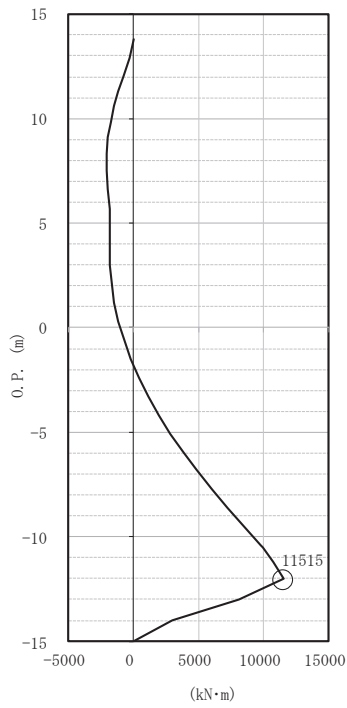


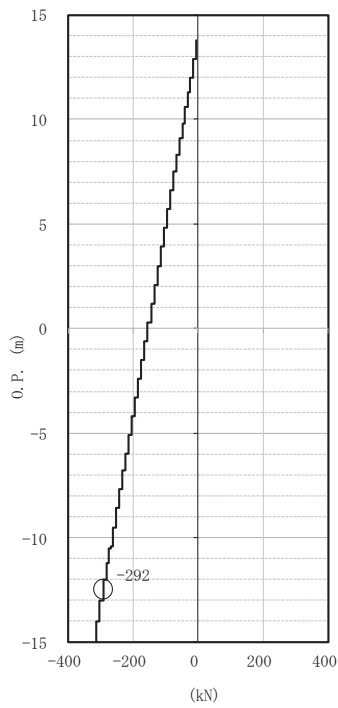
図 9-3 (9) 地表面の地盤変位最大時の変位分布図  
(S s - N 1, 解析ケース③)

(2) 評価結果

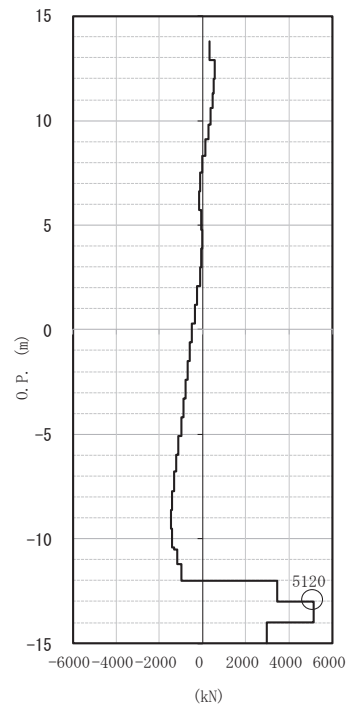
鋼製シャフトの応力解析から得られる  $S_s-N_1$  (解析ケース①) 及び  $S_s-N_1$  (解析ケース③) の断面力分布図を図 9-4 に示す。また、鋼製シャフトの評価結果を表 9-8 に示す。



(a) 曲げモーメント



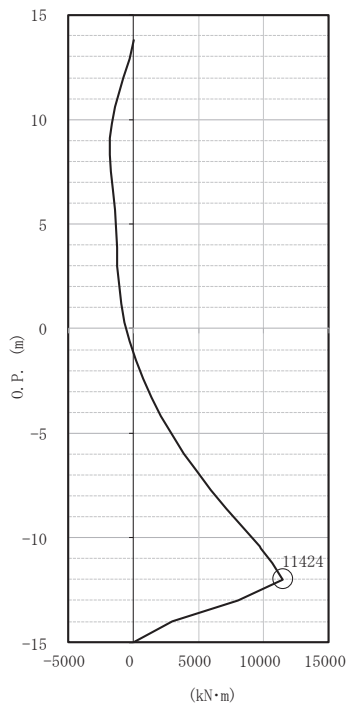
(b) 軸力\*



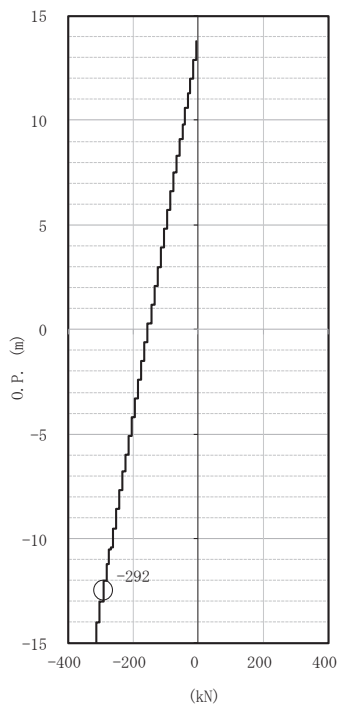
(c) せん断力

図9-4 (1) 断面力分布図 (S s - N 1, 解析ケース①)

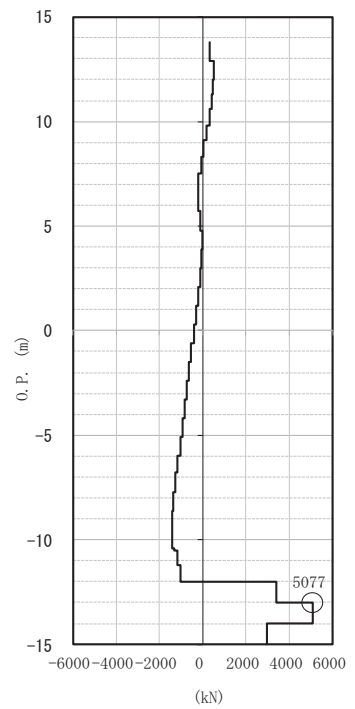
注記\* : +引張, -圧縮として示す



(a) 曲げモーメント



(b) 軸力\*



(c) せん断力

図9-4 (2) 断面力分布図 (S s - N 1, 解析ケース③)

注記\* : +引張, -圧縮として示す

表 9-8(1) 鋼製シャフトの評価結果 曲げ・軸力系の破壊に対する照査

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S <sub>s</sub> -N1	①	11515	292	230	382	0.61
	③	11424	292	229	382	0.60

表 9-8(2) 鋼製シャフトの評価結果 せん断破壊に対する照査

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)			
S <sub>s</sub> -N1	①	5120	77	217	0.36
	③	5077	76	217	0.36

## 9.6.2 基礎地盤の支持性能照査結果

### (1) 評価に用いる鉛直震度

「8. 地震応答解析」で得られる基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d-D2$  の地表面における最大応答加速度から算定した鉛直震度の比較を表 9-9 に示す。これから、基礎地盤の支持性能照査は、 $S_s-D2$  の鉛直震度を用いる。また、地盤物性のばらつきを考慮した  $S_s-D2$  の解析ケース②及び解析ケース③の鉛直震度も表 9-9 に示す。

表 9-9 地表面における最大応答加速度から算定した鉛直震度の比較

解析ケース		鉛直震度		
		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 $\sigma$	平均値-1 $\sigma$
地震動	$S_s-D1$	1.20	—	—
	$S_s-D2$	<u>1.34</u>	1.33	1.29
	$S_s-D3$	1.03	—	—
	$S_s-F1$	0.55	—	—
	$S_s-F2$	0.77	—	—
	$S_s-F3$	0.83	—	—
	$S_s-N1$	0.87	—	—

### (2) 評価結果

鋼製シャフトの基礎地盤の支持性能照査結果を表 9-10 に示す。

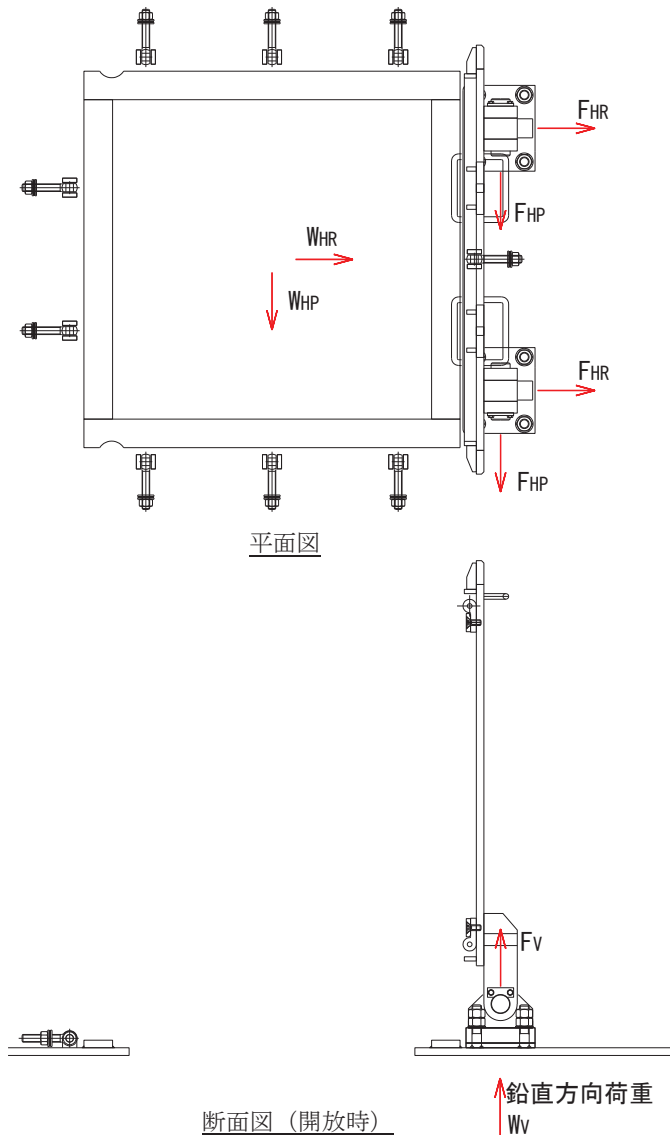
表 9-10 基礎地盤の支持性能評価結果

地震動	解析ケース	最大接地圧 $R_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 $R_{ua}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_u/R_{ua}$
$S_s-D2$	①	5.5	11.4	0.49

## (別紙1) ハッチ開放時におけるヒンジ部の評価

### 1. 概要

ハッチ開放時におけるヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）について評価を行う。ハッチ開放時の荷重算定式を図 1 に示す。なお，各部材のモデル及び応力算定式については，本文「5.5.4 ハッチ」に示すとおりである。



$$W_{HR} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_{HP} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_V = (G + P_s) + (G + P_s) \cdot k_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{V1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{V2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

- $W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$
- $W_{HR}$  : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
  - $W_{HP}$  : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
  - $W_V$  : 鉛直荷重 (kN)
  - $W_R$  : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
  - $L_c$  : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
  - $L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
  - $G$  : ハッチの固定荷重 (kN)
  - $P_s$  : 積雪荷重 (kN)
  - $k_H$  : 基準地震動  $S_s$  の水平方向の設計震度
  - $k_V$  : 基準地震動  $S_s$  の鉛直方向の設計震度
  - $F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
  - $F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
  - $F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
  - $F_{V2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
  - $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  : 分担率 ( $\alpha_1 = 0.5, \alpha_2 = 0.5, \alpha_3 = 0.1$ )

図1 ハッチ開放時の構造概要及び荷重算定式

## 2. 各部材の評価

ヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）のモデル及び応力算定式については，本文「5.5.4 ハッチ」に示すとおりである。



### 3. 評価条件

各部材の耐震評価に用いる入力値を表1に示す。

表1 (1) ヒンジ部の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	0.52
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	2.34
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
	$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	0.52
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	0.52
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	2.34
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257

表 1 (2) ヒンジ部の耐震評価に用いる入力値（荷重：回転軸直角方向）（2/2）

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジ 固定 ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重（回転軸直角方向）	0.52
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重（回転軸平行方向）	0
	$F_{V1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	2.34
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_V$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_H$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_H$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_V$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2
エンド プレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	0.13
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.59
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160

表 1 (3) ヒンジ部の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	0.91
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0.52
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	2.34
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	0.91
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0.52
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	0.98
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	2.34
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257

表 1 (4) ヒンジ部の耐震評価に用いる入力値（荷重：回転軸平行方向）（2/2）

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジ 固定 ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重（回転軸直角方向）	0.91
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重（回転軸平行方向）	0.52
	$F_{V1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	2.34
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_V$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_H$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_H$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_V$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2
エンド プレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	0.28
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0.10
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.59
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160

#### 4. 評価結果

各部材の耐震評価結果を表2に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表2 (1) ヒンジ部の耐震評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	8	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	8	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	4	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	4	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	1	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	1	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	5	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	5	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	3	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	4	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
エンドプレート	曲げ	3	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0

表 2 (2) ヒンジ部の耐震評価結果 (荷重 : 回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	9	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	9	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	4	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	5	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	2	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	2	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	5	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	6	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	4	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	5	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
エンドプレート	曲げ	4	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	4	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0

## (別紙2) 浸水防止蓋接合部の健全性評価について

### 1. 概要

構造部材のうち浸水防止蓋接合部の応力解析（周方向の検討）は、「9.5.1 構造部材の健全性評価」の検討（応答変位法）より得られた地盤ばね反力に対し、地盤ばねの支配面積で除した地震時増分土圧を設定した静的解析とする。構造部材は円形状にモデル化した線形はり要素とし、「道路橋示方書（IV下部構造編）」のケーソン基礎の設計における地震時の荷重状態に倣って地震時土圧を静的に作用させて、地震時の最大曲げモーメント及び軸力を算出する。なお、荷重を作用させる際、地盤ばねを取り付けることで、地盤による拘束効果を考慮する。荷重の作用方向について、評価断面は地表面の浸水防止蓋接合部であることを考慮し、片側から作用させた検討（片押し時）を行う。解析モデルを図1に示す。

静的解析の解析コードは「FRAME(面内) Ver5.0.7」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

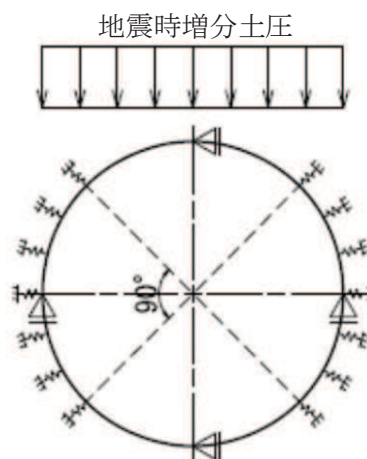


図1 周方向断面の応力解析モデル

## 2. 照査方法

照査は、基本ケースである S s - N 1（解析ケース①）を対象に照査を実施する。照査式を以下に示す。また、鋼製シャフトの断面性能を表 1 に示す。

$$\sigma_c = N / A$$

ここで、 $\sigma_c$  : 圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
N : 軸力 (kN)  
A : 断面積 (腐食代 2 mm (内側 : 1 mm, 外側 : 1 mm) 考慮) (mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_b = M / Z$$

ここで、 $\sigma_b$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
M : 曲げモーメント (kN・m)  
Z : 断面係数 (腐食代 2 mm (内側 : 1 mm, 外側 : 1 mm) 考慮) (mm<sup>3</sup>)

表 1 揚水井戸 鋼製シャフト (浸水防止蓋接合部) の断面性能

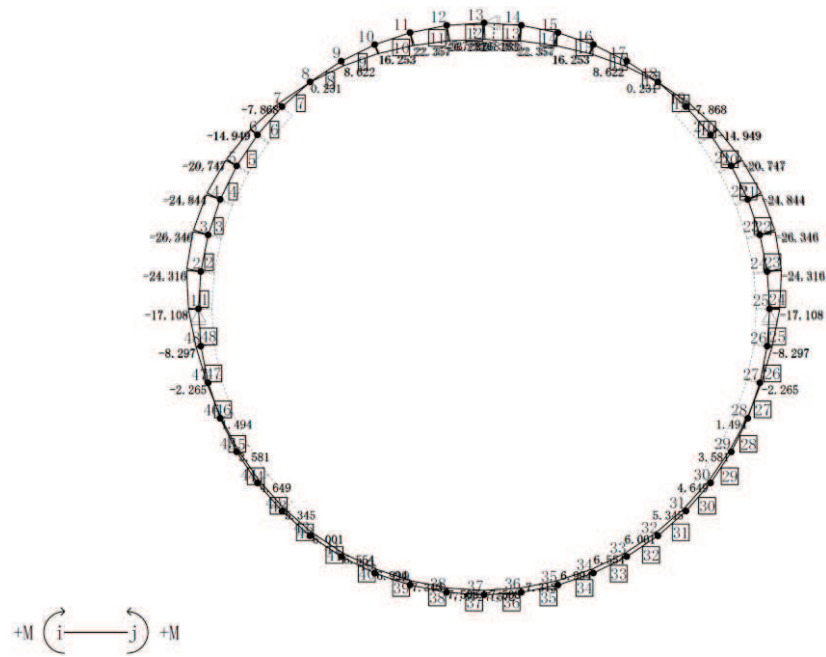
位置	内径 (mm)	厚さ* (mm)	断面係数 (mm <sup>3</sup> )	断面積 (mm <sup>2</sup> )
地表面	1500	30	1.31 × 10 <sup>5</sup>	2.80 × 10 <sup>4</sup>

注記\* : 鋼管の外表面が土中に接し内表面が湿潤状態となるため、各応力度の算定に当たっては、**日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編**に基づき、内側及び外側に 1mm の腐食代を考慮する。

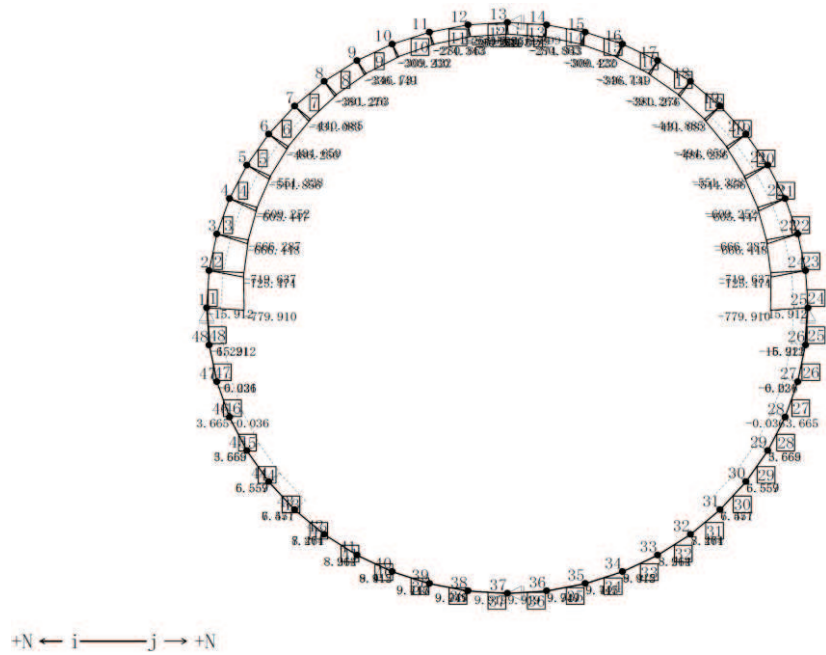
## 3. 評価結果

応力解析から得られる断面力分布図を図 2 に、評価結果を表 2 に示す。曲げ最大位置における発生応力度及び圧縮最大位置における発生応力度が許容限界以下であることを確認した。





(a) 曲げモーメント



(b) 軸力

図2 断面力分布図 (S s - N 1, 解析ケース①)

表2 鋼製シャフト（浸水防止蓋接合部）の評価結果  
 （S s - N 1，解析ケース①）

		曲げ最大位置	圧縮最大位置
発生断面力	曲げモーメント (kN・m)	28	18
	軸力 (kN)	257	780
発生応力度	圧縮応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	10	53
	曲げ応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	215	138
許容限界	軸圧縮許容応力度 $\sigma_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	382	382
	曲げ許容応力度 $\sigma_{ba}$ (N/mm <sup>2</sup> )	382	382
照査値	$\sigma_c / \sigma_{ca} + \sigma_b / \sigma_{ba}$	0.59	0.44

- 6. 浸水防護施設に関する補足説明
- 6.5 浸水防止設備に関する補足説明
- 6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明
- 6.5.3.10 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）の強度計算書に関する補足説明

## 目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	4
2.3 評価方針	5
2.4 適用基準	6
2.5 記号の説明	7
3. 評価対象部位	12
4. 構造強度評価	14
4.1 構造強度評価方法	14
4.2 荷重及び荷重の組合せ	14
4.3 許容限界	17
4.4 評価方法	19
4.5 評価条件	37
5. 評価結果	42

## 1. 概要

本資料は、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」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうち浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））（以下「浸水防止蓋」という。）が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重及び余震を考慮した荷重に対して、主要な構造部材が十分な構造強度を有していることを説明するものである。

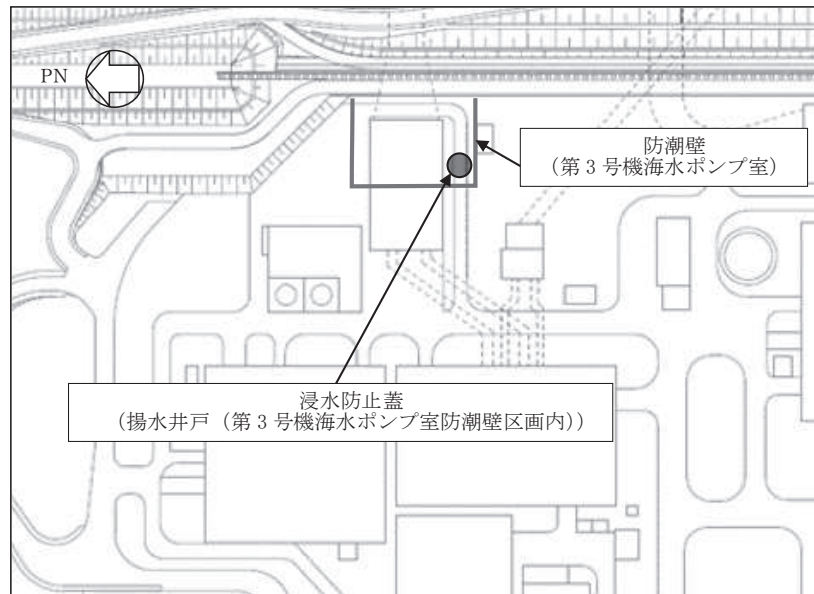
なお、浸水防止蓋の強度評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

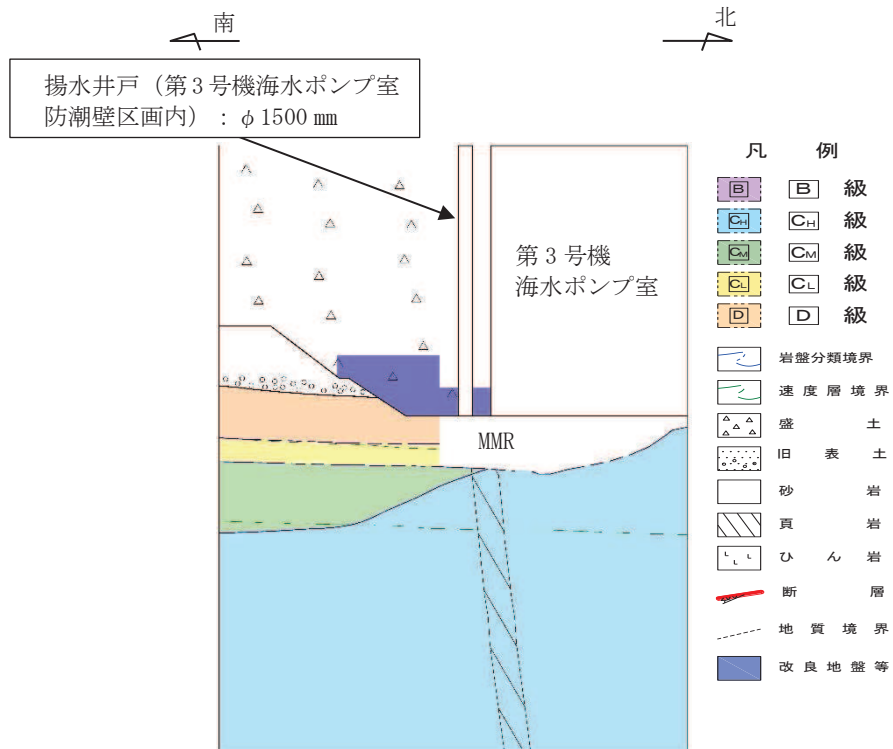
2.1 配置概要

浸水防止蓋は、揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部から浸水を防止するために設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に、流入対策図を図2-2に示す。



(平面図)



(断面図 (揚水井戸 (第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内), 南北方向))

図2-1 浸水防止蓋の設置位置図

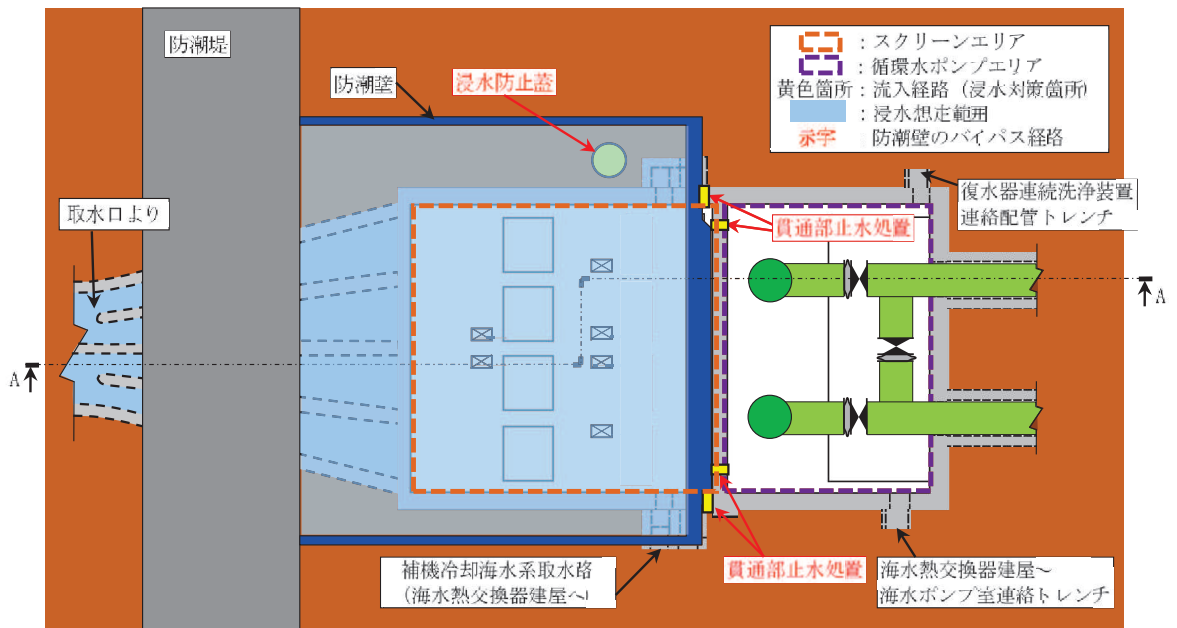


図 2-2 (1) 第 3 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (平面図)

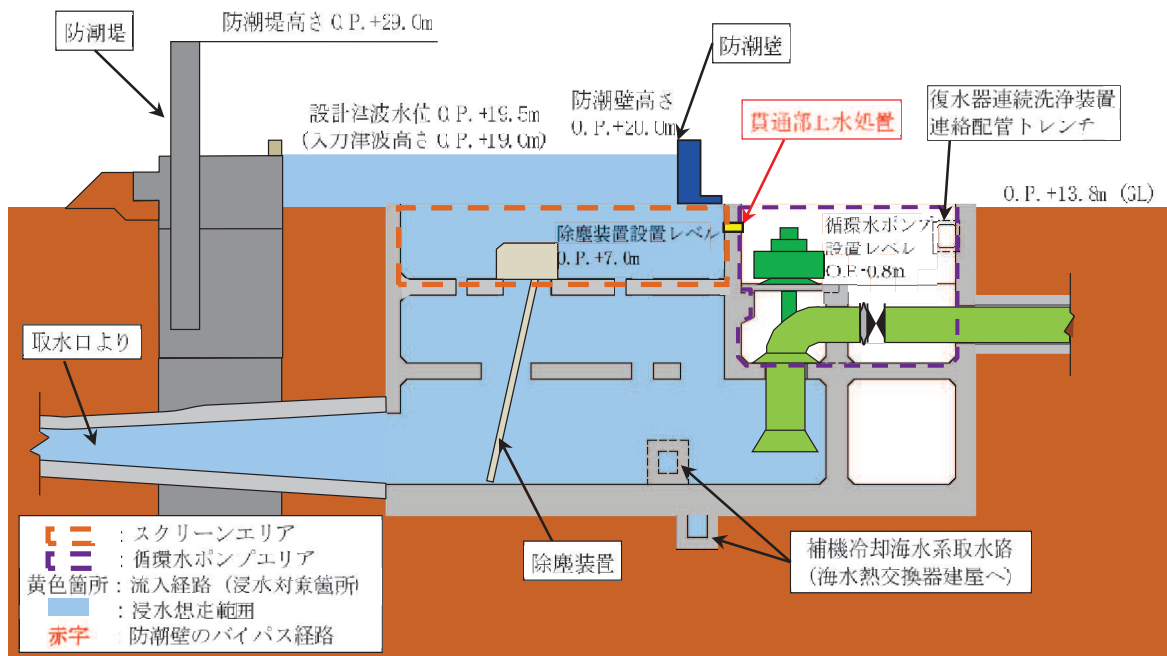


図 2-2 (2) 第 3 号機 海水ポンプ室 流入対策配置図 (A-A 断面図)

## 2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、円形のスキンプレートに受桁（H型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。ハッチ部の開閉運用の詳細については、「6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明 参考資料1 浸水防止蓋の開閉運用について」に示す。

浸水防止蓋は、揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトで固定する。 受桁は揚水井戸に溶接で固定する。	浸水防止蓋、受桁、ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

### 2.3 評価方針

浸水防止蓋の強度評価は、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」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「4.4 評価方法」で算出した応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。強度評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-3 に示す。

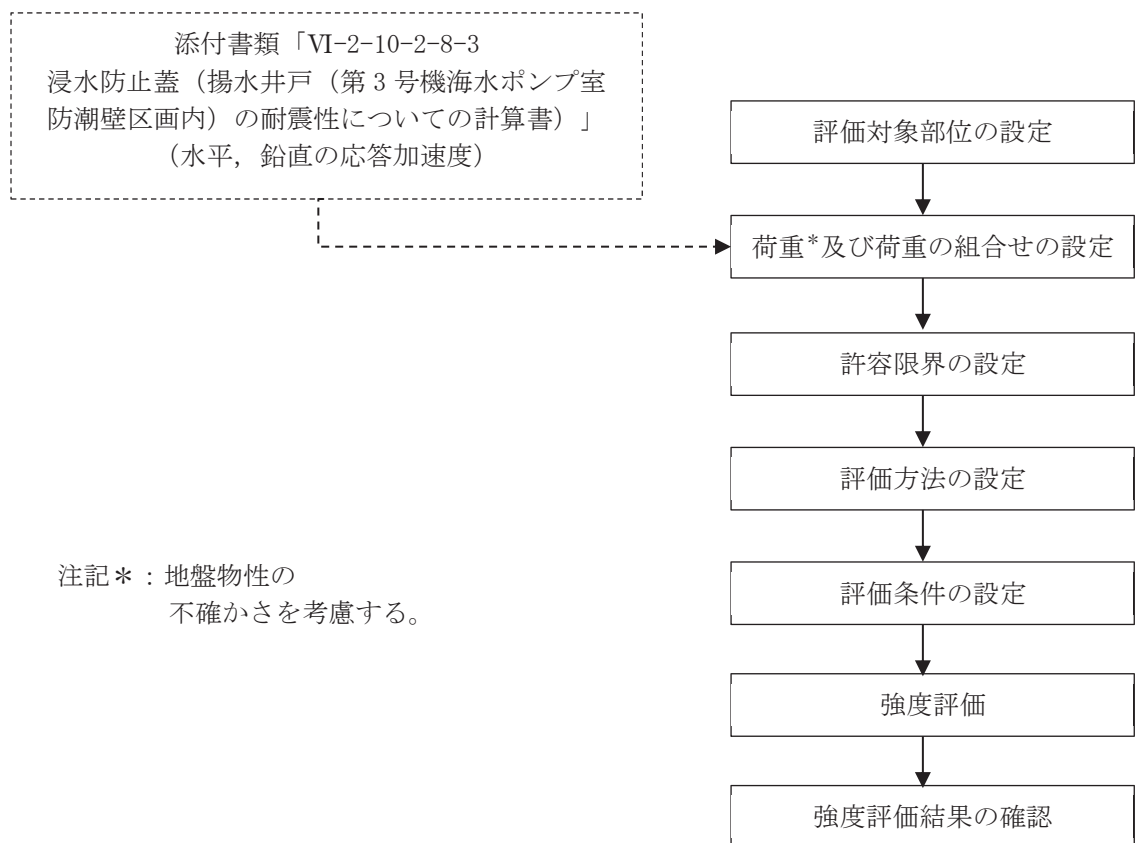


図 2-3 強度評価フロー



## 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (3) ダム堰施設技術協会 平成 28 年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

## 2.5 記号の説明

浸水防止蓋の強度評価に用いる記号を表 2-2 にそれぞれ示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

記号	単位	定義
$S_d$	kN	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ による余震荷重
$\alpha_H$	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の水平方向の余震震度
$\alpha_V$	—	弾性設計用地震動 $S_d - D 2$ の鉛直方向の余震震度
$G$	kN	固定荷重
$P_h$	kN	浸水津波荷重
$\rho_o$	t/m <sup>3</sup>	水の密度
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
$h_1$	O. P. m	設計津波水位
$h_2$	O. P. m	浸水防止蓋の設置高さ
$A$	m <sup>2</sup>	浸水防止蓋の面積
$P_s$	kN	積雪荷重
$W_s$	N/m <sup>2</sup>	1 cm 当りの積雪荷重
$d_s$	cm	積雪高さ
$W_{s s}$	kN/m <sup>2</sup>	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	最大せん断応力度
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	最大曲げ応力度
$Q$	kN	最大せん断力
$M$	kN・m	最大曲げモーメント
$x$	N/mm <sup>2</sup>	組合せ応力度
$L_1$	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
$L_2$	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
$L_3$	mm	受桁の負担幅
$L_4$	mm	受桁全長
$t$	mm	スキンプレートの厚さ
$N$	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
$A'$	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの有効断面積
$\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルト 1 本当りに作用する引張応力度
$\tau_s$	N/mm <sup>2</sup>	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断応力度

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	$W_{HR}$	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	$W_{HP}$	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	$W_V$	kN	鉛直荷重
	$W_R$	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	$k_H$	—	基準地震動 $S_s$ の水平方向の設計震度
	$k_V$	—	基準地震動 $S_s$ の鉛直方向の設計震度
	$G$	kN	ハッチの固定荷重
	$P_s$	kN	積雪荷重
	$L_c$	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離
	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
	$F_{v2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重
ヒンジプレート (ハッチ側)	$\sigma_N$	$N/mm^2$	軸方向引張応力度
	$\sigma_{bR}$	$N/mm^2$	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bP}$	$N/mm^2$	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bV1}$	$N/mm^2$	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	$\tau_R$	$N/mm^2$	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	$\tau_P$	$N/mm^2$	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	$\tau_v$	$N/mm^2$	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	$\tau_{PX}$	$N/mm^2$	合成応力度
	$\sigma$	$N/mm^2$	合成応力度
	$Z_1$	$mm^3$	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	$Z_2$	$mm^3$	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	$Z_p$	$mm^3$	極断面係数
$A$	$mm^2$	断面積	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$\sigma_N$	N/mm <sup>2</sup>	軸方向引張応力度
	$\sigma_{bR}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	$\sigma_{bP}$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	$\tau_R$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	$\tau_P$	N/mm <sup>2</sup>	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積
	$B$	mm	ヒンジプレート幅
$t$	Mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離
	$B$	mm	荷重の載荷長
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
	$A$	mm <sup>2</sup>	ヒンジピンの断面積
$D$	mm	ヒンジピンの直径	

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$P$	kN	ボルト引張力
	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力
	$Q$	kN	ボルトせん断力
	$Q_R$	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	$Q_P$	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	$L_V$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	$L_H$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	$N_H$	本	回転軸平行方向のボルト本数
$N_V$	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	$x$	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	$P$	kN	ボルト引張力
	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
	$B$	mm	有効断面幅
	$A$	mm <sup>2</sup>	エンドプレートの有効断面積
	$L$	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
$t$	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の強度評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイングボルト	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	A	mm <sup>2</sup>	断面積
スイングボルトピン	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	x	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	A	mm <sup>2</sup>	スイングボルトピンの断面積
	D	mm	スイングボルトピンの直径
ナット受部	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度
	x	N/mm <sup>2</sup>	合成応力度
	F <sub>v2</sub>	kN	締付部に作用する鉛直荷重
	L	mm	腕長さ
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm <sup>2</sup>	ナット受部の有効断面積
スイングボルトピン受部	$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
	R <sub>v2</sub>	kN	スイングボルトピン受金具が負担する締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm <sup>2</sup>	スイングボルトピン受部の断面積
	B	mm	スイングボルトピン受部の幅
	t	mm	スイングボルトピン受部の板厚

### 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、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。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、津波荷重及び余震に伴う慣性力がスキンプレートに伝わり、受桁及び固定ボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、受桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。

水防止蓋のハッチ部の運用について、原則閉止運用とするとともに、定期点検時等により開状態となる場合においても速やかに閉操作できる人員を、ハッチ付近に待機させる運用とすることから（詳細は、「6.5.3 浸水防止蓋に関する補足説明 参考資料1 浸水防止蓋の開閉運用について」に示す。）、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、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。

浸水防止蓋の評価対象部位を、図3-1に示す。

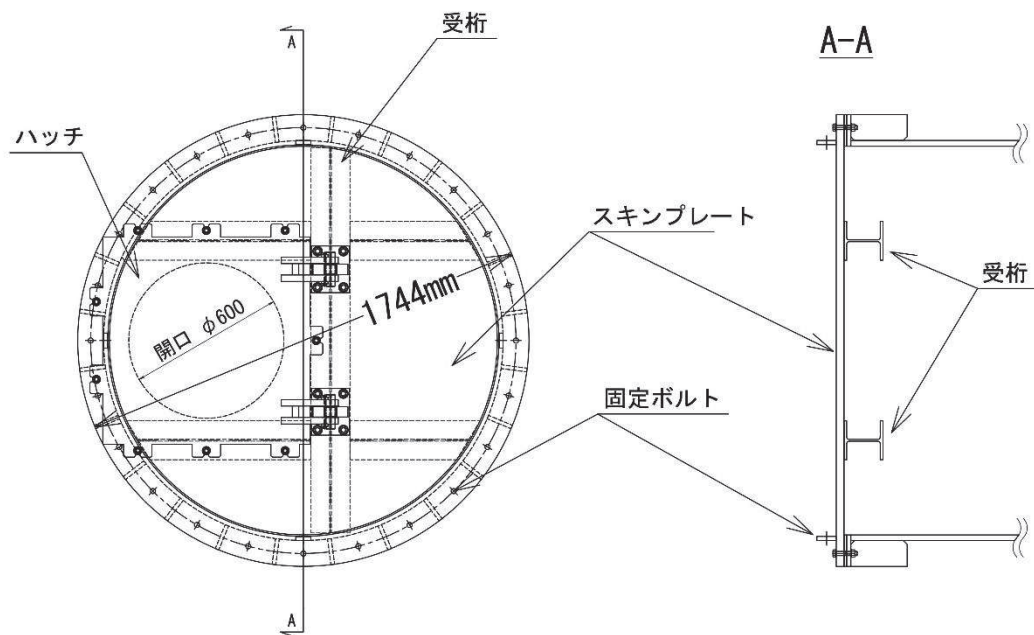
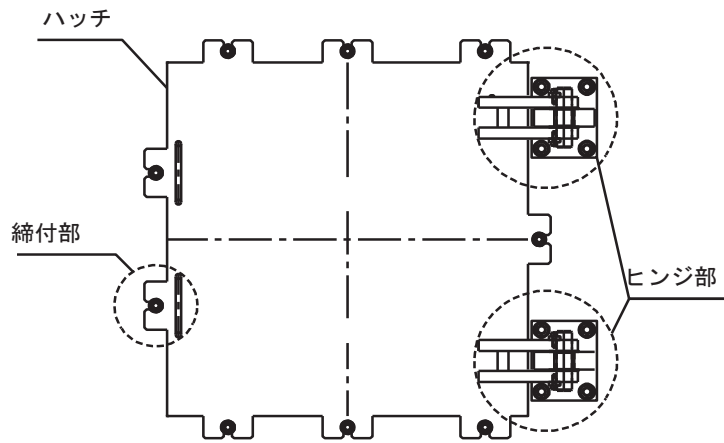
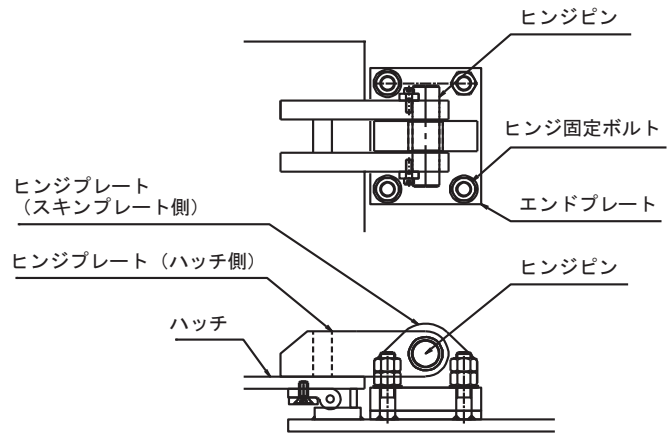


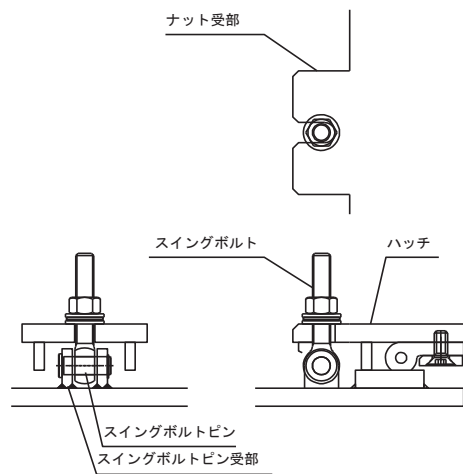
図3-1 (1) 評価対象部位 (スキンプレート、受桁及び固定ボルト)



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)



#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の強度評価は、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「4.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

##### 4.2 荷重及び荷重の組合せ

###### 4.2.1 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下記に示す。

$$G + P_h + S_d + P_s$$

ここで、	G	: 固定荷重 (kN)
	$P_h$	: 浸水津波荷重 (kN)
	$S_d$	: 余震荷重 (kN)
	$P_s$	: 積雪荷重 (kN)

###### 4.2.2 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下のとおりとする。

###### (1) 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。

###### (2) 浸水津波荷重( $P_h$ )

浸水津波荷重は、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」に示すとおり、津波高さ及び浸水防止蓋の設置高さを考慮した静水圧を次式により算出する。

$$P_h = \rho_o \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \cdot A$$

ここで、	$\rho_o$	: 水の密度 1.03 (t/m <sup>3</sup> )
	g	: 重力加速度 9.80665 (m/s <sup>2</sup> )
	$h_1$	: 設計津波水位 (O.P. m)
	$h_2$	: 浸水防止蓋の設置高さ (O.P. m)
	A	: 浸水防止蓋の面積 (m <sup>2</sup> )

(3) 積雪荷重(P<sub>s</sub>)

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<sub>s</sub> : 積雪荷重 (kN)  
W<sub>s</sub> : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m<sup>2</sup>)  
d<sub>s</sub> : 積雪高さ 43 (cm)  
A : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

(4) 余震荷重(S<sub>d</sub>)

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<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> に伴う地震力及び動水圧荷重を考慮するものとし、水平方向については、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> に伴う地震力を考慮する。鉛直方向については、弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> に伴う地震力と動水圧荷重を考慮する。

なお、浸水防止蓋の強度評価に用いる余震震度は、地盤物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-10-2-8-3 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））の耐震性についての計算書」の地震応答解析結果を用いる。

強度評価で用いる揚水井戸（第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の最大加速度を表 4-1 に、余震震度を表 4-2 に示す。

地震力は、浸水防止蓋の固定荷重、浸水津波荷重及び積雪荷重に余震震度を乗じた次式により算出する。

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

ここで、  
S<sub>d</sub> : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> による余震荷重 (kN)  
G : 固定荷重 (kN)  
P<sub>h</sub> : 浸水津波荷重 (kN)  
P<sub>s</sub> : 積雪荷重 (kN)  
α<sub>H</sub> : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> による水平方向の余震震度  
α<sub>V</sub> : 弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>-D<sub>2</sub> による鉛直方向の余震震度

表 4-1 (1) 地盤の地表面最大加速度 (水平方向)

地震動	解析ケース	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
S d - D 2	ケース②	265.6

表 4-1 (2) 地盤の地表面最大加速度 (鉛直方向)

地震動	解析ケース	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )
S d - D 2	ケース①	759.8

表 4-2 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 $\alpha_H$	鉛直方向 $\alpha_v$
揚水井戸 (第 3 号機海水ポン プ室防潮壁区画内)	O.P. 14.0	0.28	0.78

#### 4.3 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。

##### 4.3.1 使用材料

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 4-3 に示す。

表 4-3 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
受桁	SM490Y	H-150×150×7×10 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

##### 4.3.2 許容限界

###### (1) スキンプレート、受桁、固定ボルト

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を踏まえて表 4-4 の値とする。

表 4-4 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断
SM490Y	325	188

(2) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム堰施設技術協会 平成 28 年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 4-5 の値とする。

表 4-5 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

#### 4.4 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材に発生する応力より算定する応力度が、許容限界以下であることを確認する。

##### 4.4.1 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 4-1 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力度及びせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

###### (1) 弾性設計用地震動 $S_d - D_2$ による余震荷重 $S_d$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_v$$

ここで、 $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  による余震荷重 (kN)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)  
 $P_s$  : 積雪荷重 (kN)  
 $\alpha_v$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D_2$  の鉛直方向の余震震度

###### (2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の荷重 $W_{ss}$

$$W_{ss} = (G + P_h + S_d + P_s) / A$$

ここで、 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $G$  : スキンプレートの固定荷重 (kN)  
 $P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)  
 $S_d$  : 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)  
 $A$  : 浸水防止蓋の面積 (m<sup>2</sup>)

###### (3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 $\sigma$

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_1^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 $\sigma$  : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\beta_2$  : スキンプレートの辺長比に応じた係数  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $L_1$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度  $\tau$

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_1 + L_2) \cdot 2)$$

- ここで、  $\tau$  : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $W_{ss}$  : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $L_1$  : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)  
 $L_2$  : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)  
 $t$  : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度、せん断応力度を算定し、スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また、スキンプレートに生じる曲げ応力度とせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ここで、  $x$  : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

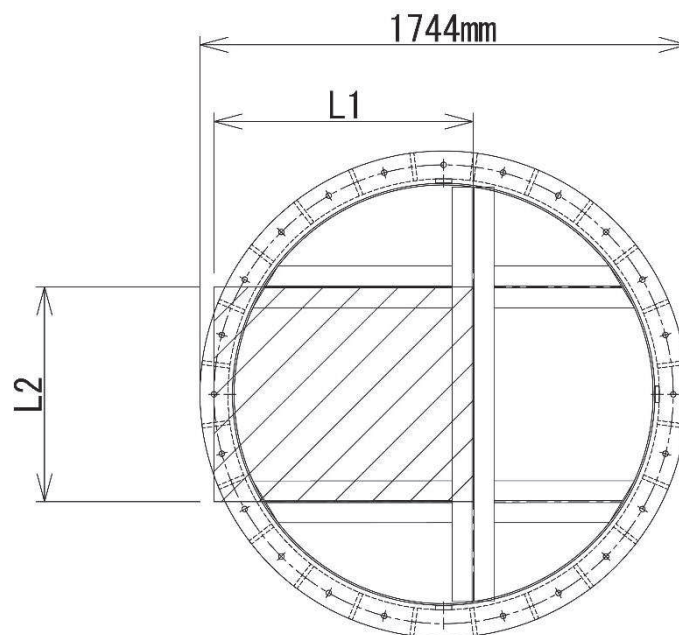


図 4-1 評価の対象とするスキンプレート

#### 4.4.2 受桁

受桁の支持条件は両端を固定支持とし、受桁が負担する荷重は保守的にスキンプレートに上載される積雪荷重、スキンプレートの固定荷重の全重量及び地震荷重を受桁に作用させる。図 4-2 に評価の対象とする受桁を示す。

##### (1) 弾性設計用地震動 $S_d - D2$ による余震荷重 $S_d$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_v$$

ここで、  $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による余震荷重 (kN)

$G$  : スキンプレートと受桁の固定荷重 (kN)

$P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_v$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  の鉛直方向の余震震度

##### (2) 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の荷重 $W_{s s'}$

$$W_{s s'} = (G + P_h + S_d + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、  $W_{s s'}$  : 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m<sup>2</sup>)

$G$  : スキンプレートと受桁の固定荷重 (kN)

$P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)

$S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による余震荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$L_1$  : 受桁の負担幅 (mm)

$A$  : スキンプレートの面積 (m<sup>2</sup>)

##### (3) 受桁に作用する最大せん断応力度 $\tau$

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

$\tau$  : 受桁に作用する最大せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q$  : 受桁に作用する最大せん断力 (kN)

$A_s$  : 受桁のせん断断面積 (mm<sup>2</sup>)

ここで、  $Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

$Q$  : 受桁に作用する最大せん断力 (kN)

$W_{s s'}$  : 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

$L_2$  : 受桁全長 (mm)



(4) 受桁に作用する最大曲げ応力度  $\sigma$

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

$\sigma$  : 受桁に作用する最大曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

M : 受桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 受桁の断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$$\text{ここで, } M = 1/8 \cdot W s s' \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$$

M : 受桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

W s s' : 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L<sub>2</sub> : 受桁全長 (mm)

(5) 受桁に作用する組合せ応力度

受桁に作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，受桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また，受桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで, x : 組合せ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

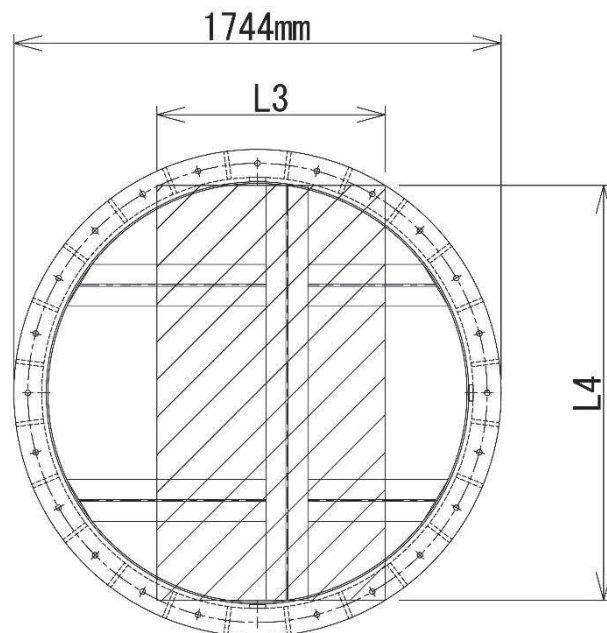


図 4-2 評価の対象とする受桁

#### 4.4.3 固定ボルト

図 4-3 に固定ボルトの納まりを示す。

- (1) 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による水平方向の余震荷重  $S_d$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

ここで,  $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による水平方向の余震荷重 (kN)

$G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

$P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_H$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  の水平方向の余震震度

- (2) 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による鉛直方向の余震荷重  $S_d$

$$S_d = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

ここで,  $S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による鉛直方向の余震荷重 (kN)

$G$  : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)

$P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_V$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  の鉛直方向の余震震度

- (3) 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度  $\sigma_t$

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

ここで,  $T_s = S_s / N$

$\sigma_t$  : 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$T_s$  : 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度 (kN)

$S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による鉛直方向の余震荷重 (kN)

$N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

$A'$  : 固定ボルトの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

- (4) 固定ボルト 1 本あたりに生じるせん断応力度  $\tau_s$

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

ここで,  $q_s = S_s / N$

$\tau_s$  : 固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$q$  : 固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (kN)

$S_d$  : 弾性設計用地震動  $S_d - D2$  による水平方向の余震荷重 (kN)

$N$  : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

$A'$  : 固定ボルトの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

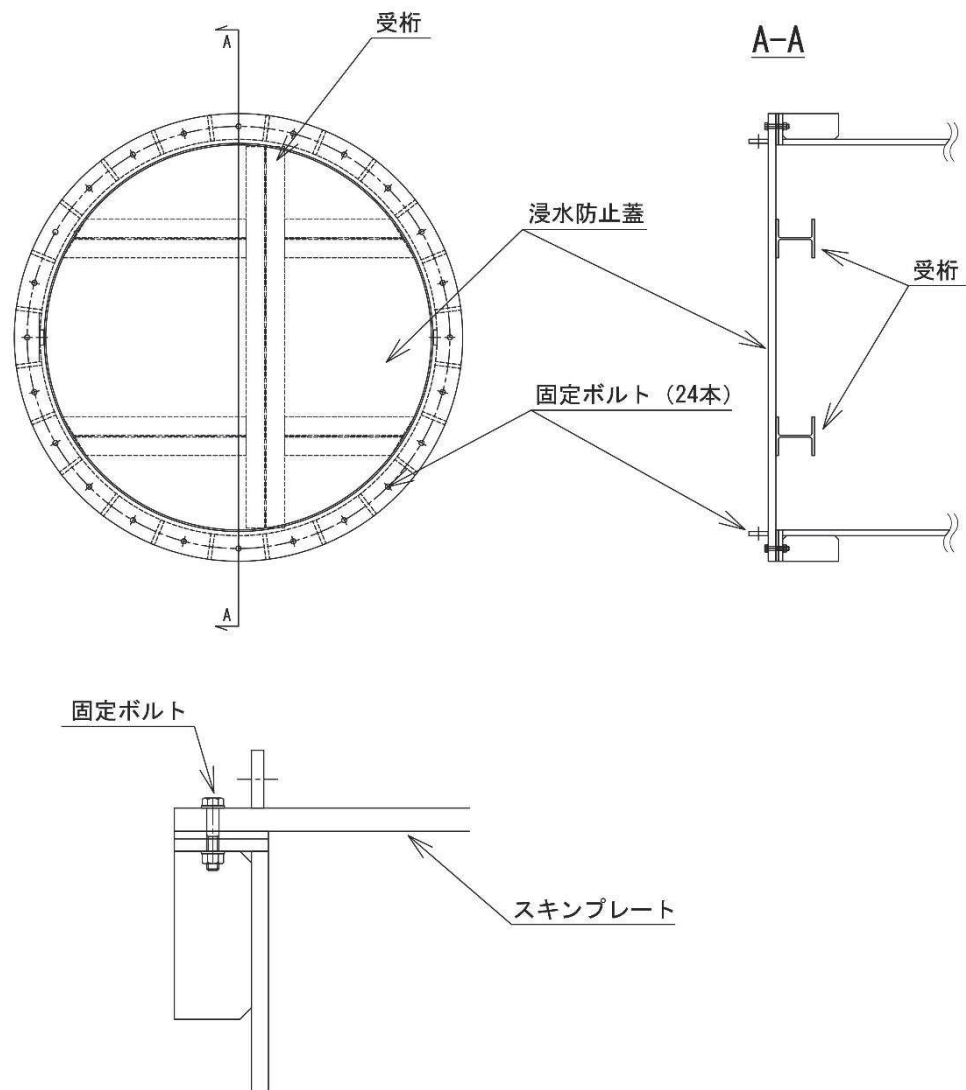


図 4-3 固定ボルトの納まり

#### 4.4.4 ハッチ

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図4-4に、荷重算定式を図4-5に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については、スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。

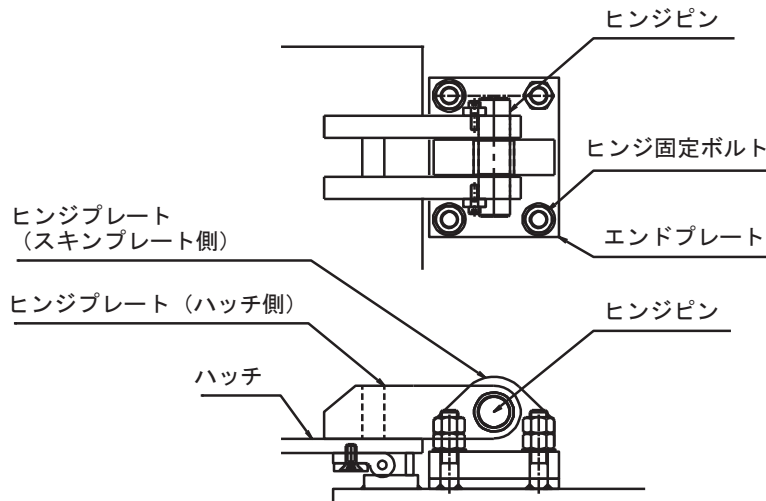


図4-4 (1) ヒンジ部の構造概要

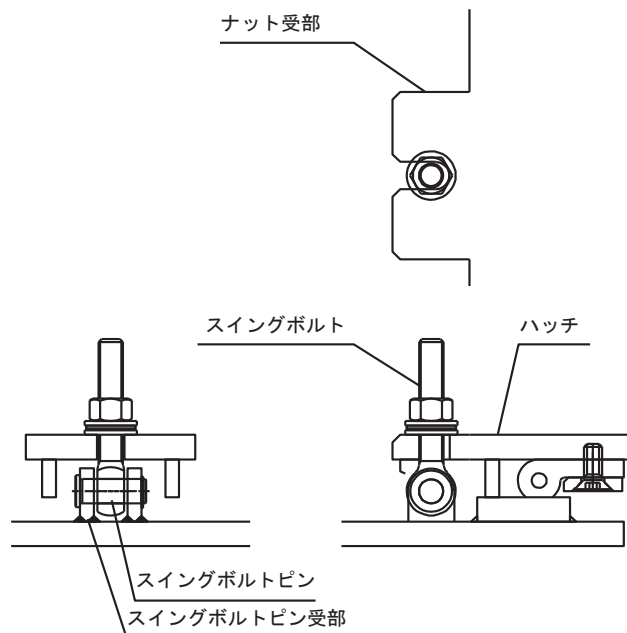
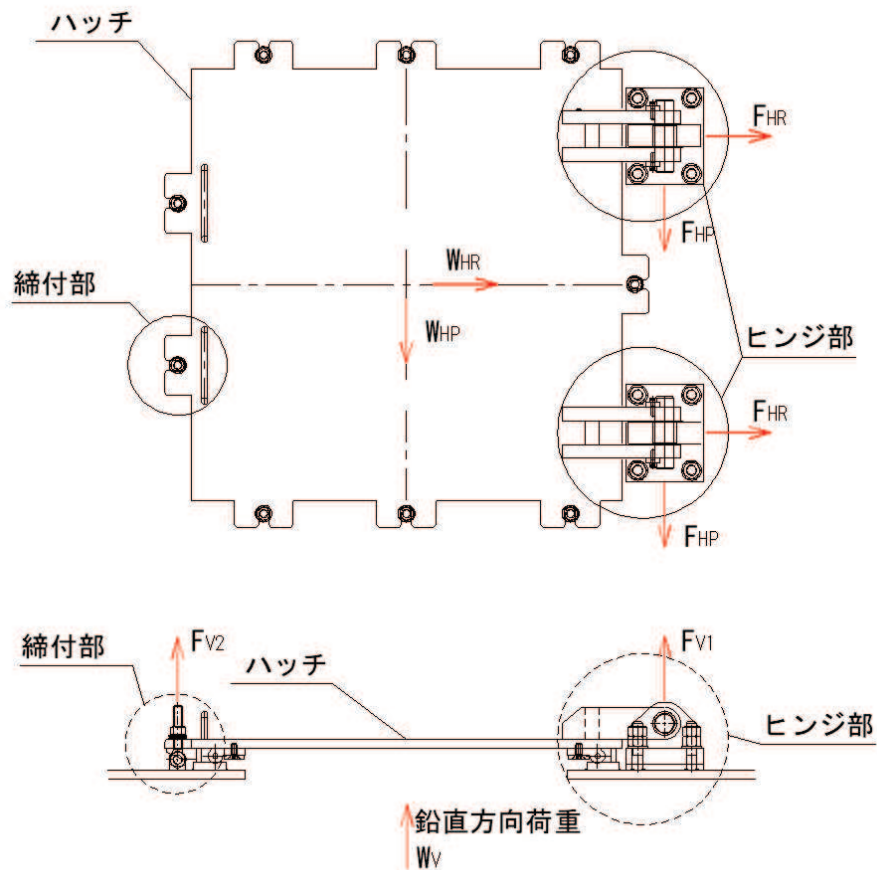


図4-4 (2) 締付部の構造概要



$$W_{HR} = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$W_{HP} = (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_H$$

$$W_V = (G + P_h + P_s) + (G + P_h + P_s) \cdot \alpha_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{V1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{V2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

$W_{HR}$  : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$W_{HP}$  : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$W_V$  : 鉛直荷重 (kN)

$W_R$  : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)

$L_c$  : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)

$L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

$G$  : ハッチの固定荷重 (kN)

$P_h$  : 浸水津波荷重 (kN)

$P_s$  : 積雪荷重 (kN)

$\alpha_H$  : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の水平方向の余震震度

$\alpha_V$  : 弾性設計用地震動 S d - D 2 の鉛直方向の余震震度

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$F_{V2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

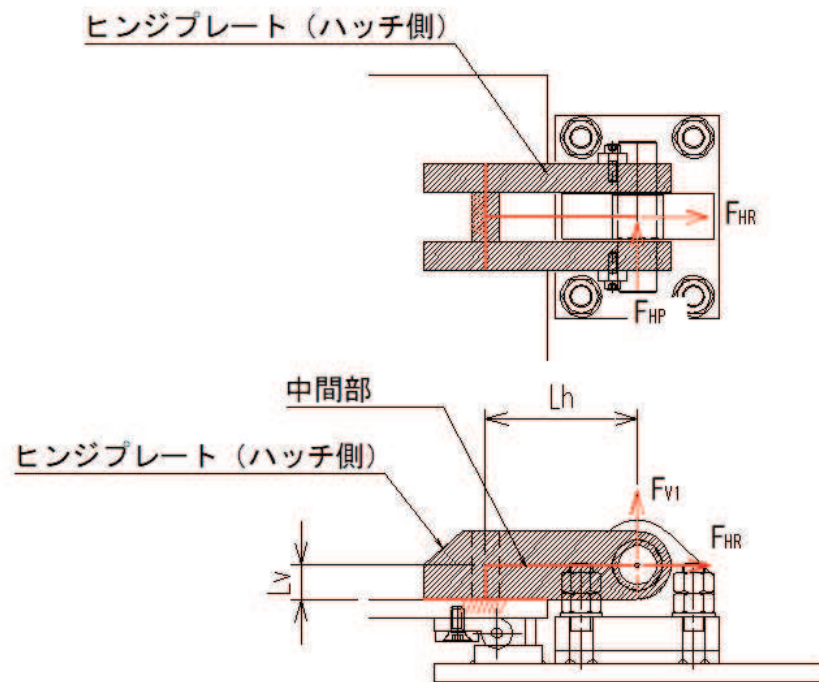
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$  : 分担率

$$(\alpha_1 = 0.5, \alpha_2 = 0.5, \alpha_3 = 0.1, \beta = 0.1)$$

図 4-5 ハッチの構造概要及び荷重算定式

#### 4.4.4.1 ヒンジプレート (ハッチ側)

ヒンジプレート (ハッチ側) の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度, せん断応力度, 合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及び応力算定式を図 4-6 に示す。



#### ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで,

$\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bV1}$  : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_v$  : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

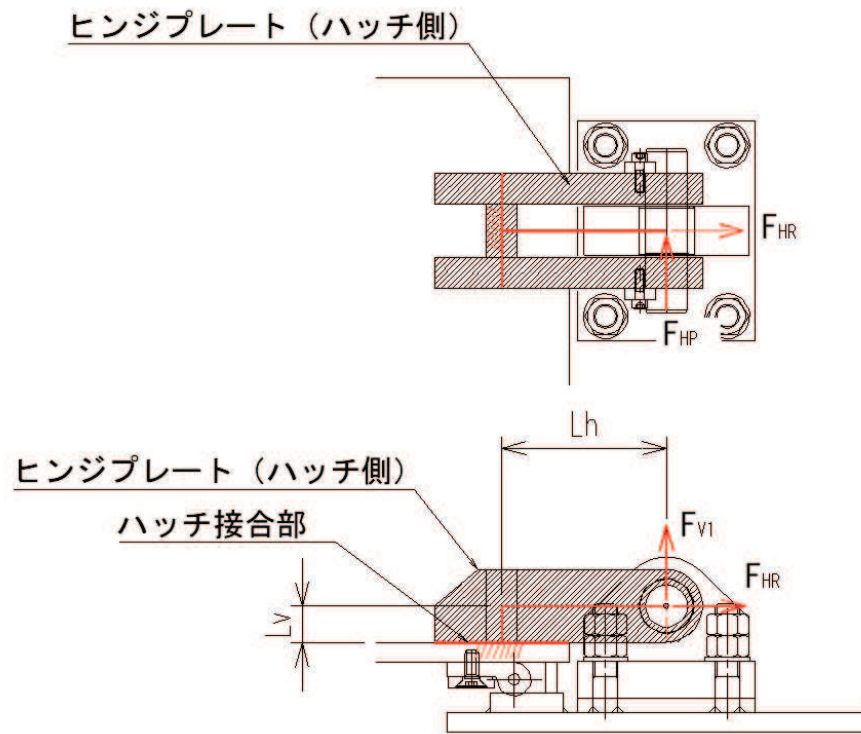
$L_h$  : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

$Z_1$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm<sup>3</sup>)

$Z_2$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm<sup>3</sup>)

$A_1$  : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

図 4-6 (1) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及び中間部の応力算定式



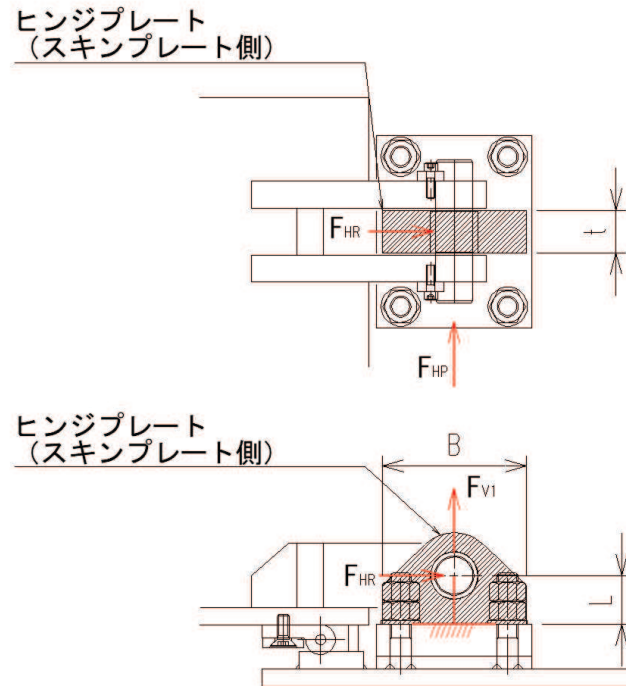
ハッチ接合部

$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$	ここで、	
$\sigma_N = F_{HR} / A_1$	$\sigma_N$	: 軸方向引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$	$\sigma_{bP}$	: 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$	$\sigma_{bV1}$	: 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
	$\tau_P$	: 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$	$\tau_v$	: 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
$\tau_P = F_{HP} / A$	$x$	: 合成応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
$\tau_v = F_{V1} / A$	$F_{HR}$	: ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
	$F_{HP}$	: ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
	$F_{V1}$	: ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
	$L_h$	: ヒンジ支点間水平距離 (mm)
	$Z_1$	: 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm <sup>3</sup> )
	$Z_2$	: 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm <sup>3</sup> )
	$A_1$	: ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm <sup>2</sup> )

図 4-6 (2) ヒンジプレート (ハッチ側) のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

#### 4.4.4.2 ヒンジプレート (スキンプレート側)

ヒンジプレート (スキンプレート側) のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度、せん断応力度、合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート (スキンプレート側) のモデル図及び応力算定式を図 4-7 に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

$\sigma_N$  : 軸方向引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bR}$  : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{bP}$  : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_R$  : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_P$  : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$L$  : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

$Z_1$  : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$Z_2$  : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$A$  : ヒンジプレート (スキンプレート側) の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$B$  : ヒンジプレート幅 (mm)

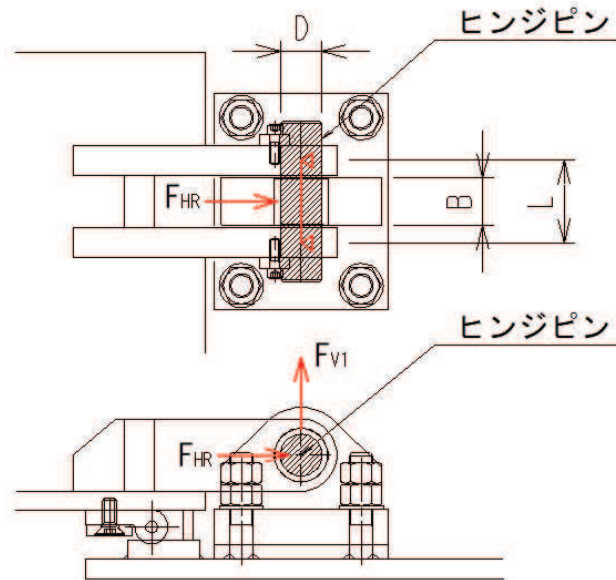
$t$  : ヒンジプレート板厚 (mm)

図 4-7 ヒンジプレート (スキンプレート側) のモデル図及び応力算定式



#### 4.4.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図4-8に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : ヒンジ支点間距離 (mm)

$B$  : 荷重の載荷長 (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

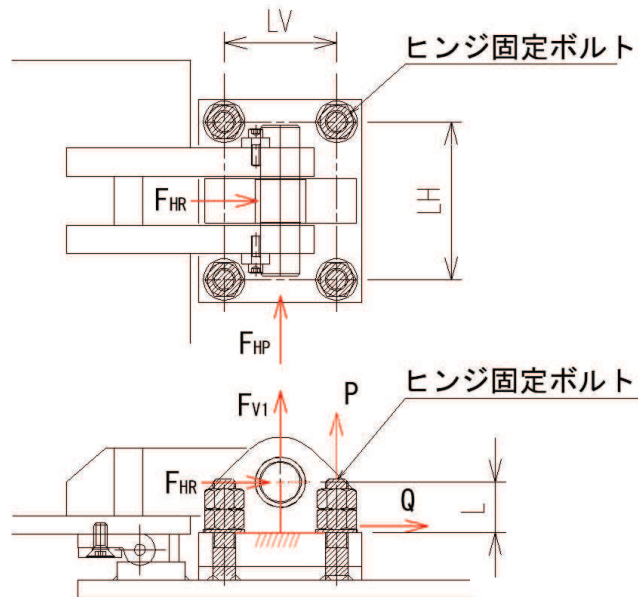
$A$  : ヒンジピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)

$D$  : ヒンジピンの直径 (mm)

図4-8 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図4-9に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : ボルト引張力 (kN)

$P_R$  : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

$P_P$  : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

$P_V$  : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

$Q$  : ボルトせん断力 (kN)

$Q_R$  : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

$Q_P$  : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

$F_{HR}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

$F_{HP}$  : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

$F_{V1}$  : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : ヒンジ基部ーピン穴間距離 (mm)

$L_V$  : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

$L_H$  : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

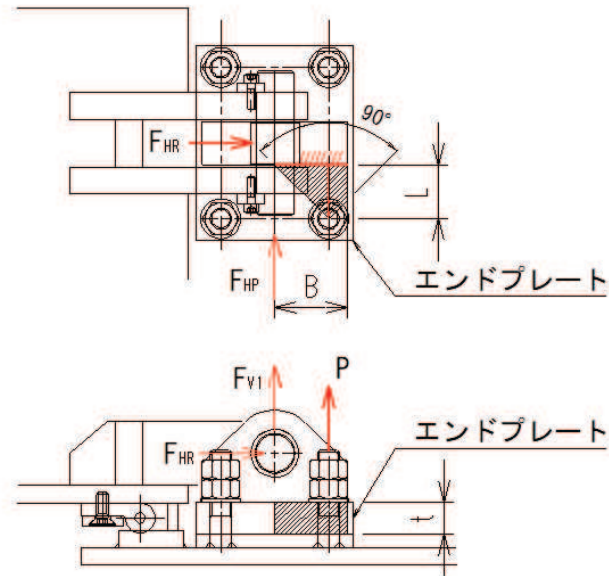
$N_H$  : 回転軸平行方向のボルト本数

$N_V$  : 回転軸直角方向のボルト本数

図4-9 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図4-10に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{VI} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : ボルト引張力 (kN)

$P_R$  : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

$P_P$  : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

$P_V$  : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : 有効断面幅 (mm)

$A$  : エンドプレートの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

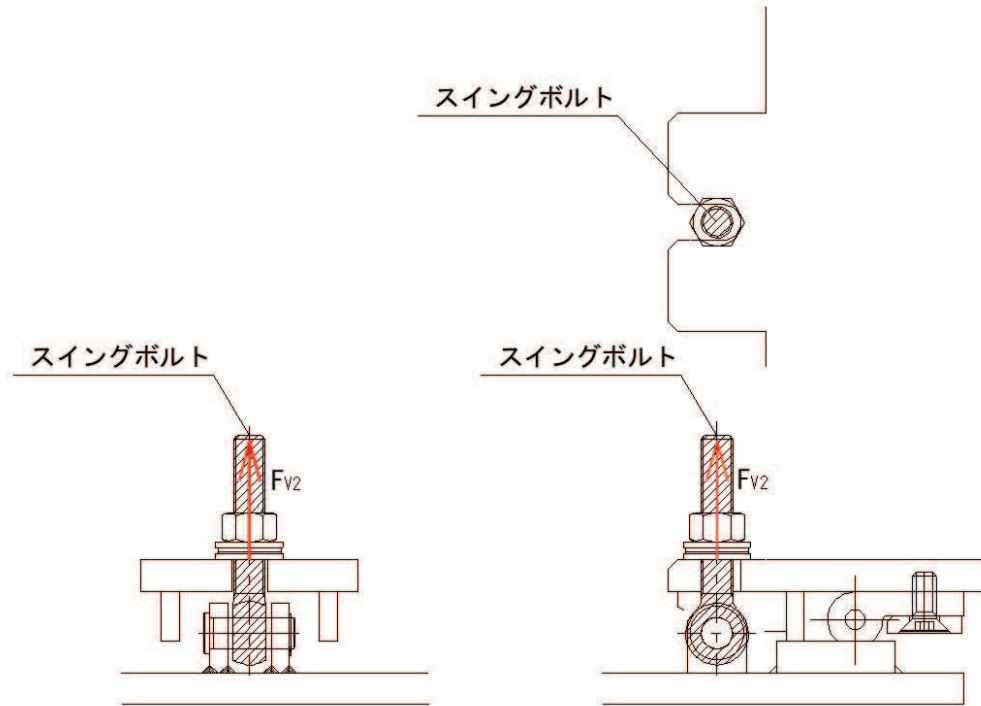
$L$  : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)

$t$  : エンドプレートの板厚 (mm)

図4-10 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図4-11に示す



$$\sigma = F_{v2} / A$$

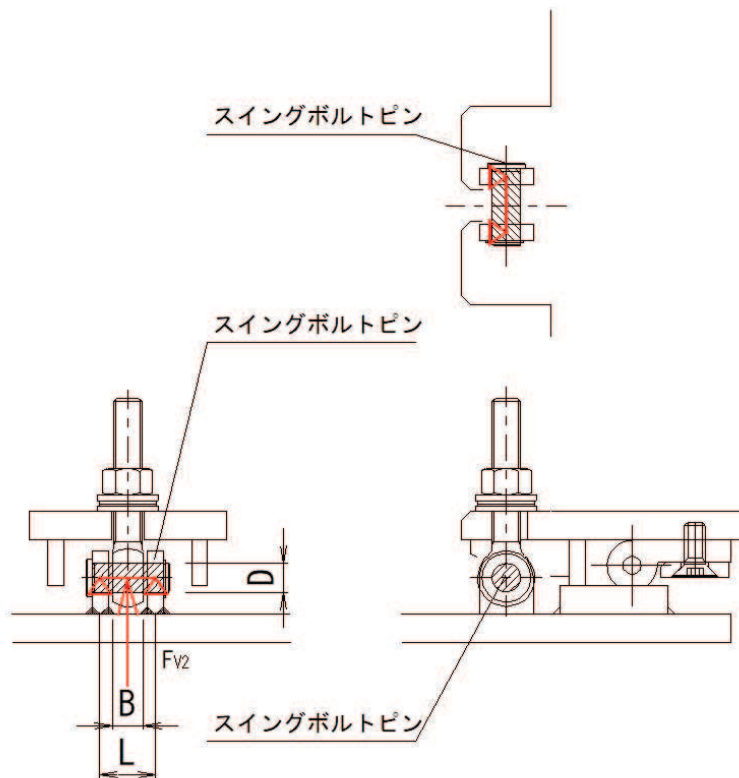
ここで、

- $\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $A$  : スイングボルトの断面積 (mm<sup>2</sup>)

図4-11 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 4-12 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

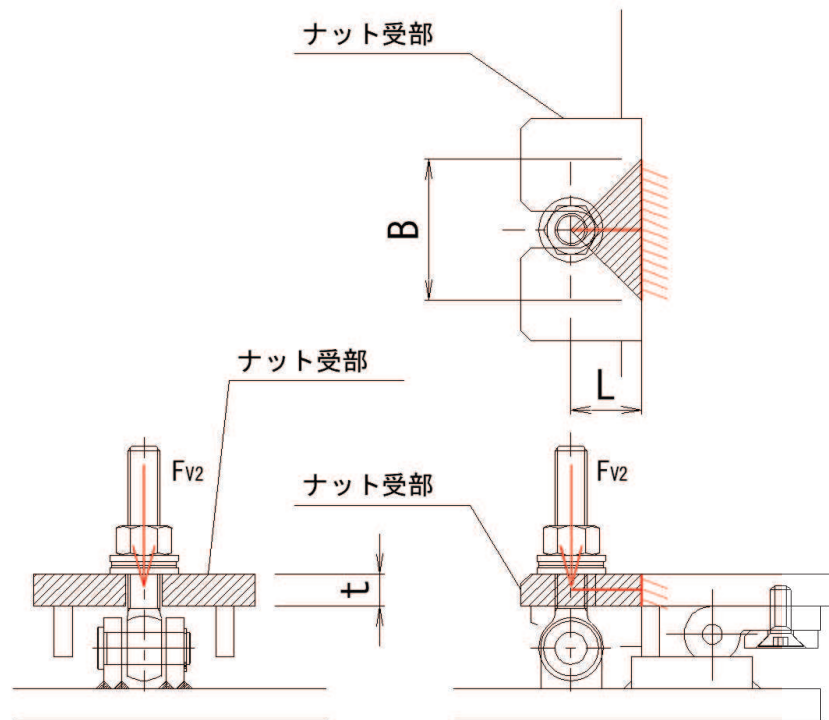
ここで，

- $\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $L$  : ヒンジ支点間距離 (mm)
- $B$  : 荷重の载荷長 (mm)
- $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $A$  : スイングボルトピンの断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $D$  : ピンの直径 (mm)

図 4-12 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受部のモデル図及び応力算定式を図4-13に示す



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

$\sigma$  : 曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 合成応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{v2}$  : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

$L$  : 腕長さ (mm)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

$B$  : 有効断面幅 (mm)

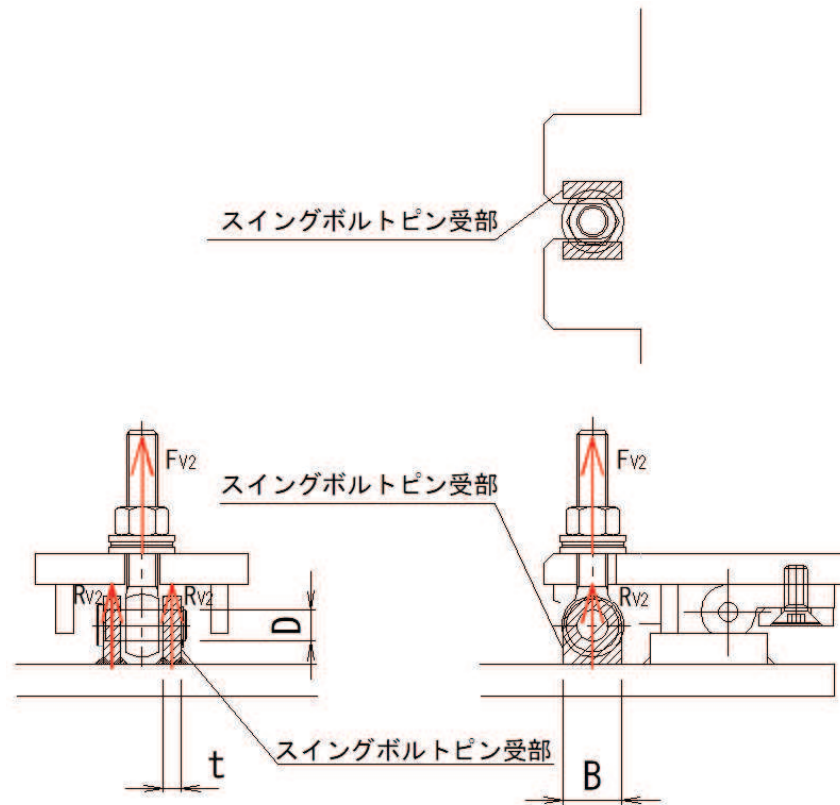
$A$  : ナット受部の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$t$  : ナット受部の板厚 (mm)

図4-13 ナット受部のモデル図及び応力算定式

#### 4.4.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 4-14 に示す



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- $\sigma$  : 引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $R_{v2}$  : スイングボルトピン受部が負担する縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $F_{v2}$  : 縮付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- $A$  : スイングボルトピン受部断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $B$  : スイングボルトピン受部の幅 (mm<sup>2</sup>)
- $t$  : スイングボルトピン受部の板厚 (mm<sup>2</sup>)

図 4-14 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

#### 4.5 評価条件

浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値を表 4-6 に示す。

表 4-6 (1) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
スキンプレート	G	kN	スキンプレートの固定荷重	4.94
	P <sub>h</sub>	kN	浸水津波荷重	132.78
	h <sub>1</sub>	O.P. m	設計津波水位	19.5
	h <sub>2</sub>	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	0.72
	A	m <sup>2</sup>	スキンプレートの面積	2.39
	L <sub>1</sub>	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	770
	L <sub>2</sub>	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	927
	β <sub>2</sub>	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレートの厚さ	16
受桁	G	kN	スキンプレートと受桁の固定荷重	6.14
	P <sub>h</sub>	kN	浸水津波荷重	132.78
	h <sub>1</sub>	O.P. m	設計津波水位	19.5
	h <sub>2</sub>	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	0.72
	L <sub>3</sub>	mm	受桁の負担幅	822
	L <sub>4</sub>	mm	受桁全長	1485
	A	m <sup>2</sup>	受桁のせん断断面積	910
	Z	mm <sup>4</sup>	受桁の断面係数	2.13×10 <sup>5</sup>
固定ボルト	G	kN	スキンプレートの固定荷重	4.94
	P <sub>h</sub>	kN	浸水津波荷重	132.78
	h <sub>1</sub>	O.P. m	設計津波水位	19.5
	h <sub>2</sub>	O.P. m	浸水防止蓋の設置高さ	14.0
	P <sub>s</sub>	kN	積雪荷重	0.72
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	24
	A'	mm <sup>2</sup>	固定ボルトの有効断面積	157



表 4-6 (2) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.47
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.68
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.47
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.47
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.68
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	4.47
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.68
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_v$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_h$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_h$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_v$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 4-6 (3) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	1.12
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	1.42
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160
スイングボルト	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	157
スイングボルトピン	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	402
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	201
ナット受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	121.50

表 4-6 (4) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	7.80
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	4.47
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.68
	$L_h$	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	$L_v$	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	$4.08 \times 10^4$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	$9.25 \times 10^4$
	$Z_3$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	$1.02 \times 10^5$
	$Z_4$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	$1.49 \times 10^5$
	$Z_p$	mm <sup>3</sup>	極断面係数	$5.50 \times 10^4$
	$A_1$	mm <sup>2</sup>	断面積 (中間部)	3500
$A_2$	mm <sup>2</sup>	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	7.80
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	4.47
	$L$	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	$Z_1$	mm <sup>3</sup>	回転軸平行方向回りの断面係数	$1.22 \times 10^5$
	$Z_2$	mm <sup>3</sup>	回転軸直角方向回りの断面係数	$3.60 \times 10^4$
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	5400
ヒンジピン	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	7.80
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.68
	$L$	mm	ヒンジ支点間距離	69
	$B$	mm	荷重の載荷長	40
	$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数	6283
	$A$	mm <sup>2</sup>	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	$F_{HR}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	7.80
	$F_{HP}$	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	4.47
	$F_{v1}$	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	5.68
	$L$	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	$L_v$	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	$L_h$	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	$N_h$	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	$N_v$	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 4-6 (5) 浸水防止蓋の強度評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	$P_R$	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	1.95
	$P_P$	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0.80
	$P_V$	kN	鉛直方向荷重による引張力	1.42
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	$1.15 \times 10^4$
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	2160
スイングボルト	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	157
スイングボルトピン	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	402
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	201
ナット受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm <sup>2</sup>	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	$F_{V2}$	kN	締付部に作用する鉛直荷重	5.68
	A	mm <sup>2</sup>	断面積	121.50

5. 評価結果

浸水防止蓋の強度評価結果を表5-1に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 (1) 浸水防止蓋の強度評価結果 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
スキンプレート	曲げ	96	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.30 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	97	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.30 < 1.0
受桁	曲げ	111	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.35 < 1.0
	せん断	70	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.38 < 1.0
	組合せ	165	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.51 < 1.0
固定ボルト	引張	29	N/mm <sup>2</sup>	325	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
	せん断	11	N/mm <sup>2</sup>	188	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0

表 5-1 (2) 浸水防止蓋の強度評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	21	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	21	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	10	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	10	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	3	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	せん断	1	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.01 < 1.0
	組合せ	4	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	15	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	15	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	11	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	5	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	14	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
エンドプレート	曲げ	10	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	11	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
スイングボルト	引張	37	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	76	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.28 < 1.0
	せん断	15	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
	組合せ	80	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.27 < 1.0
ナット受部	曲げ	67	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.25 < 1.0
	せん断	6	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	68	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.23 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	24	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0

表 5-1 (3) 浸水防止蓋の強度評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	28	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.11 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	29	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	13	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	13	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
	組合せ	26	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	11	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
	せん断	3	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	12	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.05 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	19	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.08 < 1.0
	せん断	4	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.03 < 1.0
	組合せ	20	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	18	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	せん断	10	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	組合せ	24	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0
エンドプレート	曲げ	17	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.07 < 1.0
	せん断	2	N/mm <sup>2</sup>	153	N/mm <sup>2</sup>	0.02 < 1.0
	組合せ	17	N/mm <sup>2</sup>	291	N/mm <sup>2</sup>	0.06 < 1.0
スイングボルト	引張	37	N/mm <sup>2</sup>	265	N/mm <sup>2</sup>	0.14 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	76	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.28 < 1.0
	せん断	15	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.10 < 1.0
	組合せ	80	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.27 < 1.0
ナット受部	曲げ	67	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.25 < 1.0
	せん断	6	N/mm <sup>2</sup>	157	N/mm <sup>2</sup>	0.04 < 1.0
	組合せ	68	N/mm <sup>2</sup>	300	N/mm <sup>2</sup>	0.23 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	24	N/mm <sup>2</sup>	273	N/mm <sup>2</sup>	0.09 < 1.0

(参考資料1) 浸水防止蓋の開閉運用について

1. 概要

表 1-1 に浸水防止蓋一覧，図 1-1 に浸水防止蓋の平面位置図，図 1-2 に各浸水防止蓋の構造図，図 1-3 に津波波形を示す。

浸水防止蓋は，原子炉機器冷却海水配管ダクト，第 3 号機補機冷却海水系放水ピット，第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア，揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内），揚水井戸（第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）及び軽油タンクエリアに設置し，それら各場所においてメンテナンス等のため開閉を行う計画である。

この浸水防止蓋について，津波時に浸水防止蓋又は浸水防止蓋に設けたハッチ部が確実に閉止できるよう計画した開閉構造，並びに開閉に要するタイムラインを評価した結果を示す。

評価を行う浸水防止蓋は，浸水防止蓋全体を開閉するタイプとして第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリアの浸水防止蓋を，それ以外のハッチ並びにスライドタイプについて，スライドタイプは開閉作業が容易な構造であり，設置している軽油タンク室（燃料移送ポンプエリア）は深度が約 5m と浅く作業員の退避時間が短いことから，メンテナンス等の作業を行う立坑深度が最も深く作業員の退避時間が最長となるハッチタイプの揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の浸水防止蓋を代表として選定した。

タイムラインの評価にあたっては，地震後の敷地への津波到達が 30～40 分程度であることを踏まえ裕度をもって閉止できるよう防潮壁（鋼製扉）と同様に人力で 15 分以内に開閉できることを目標とした。

表 1-1 浸水防止蓋一覧

No.	名 称	タイプ*	代表選定	備考
1	浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）	ハッチ		
2	浸水防止蓋（第 3 号機補機冷却海水系放水ピット）	ハッチ		
3	浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）	蓋全体	○	
4	浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)	蓋全体	○	
5	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））	ハッチ	○	
6	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））	ハッチ		
7	地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 1), (No. 2)	スライド		
8	地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋	スライド		

注記\*：「ハッチ」はハッチのみを開放するタイプ，「蓋全体」は蓋全体を開放するタイプ，「スライド」はスライド式の蓋により開閉するタイプを示す。



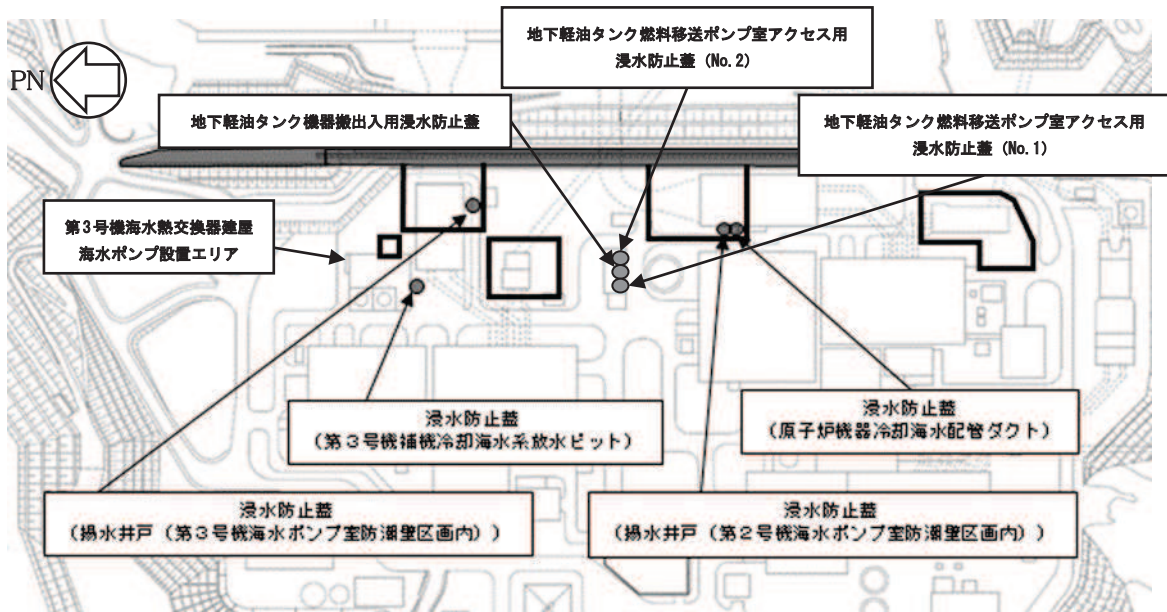


図 1-1 浸水防止蓋の平面配置図 (1/2)

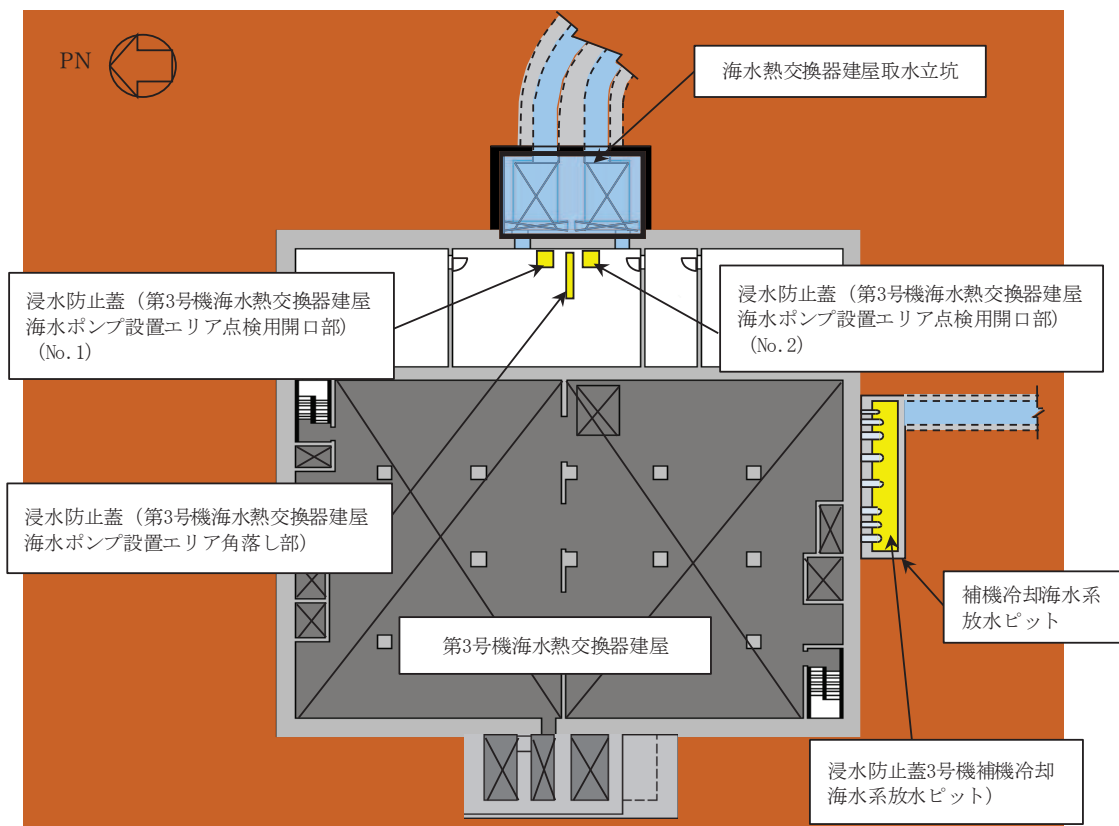
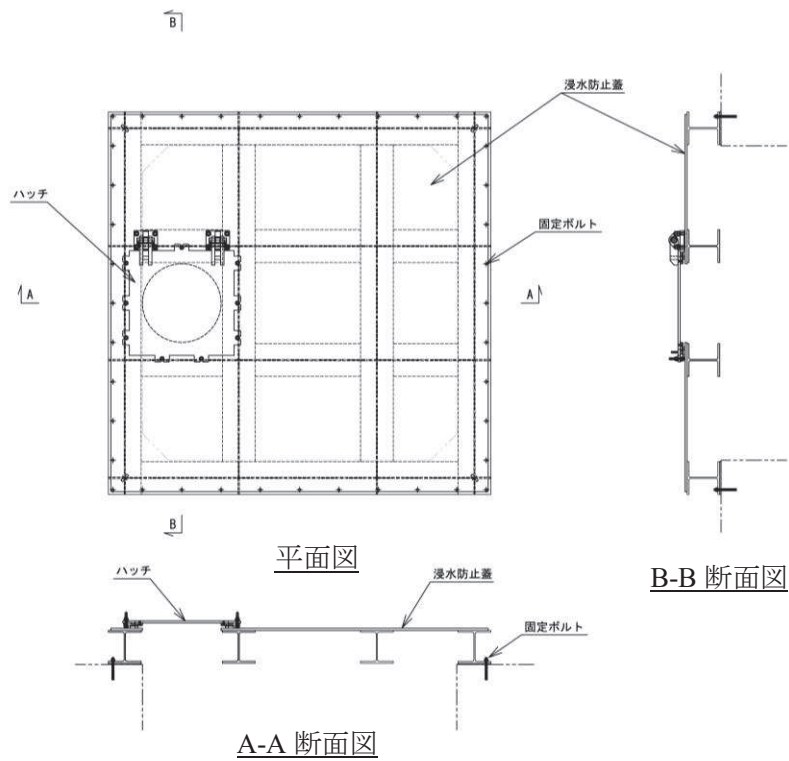
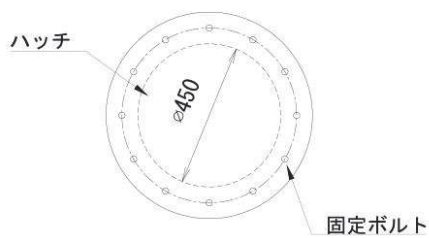
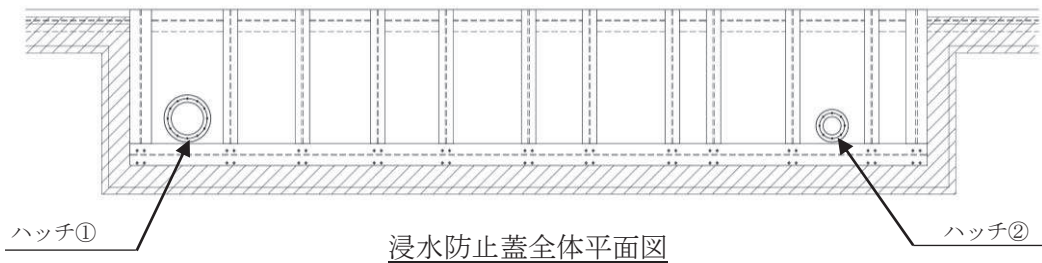


図 1-1 浸水防止蓋の平面配置図 (2/2)

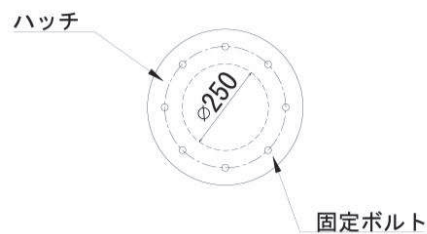


浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）

ハッチの取付け位置を検討中



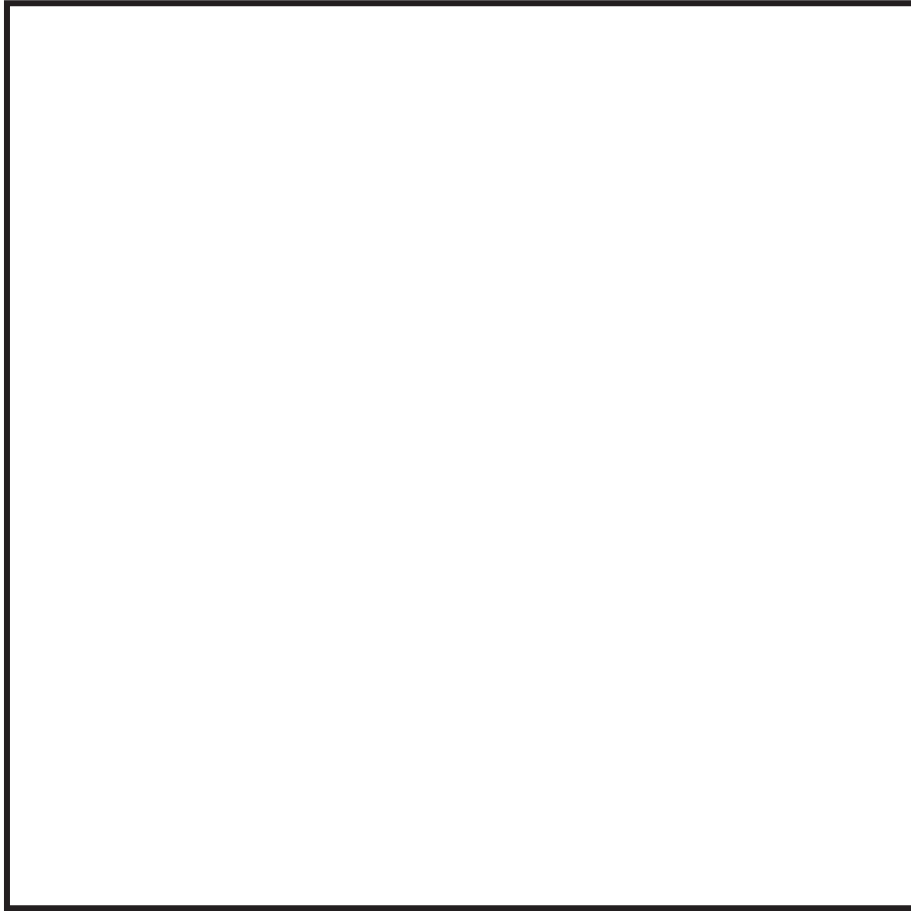
ハッチ①（平面図）



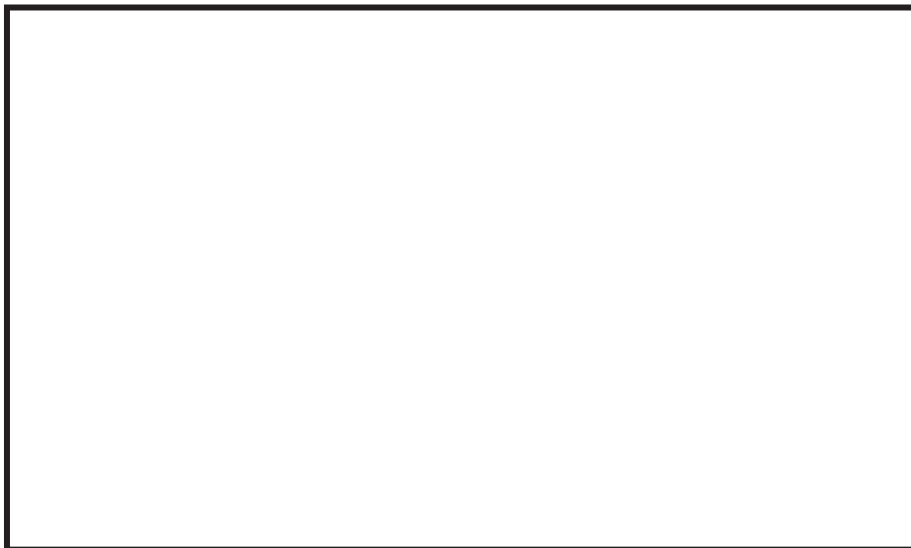
ハッチ②（平面図）

浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）

図 1-2 浸水防止蓋の構造図 (1/4)



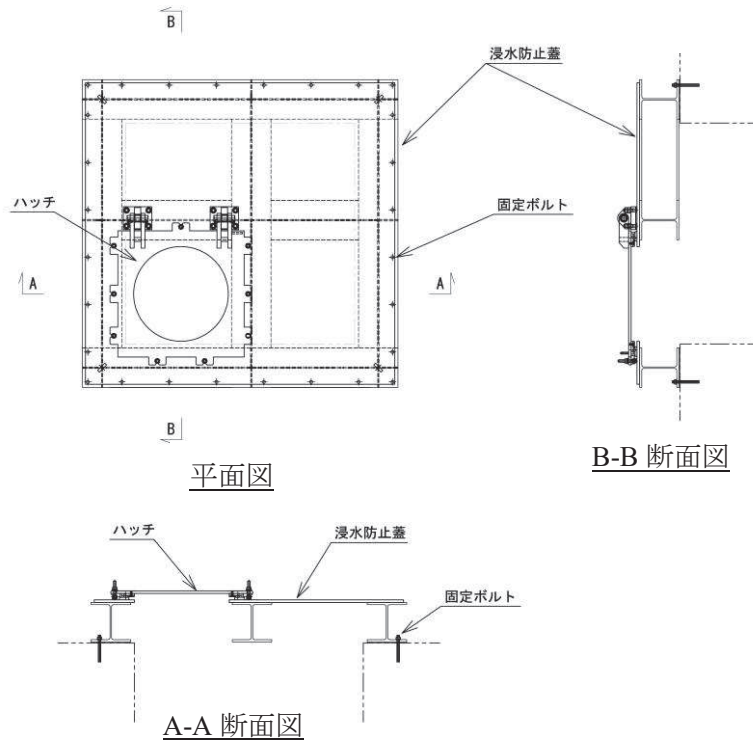
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）



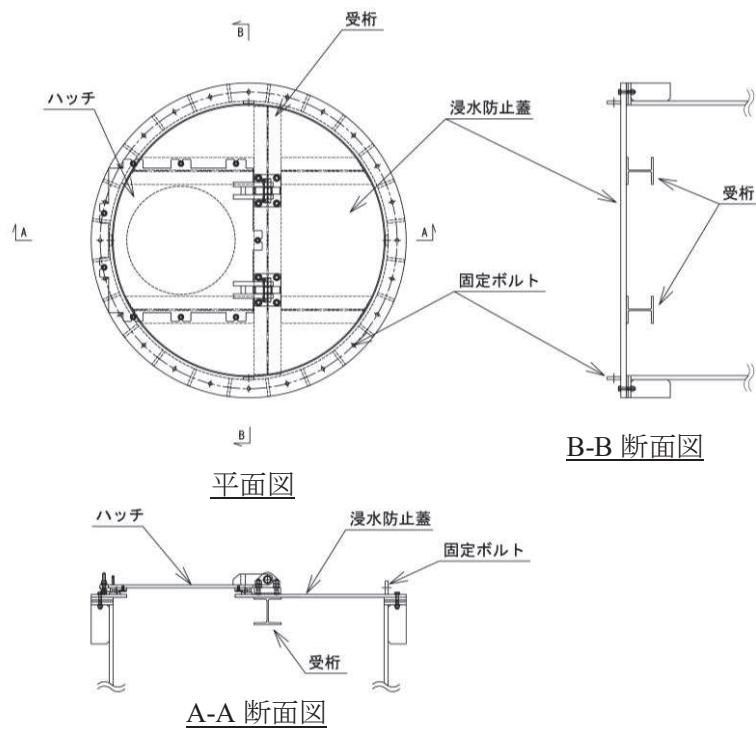
浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）（No. 1）,（No. 2）

図1-2 浸水防止蓋の構造図（2/4）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

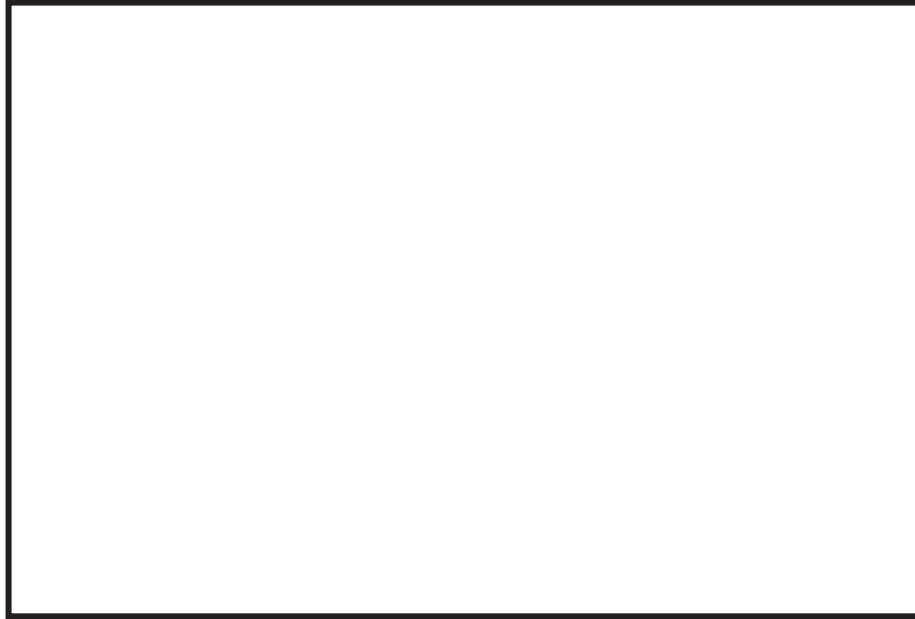


浸水防止蓋（揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内））



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））

図1-2 浸水防止蓋の構造図 (3/4)



地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 1), (No. 2) \*1

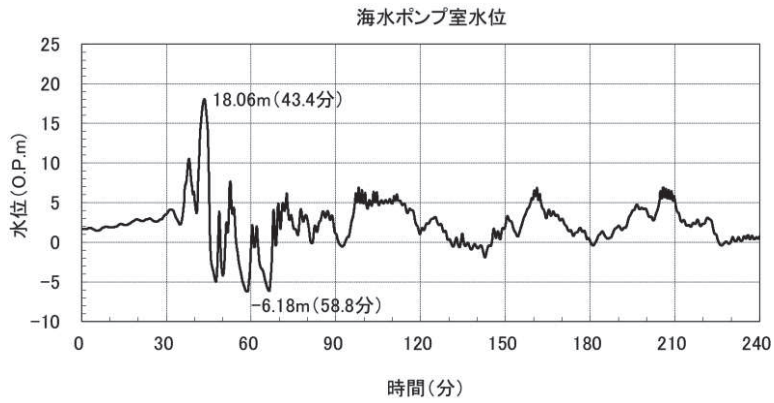


地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋\*1

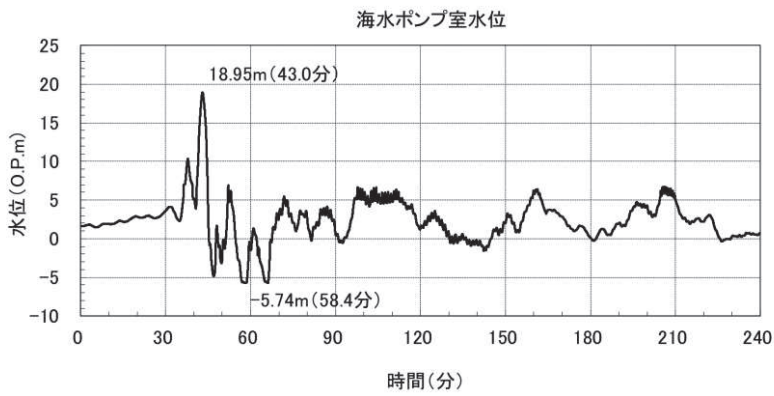
図 1-2 浸水防止蓋の構造図 (4/4)

注記\*1： 閉操作はキャスター付きの浸水防止蓋をスライドさせ、固定ボルト①（蝶ボルト：M16，8本）にて固定することにより実施。

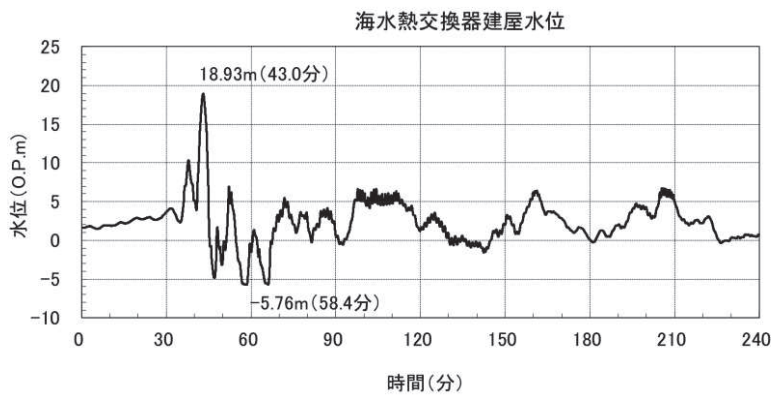
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(第2号機海水ポンプ室 上昇側)

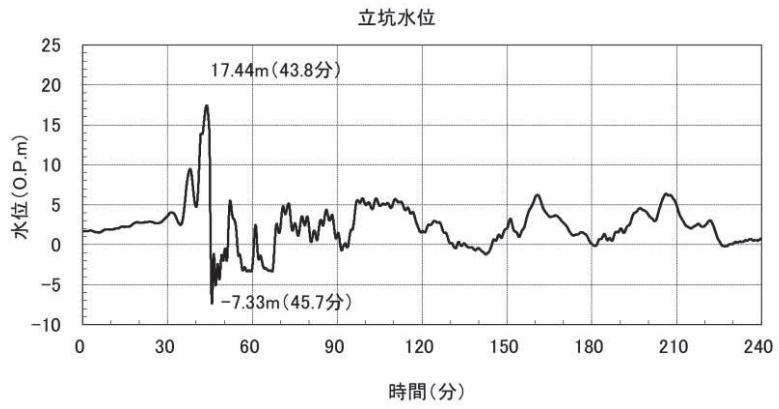


(第3号機海水ポンプ室 上昇側)



(第3号機海水熱交換器建屋 上昇側)

図1-3 入力津波の時刻歴波形 (1/2)



(第 3 号機放水立坑 上昇側)

図 1-3 入力津波の時刻歴波形 (2/2)

## 2. 浸水防止蓋の運用方針

強風時の作業限界等を検討し、運用方針に係る基本的事項を以下のとおり纏めた。

なお、詳細な運用内容の具体に関しては、後段の保安規定審査の中で説明する。

### 浸水防止蓋の運用に係る基本事項について（案）

#### 1. 概要

浸水防止蓋は各場所においてメンテナンス等のため開閉操作を行うが、津波時に浸水防止蓋が確実に閉止できるように、以下の構造・機構及び運用とする方針である。

(1) 浸水防止蓋は原則閉止運用とする。

ただし、定期点検時等により、蓋が開状態となる場合は、緊急時（地震発生時等）に速やかに閉操作を行える人員を、蓋付近に待機させる運用とする。

(2) 蓋の開閉操作は、チェーンブロック、トルクレンチ及びスパナなどの人力による工具、ならびにインパクトレンチなどの電動工具を用いた閉止操作が可能とし、ボルトを締め付けることで水密性を確保する構造・機構とする。

(3) 閉操作は人力の工具のみで、15分以内で操作できる構造・機構とする。

(4) 強風・暴風等により、閉操作が困難となる可能性がある場合は、原則開操作は行わない運用とする。

なお、浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）および浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1) (No. 2) の設置場所は周囲を建屋の壁に囲われた地下部であり、風の影響を直接受けない場所であるが、同様の運用とする。

強風：10分間平均風速が毎秒10m以上

暴風：瞬間風速が毎秒30m以上



3. 浸水防止蓋の開閉構造，閉止手順および閉止時間の評価

- (1) 浸水防止蓋(第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)および浸水防止蓋(第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部) (No. 1) (No. 2)

a. 開閉構造

浸水防止蓋の構造図を図3-1に，各部位の名称と役割を表3-1に示す。

開放時は固定ボルトを緩めて蓋を開けた(吊り上げた)後，ロックピンで固定して開状態を維持する。閉止時はロックピンを外して蓋を閉めた(吊り下ろした)後，固定ボルトを締め付けることで水密性を確保するとともに蓋を固定する構造とする。

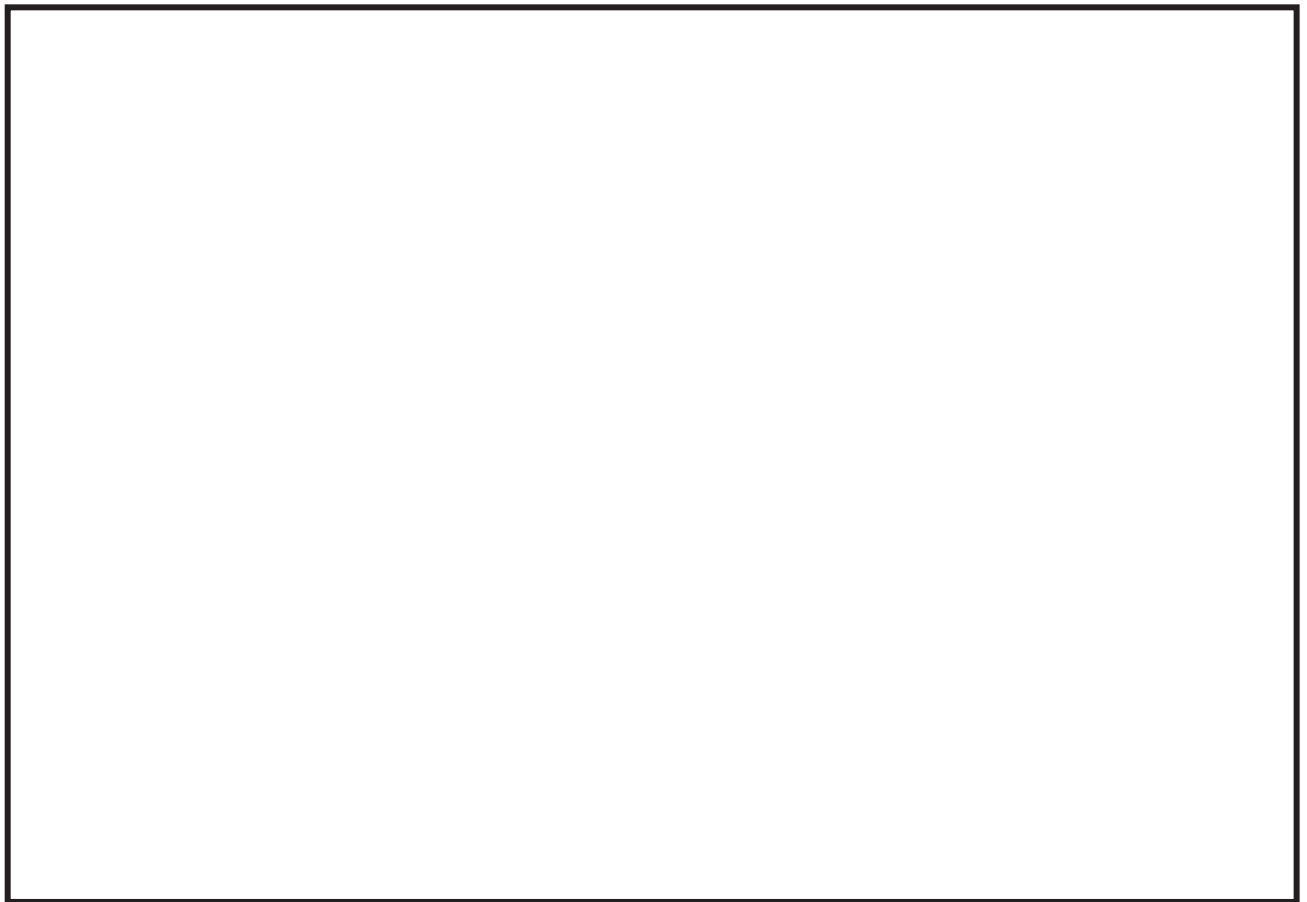


図3-1 浸水防止蓋の構造図(平面図)(1/3) [単位:mm]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

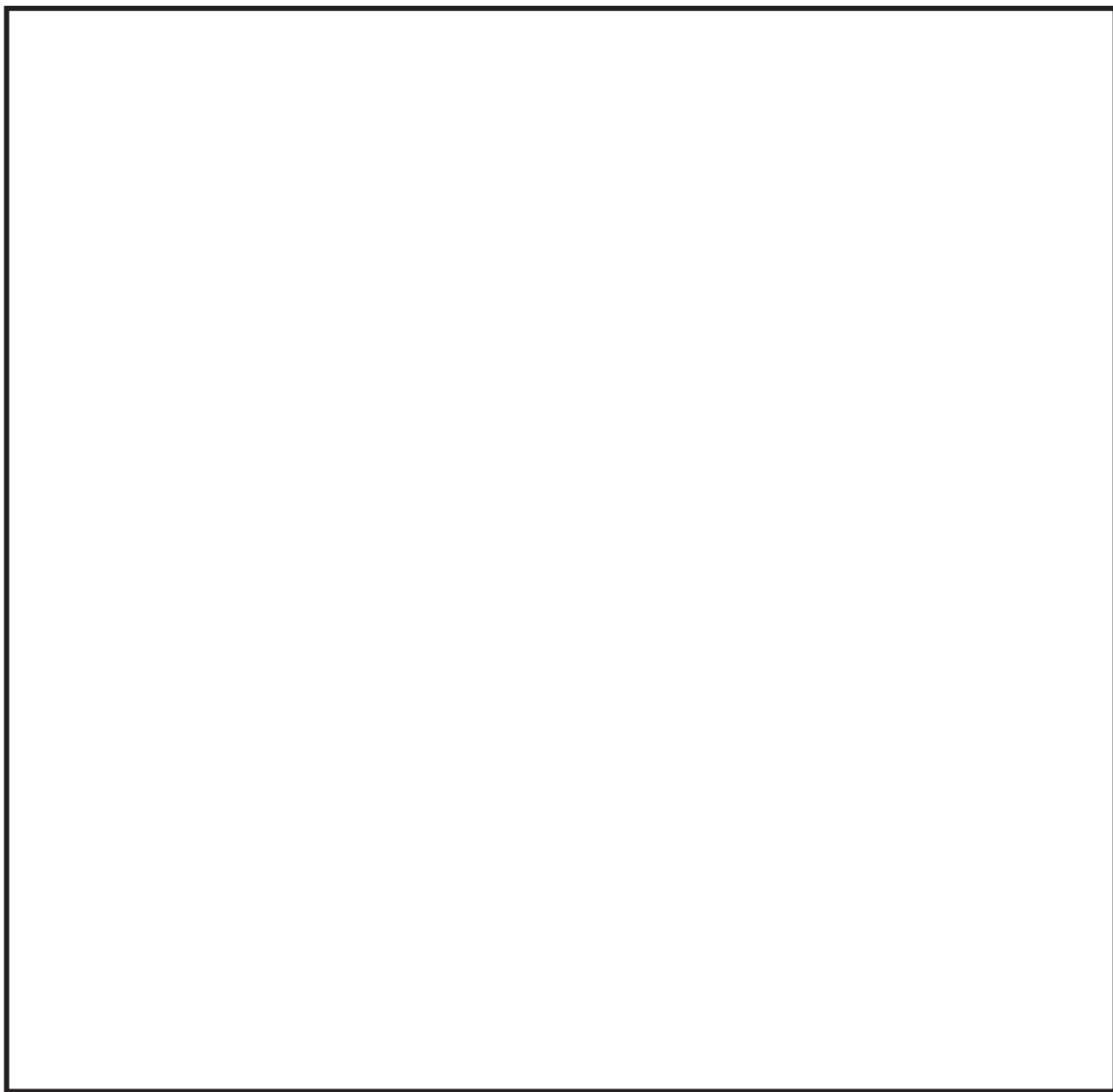


図 3-1 浸水防止蓋の構造図（断面図）（2/3） [単位：mm]

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

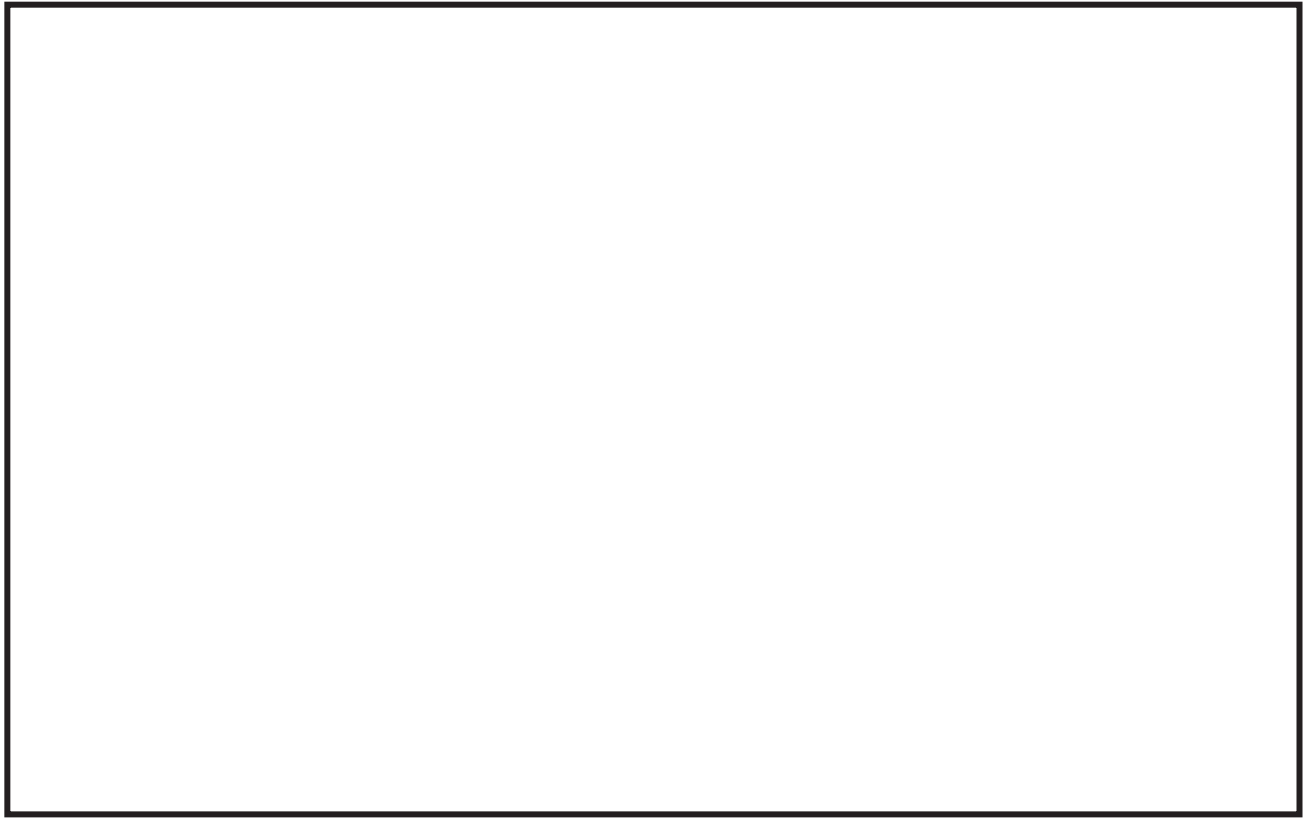


図 3-1 浸水防止蓋の構造図（断面図）（3/3） [単位：mm]

表 3-1 各部位の名称と役割

名 称	役割等
ロックピン	開状態を維持するために蓋を架台に固定するピン。*
ロックピン用架台	ロックピンで蓋を固定する架台。*
固定ボルト	蓋と枠を固定するとともに、止水ゴムパッキンを締め付けて水密性を確保するボルト。*
ヒンジ	浸水防止蓋開閉時に蓋と枠を固定している部材。*
ローラー	蓋を水平移動させる部材。
ローラー受け板	蓋をローラー上に乗せる部材。

注記\*：設計用地震力に対して十分な構造健全性を有する構造とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 開閉手順

運用方針に係る基本的事項を踏まえ、人力によるチェンブロック、トルクレンチ、スパナ及び電動式インパクトレンチを用いて開閉操作する。

当該蓋の開閉が伴う各種点検や作業のうち、蓋の閉止作業に最も時間を要する角落し作業の全体フローを図 3-2 に示す。

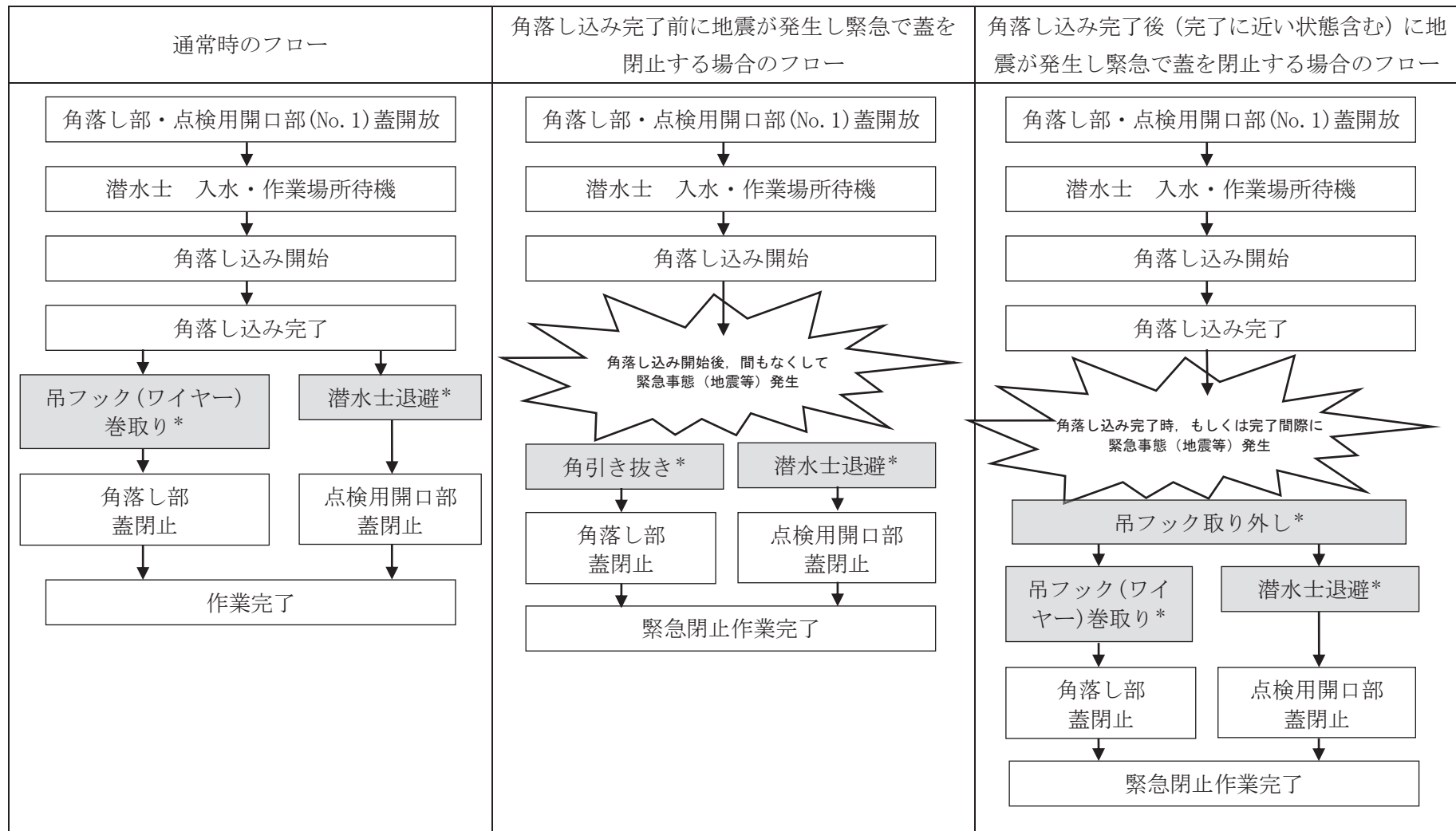
角落し作業は、第 3 号機海水熱交換機建屋の隔壁に設けられた開口部に角落しを設置することで、水路内を区画分離し、抜水により区画内の設備を気中点検するため行うものである。なお、角落し作業に伴う浸水防止蓋の開閉は作業安全の確保のため、潮位が低いときに実施する。

角落し作業の概要図を図 3-3 に示す。

角落し作業では蓋を開放している状態において緊急（地震発生等）で蓋を閉止する場合、蓋を閉止する前に必ず潜水士の退避、角の引き抜きまたは吊ワイヤーの巻取り作業を実施しなければならないため、蓋を閉止完了させるまでに手順が多くなり、蓋の閉止に最も時間を要する作業となる。緊急で蓋を閉止する場合の詳細フローを図 3-4 に示す。

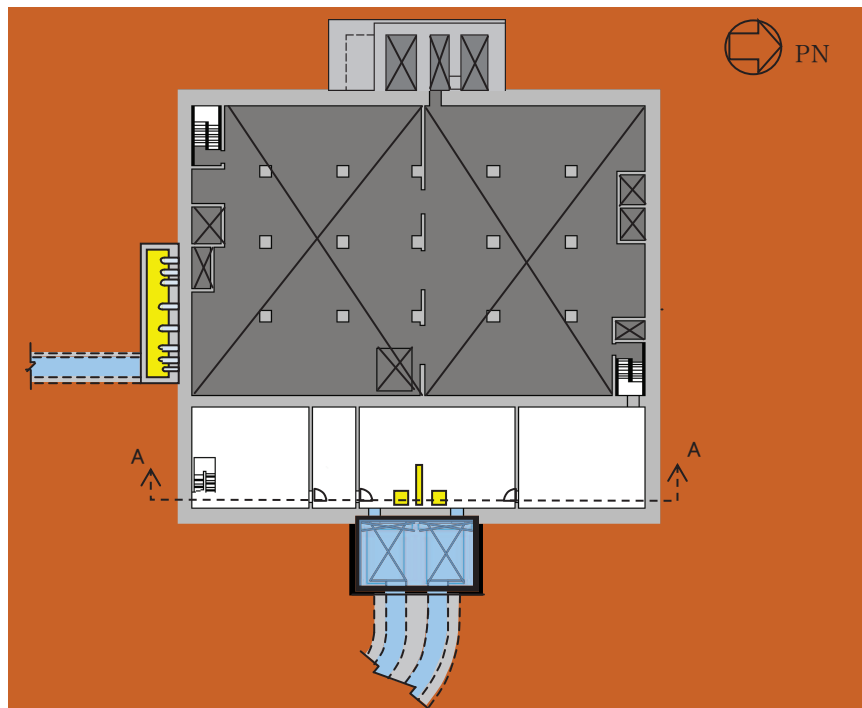
浸水防止蓋の開放にあたっては、閉止作業に係る人員を確保、配置する。その後、浸水防止蓋の開放を行い、角落し作業が完了し、蓋を閉止するまでの間、常に閉止作業を実施できるように閉止に係る人員は所定の操作位置付近で待機し、原則閉止運用とする基本方針に基づき蓋を閉止時できる状態になったら速やかに閉止していく。なお、点検用開口部は No. 1 と No. 2 の 2 箇所あるが、基本的に両方を同時に開閉することはない。

角落し作業時の蓋の閉止作業に係る人員の配置状況を図 3-5 に示す。

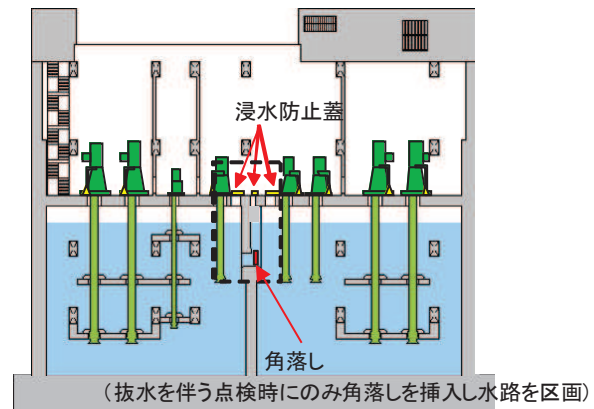


注記\*：ハッチングの作業は蓋を閉止する前に必ず完了させなければならない作業を示す。

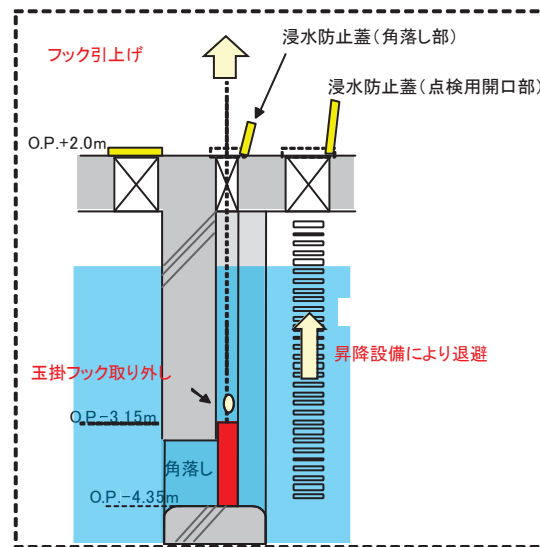
図 3-2 角落し作業の全体フロー



海水熱交換機建屋 概略平面図



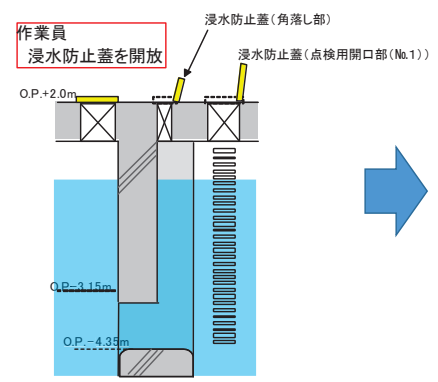
A-A 断面図



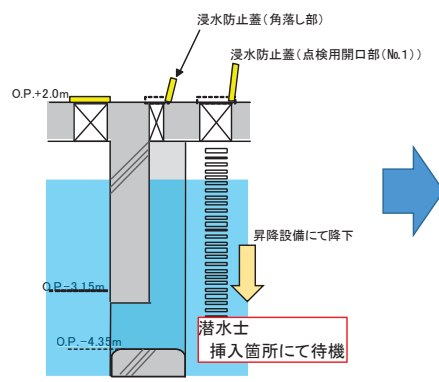
角落部退避手順(A-A 断面拡大図)

図 3-3 角落し作業概要図 (1/2)

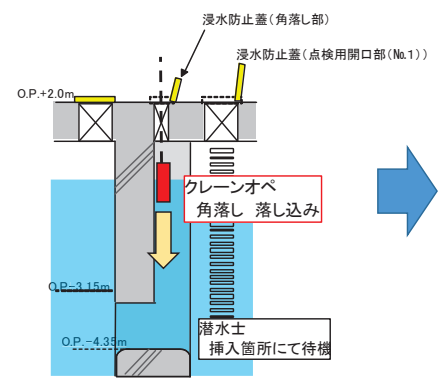
角落し部・点検用開口部 (No.1) 蓋開放



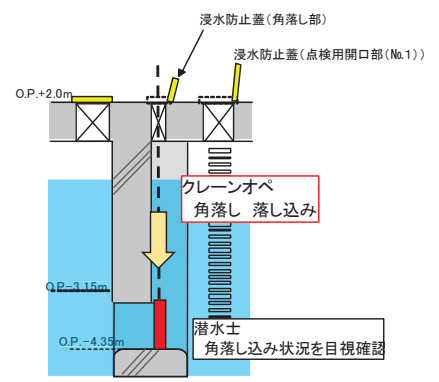
潜水士 入水・作業場所待機



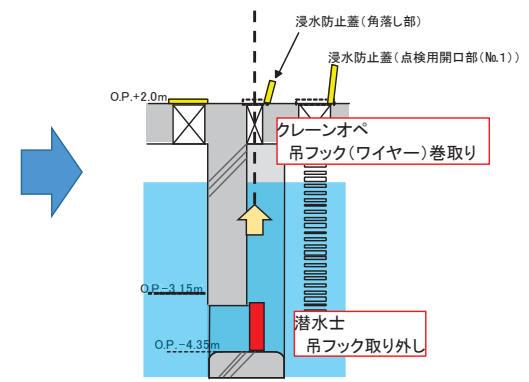
角落し込み 開始



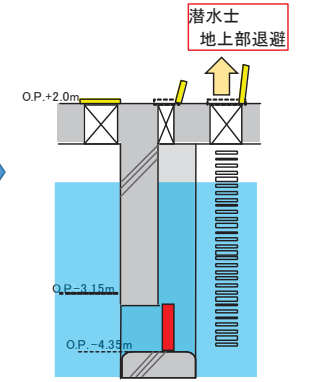
角落し込み完了



吊フック(ワイヤー) 巻取り



潜水士退避



作業完了 (次工程(抜水作業等)に移行)

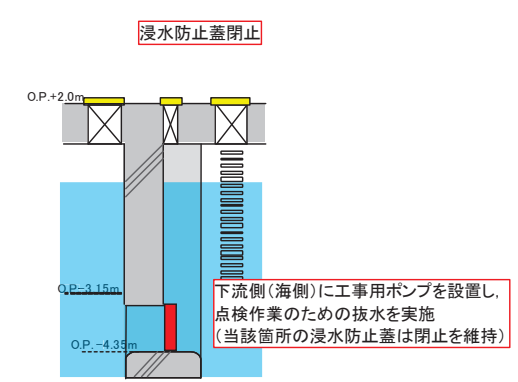
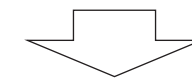
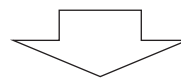


図 3-3 角落し作業概要図 (2/2)

浸水防止蓋の閉止作業開始前の作業手順	クレーンオペレータ	潜水士
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">角の吊フック取り外し*1</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">吊フック (ワイヤ) 巻取り</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">潜水士退避</div> </div>	待 機	角に取り付けられた 吊フックの取り外し
	吊フック (ワイヤ) 巻取り (クレーン操作)	退 避



浸水防止蓋の閉止作業手順	角 落 し 部				点 検 用 開 口 部*2	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">閉止操作開始</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">チェーンブロック操作</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">浸水防止蓋水平移動, 閉止位置セット</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">固定ボルト締付 (締付トルク確認)</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">終了</div>	作業員 A	作業員 B	作業員 C	作業員 D	作業員①	作業員②
	チェーン ブロック操作	待 機			チェーン ブロック操作	待 機
	待 機		浸水防止蓋水平移動, 閉止位置へセット		閉止位置へセット	
	固定ボルト締付 (M16-32 本, 4 人(8 本/人)), 締付トルク確認				固定ボルト締付 (M30-8 本, 2 人(4 本/人)), 締付トルク確認	
	作業終了・解散					

注記\*1: クレーンにより角本体を吊り上げ可能な場合は, 吊フックの取り外しは実施せず, 角を浸水防止蓋より高い位置に吊り上げる。

\*2: 角落し作業においては 2 箇所ある点検用開口部の蓋のうち No. 1 のみを開閉する。

図 3-4 緊急で浸水防止蓋を閉止する場合の詳細フロー  
(角落し込み完了後 (完了に近い状態含む) に地震が発生し緊急で蓋を閉止する場合)



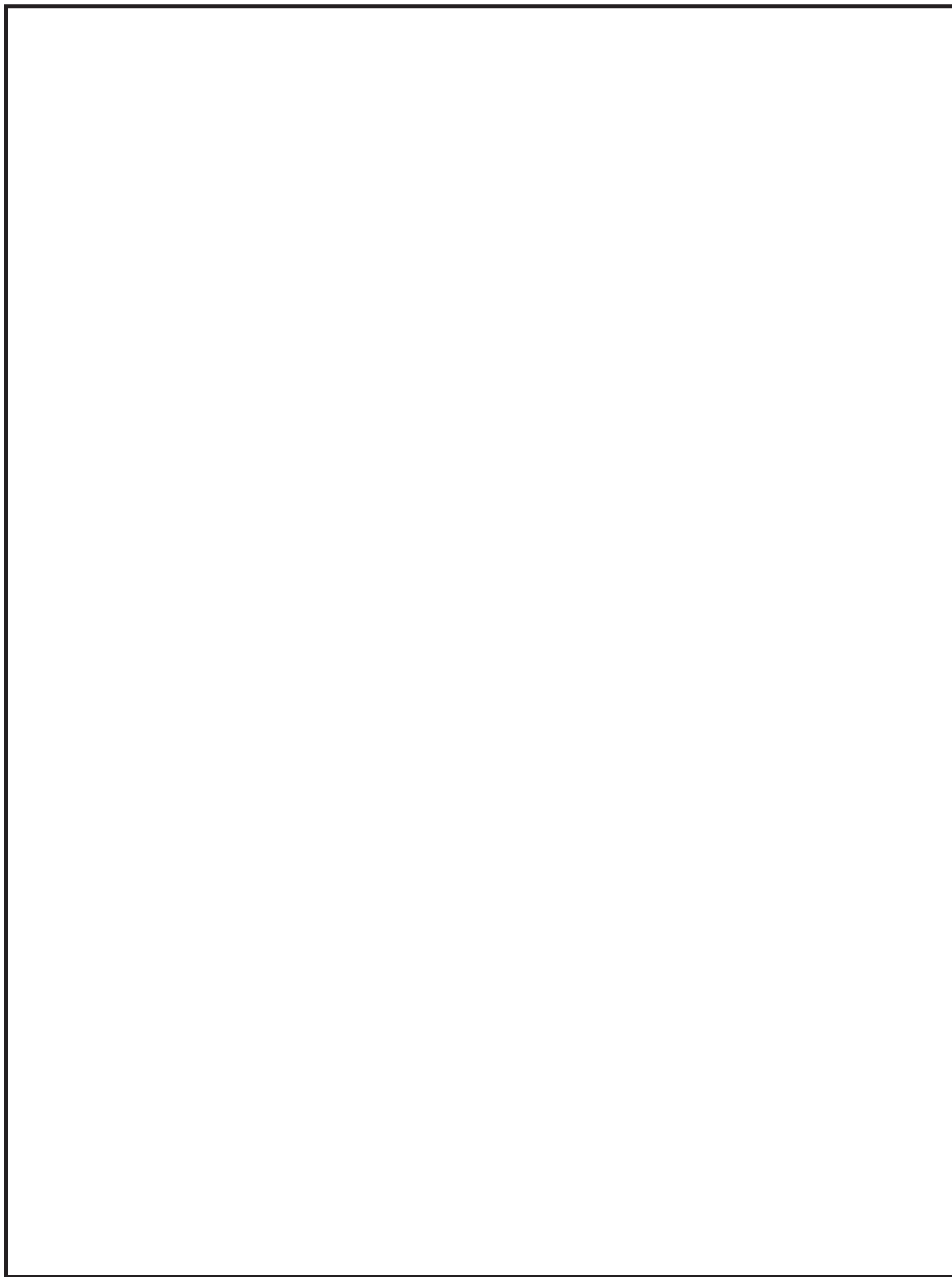


図 3-5 角落し作業時の蓋の閉止作業に係る人員の配置状況図（イメージ）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c. 閉止時間の評価

ここでは、図 3-4 に示す緊急時の閉止フローに従って、人力で所要の閉止時間である 15 分を満足できるか、模擬試験を行い評価した結果を示す。

模擬試験にあたり、試験体の仕様や工具は実機に近い条件となるようにし、屋外で試験を実施した。また、電動の工具は使用せず、人力による工具のみを使用した。

閉止時間の評価結果を表 3-2 に示す。閉止完了までの所要時間は 9 分であり 15 分以内であることを確認した。

表 3-2 浸水防止蓋の閉止時間の評価結果

所要時間 (分)	クレーン オペ	潜水土	角落し部浸水防止蓋				点検用開口部浸水防止蓋		根拠			
			作業員A	作業員B	作業員C	作業員D	作業員①	作業員②				
1	待機	玉掛フック 取外	待機	待機	待機	待機	待機	待機	玉掛フック 2 箇所を取り外す作業 として 1 分間を想定*。			
2	玉掛フック 巻取り	退避	待機	待機	待機	待機	待機	待機	d.(a) 潜水土の退避 参照。 玉掛フックを約 10m 巻取る作業と して 1 分間を想定*。			
3	余裕時間	余裕時間	チェーン ブロック操作	待機	待機	待機	チェーン ブロック操作	待機	d.(b) チェーンブロックによる浸水 防止蓋閉止の測定 参照。			
4	↓	↓	待機	待機	浸水防止蓋を水平移動させ た後、閉止位置にセット		閉止位置にセット		角落し部は約 30cm の水平移動 (車輪付き) が必要であり、閉止位 置へのセットとあわせて 1 分間を 想定*。			
5	↓	↓	固定ボルト締付 M16×36 本 (トルクレンチを使用) 36 本÷4 人×30 秒/本=270 秒÷5 分				固定ボルト締付 M30×8 本 (トルクレンチ、ヌケを使用) 8 本÷2 人×30 秒/本= 120 秒=2 分		d.(c) 固定ボルト締付操作時間の測 定 参照。			
6	↓	↓					余裕時間	余裕時間		余裕時間	余裕時間	余裕時間
7	↓	↓					↓	↓		↓	↓	↓
8	↓	↓					↓	↓		↓	↓	↓
9	↓	↓					↓	↓		↓	↓	↓
10	↓	↓	余裕時間	余裕時間	余裕時間	余裕時間	↓	↓				
11	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
12	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
14	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				
15	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓				

注記\*：単純な作業の時間は想定により設定した。

d. 模擬試験内容と結果

(a) 潜水士の退避時間の測定

本模擬試験では、角落しの取り外し作業に従事する潜水士が浸水防止蓋設置レベルまで退避する時間を評価した。

試験は、第3号機海水熱交換器建屋の角落し部の昇降高さ6.35m（図3-6）よりも高い昇降高さ10mの昇降設備において実施し、潜水士の通常装備重量である約20kgの負荷を背負った状態で退避時間を測定した（図3-7）。測定結果を表3-3に示す。

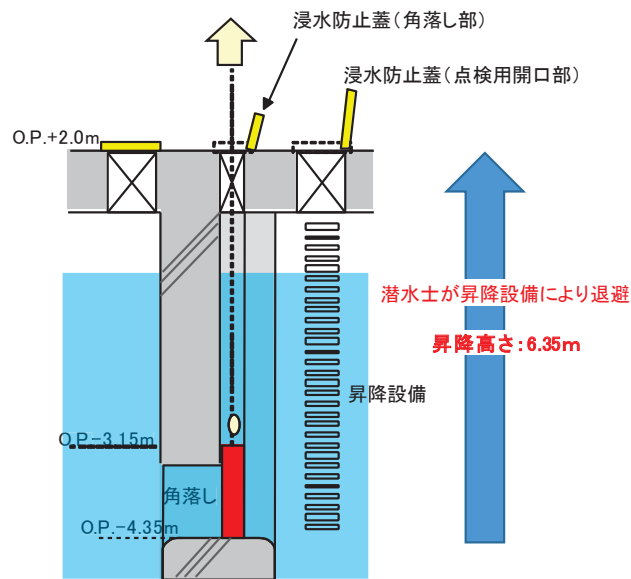


図3-6 退避時 昇降高さ

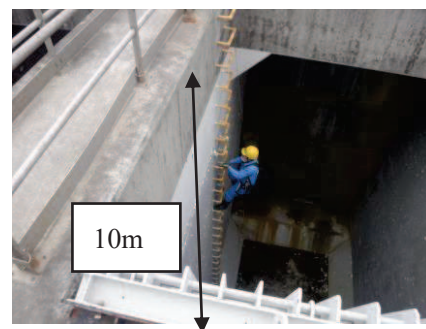


図3-7 試験状況

表 3-3 測定結果

測定項目	作業員 A	作業員 B	作業員 C	平均	最大
退避時間	18 秒	27 秒	24 秒	23 秒	27 秒

表 3-3 の測定結果から得られた最大 27 秒に対し、閉止時間の評価においては保守的に切り上げた 1 分を評価値として採用する。

ここで、作業現場は水中であるが、静穏な環境であるとともに浮力によって装備品による付加は軽減されることから、移動性は気中よりも優れており、今回実施した模擬試験環境は実際と較べ厳しいものとなっていること、それに加えて、移動距離も加算し、より長くなっていることから保守性が確保されたものになっている。

(b) チェーンブロックによる浸水防止蓋吊下ろし時間の測定

本模擬試験では、開放状態の蓋を閉止位置まで下ろす時間を評価した。

試験場所は実機と同様に屋外において実施した。

また、模擬試験においては、実機で使用予定の人力のチェーンブロックと実機の浸水防止蓋と同じ重量の試験体を用いて、蓋のヒンジから一番遠い蓋の端部の軌跡の長さ（弧の長さ）を降下高さとして測定した。

試験状況を図 3-8 に、測定結果を表 3-4 に示す。

なお、実機では蓋の片側がヒンジで固定されているため、蓋を吊り下ろす際にはチェーンブロックに蓋の全荷重がかからないが、模擬試験ではチェーンブロックに蓋の全荷重をかけている。これに関しては、チェーンブロックのブレーキ機能により、吊荷荷重による荷下ろし時の速度は基本的に変化しないため、模擬試験の結果をそのまま閉止時間の評価に用いることは問題ない。

同様に、ヒンジでの固定の有無による蓋を降下させる時間への影響として、ヒンジ部の摩擦抵抗が考えられる。これに関しては、ヒンジ部にグリースを施すなどの保守管理を行うことで摩擦抵抗はほぼ無くなるものと想定されることから、模擬試験の結果をそのまま閉止時間の評価に用いることは問題ない。

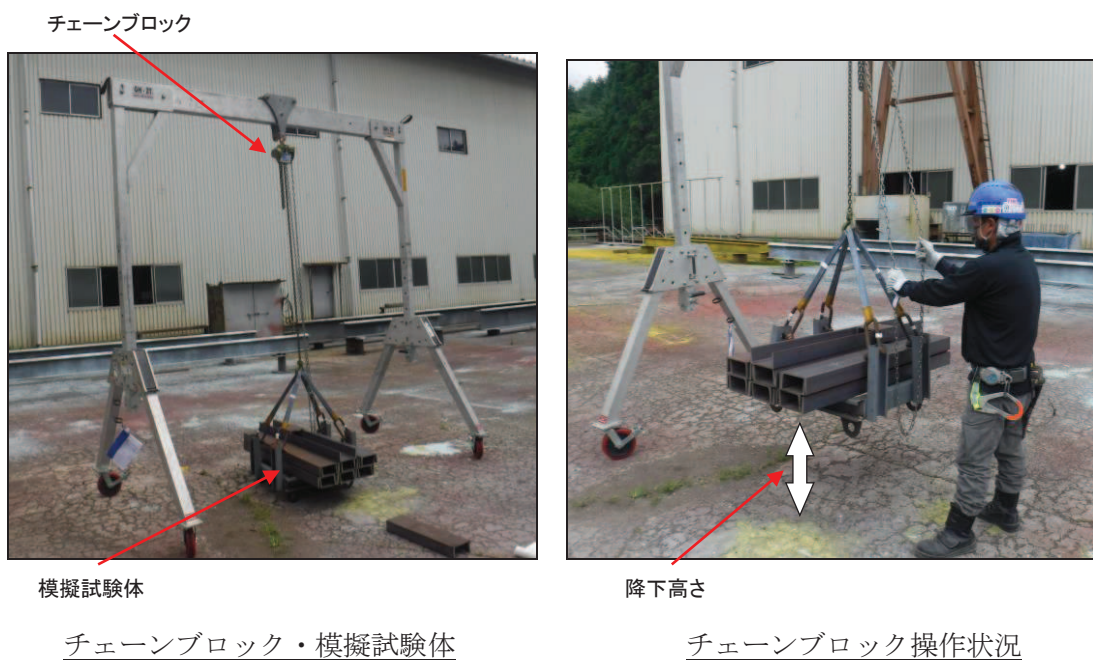


図 3-8 試験状況

表 3-4 測定結果

	作業員 A	作業員 B	作業員 C	平均	最大	備考
角落し部	20 秒	22 秒	19 秒	21 秒	22 秒	試験体重量:310kg 降下高さ:800mm
点検用開口部	45 秒	45 秒	44 秒	45 秒	45 秒	試験体重量:320kg 降下高さ:1700mm

表 3-4 の測定結果から得られた最大 45 秒に対し、閉止時間の評価においては保守的に切り上げた 1 分を評価値として採用する。

降下高さは以下に示すとおり、浸水防止蓋の設計寸法から算出した値とした。設計寸法および降下高さを図 3-9 に示す。

①角落し部用降下高さ： $510\text{mm} \times 2\pi / 4 = 801.1\text{mm} \Rightarrow 800\text{mm}$

(設計では 45 度開放であるが、保守的に 90 度開放として算定)

②点検用開口部用降下高さ： $1075\text{mm} \times 2\pi / 4 = 1688.6\text{mm} \Rightarrow 1700\text{mm}$  (90 度開放)

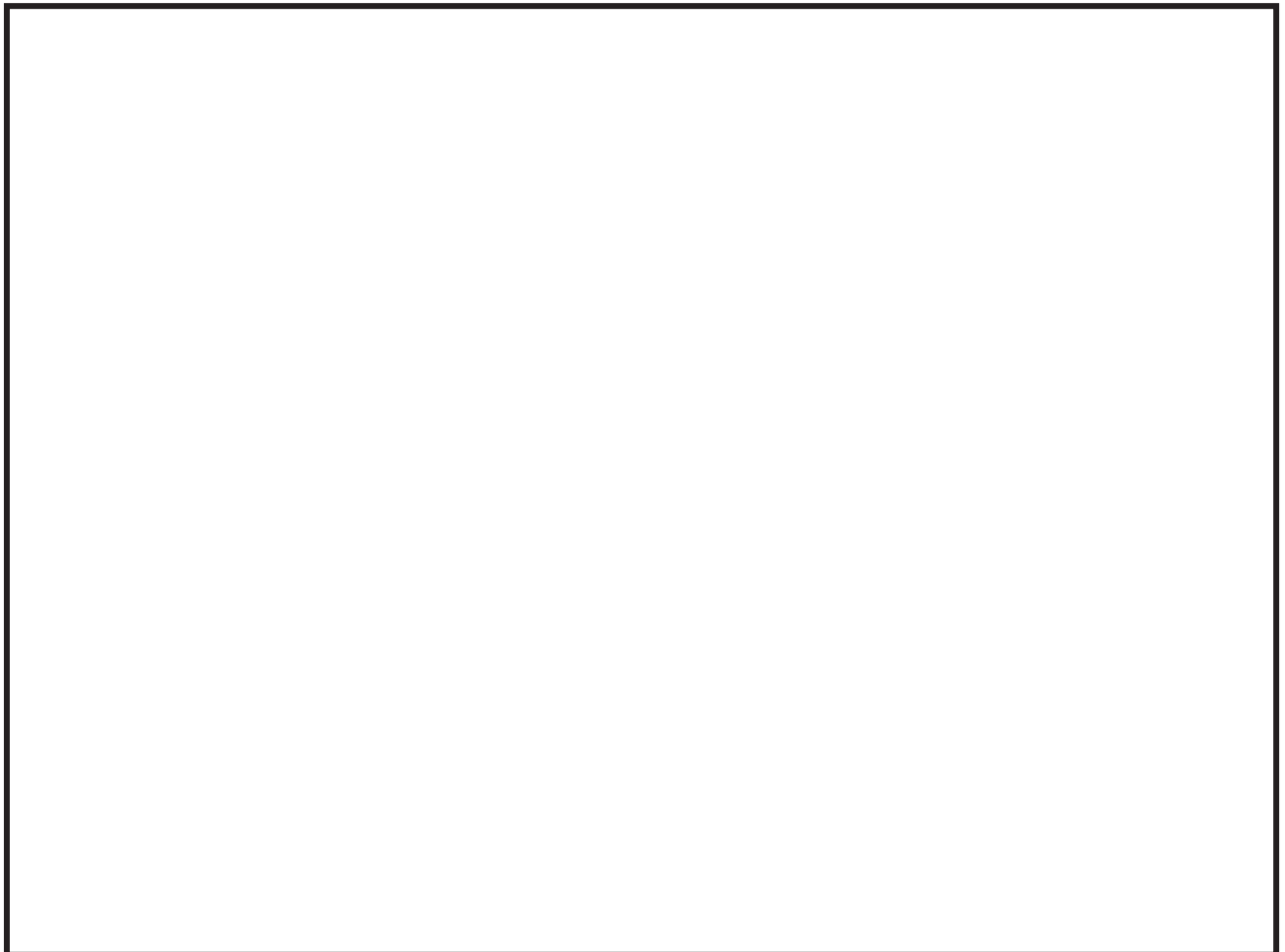


図 3-9 浸水防止蓋断面図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 締付時間の測定

本模擬試験では、現地で使用予定の人力の工具と、実際に浸水防止蓋に使用する固定ボルトと同じ仕様のボルトを用いて、固定ボルト1本の締付時間を評価した。

また、点検用開口部の M30 ボルトについては、実機では建屋の壁と近接する箇所があり、狭隘となるため締付作業に影響すると想定し、壁際を模擬した状態で試験を実施した。

試験状況を図 3-10 に、試験結果を表 3-5 に示す。



試験体写真



M30 締付状況 (壁際) 締付状況写真  
(トルクレンチ使用時)



M16 締付状況写真  
(トルクレンチ使用時)

図 3-10 試験状況



表 3-5 測定結果

	作業員 A	作業員 B	作業員 C	平均	最大	備考
M30 (点検用開口部)	22 秒	20 秒	26 秒	23 秒	26 秒	使用工具： トルクレンチ，スパナ
M16 (角落し部)	20 秒	18 秒	14 秒	18 秒	20 秒	使用工具： トルクレンチ

表 3-5 の試験結果により，最長時間である 26 秒を保守的に切り上げた 30 秒をボルト 1 本あたりの締付時間とし，浸水防止蓋の閉止時間の評価に採用する。

(2) 浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト），揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内），揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内），第3号機補機冷却海水系放水ピット）

a. 開閉構造

浸水防止蓋の構造図を図3-11に示す。同図は浸水防止蓋（揚水井戸（第2号機海水ポンプ室エリア防潮壁区画内）の例であるが，他の浸水防止蓋も同様にヒンジ部を設けたハッチ構造を有する設計とし，開放時はスキンプレートに取り付けたハッチ部のうち締付部のボルトを取り外し，ハッチを開放する。閉止時はハッチ部のうち締付部のボルトを取り付け，ハッチを閉止する。なお，第3号機補機冷却海水系放水ピットは開口径が小さいことから（図1-2），ヒンジ部を設けない構造とする。

表3-6にハッチ部の役割と名称を示す。

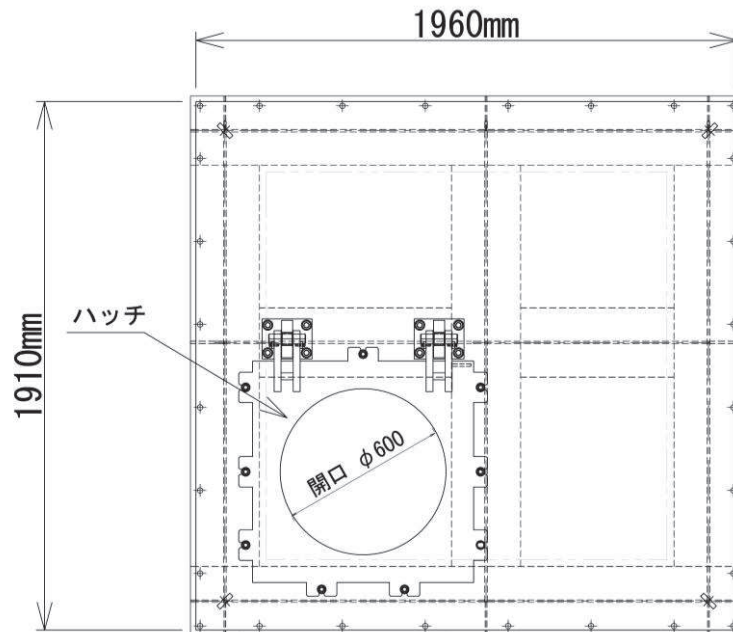


図3-11 浸水防止蓋（揚水井戸（第2号機海水ポンプ室エリア防潮壁区画内）の構造図（1/2）（平面図）

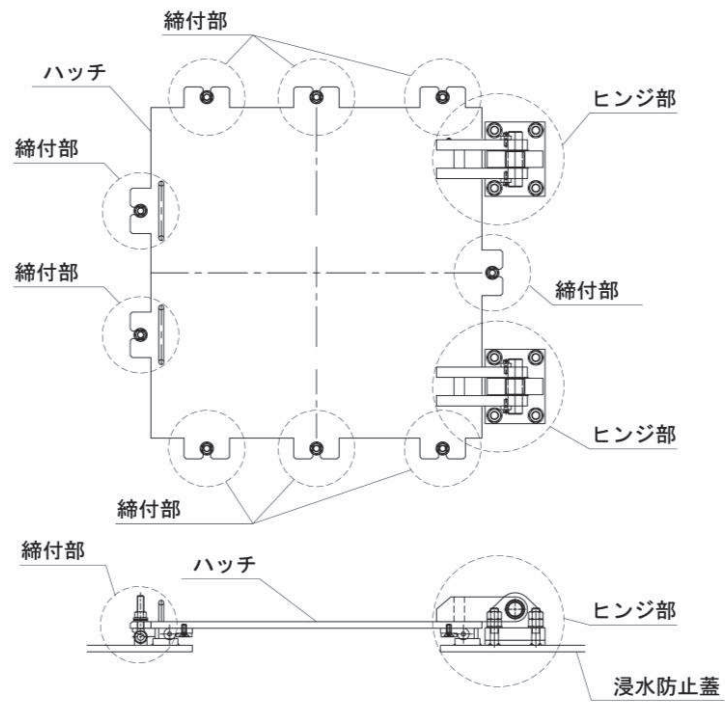


図 3-11 浸水防止 ハッチ図詳細図  
 (2 / 2) (上 : ハッチ部平面図, 下 : ハッチ部断面図)

表 3-6 各部位の名称と役割

名 称	役割等
ハッチ	浸水防止蓋本体のスキンプレート部を覆うように設置し，立坑内への立ち入りを容易にするもの ハッチ開放後，スキンプレート部に設けた直径 600 mm の開口部より，立坑内に立ち入る
固定ボルト (ハッチ用)	ハッチを取り付けるために設置する固定ボルト。 浸水防止蓋の固定ボルトとは別に設ける。
ヒンジ	ハッチ開閉時にハッチと枠を固定している部材。

b. 閉止手順

運用方針に係る基本的事項を踏まえ、人力によるチェンブロック、トルクレンチ、スパナ及び電動式インパクトレンチを用いてハッチの開閉操作する。蓋の閉止時の全体フローを表 3-7 に示す。

なお、ハッチは複数人であれば人力での開放が可能であるが、ここではチェンブロックを用いた作業フローを想定する。

チェンブロックは蓋近傍に可搬式の組立架台を設置し、これに支持を取り操作する。

全体フローに示すとおり、ハッチを開放し、蓋が取り付けられた立坑に直接作業員が立入、点検を実施する場合は、作業員の退避が完了するまでにはハッチの閉止ができないため、立坑深部から作業員が退避するケースが、蓋の閉止に最も時間を要する作業となる。

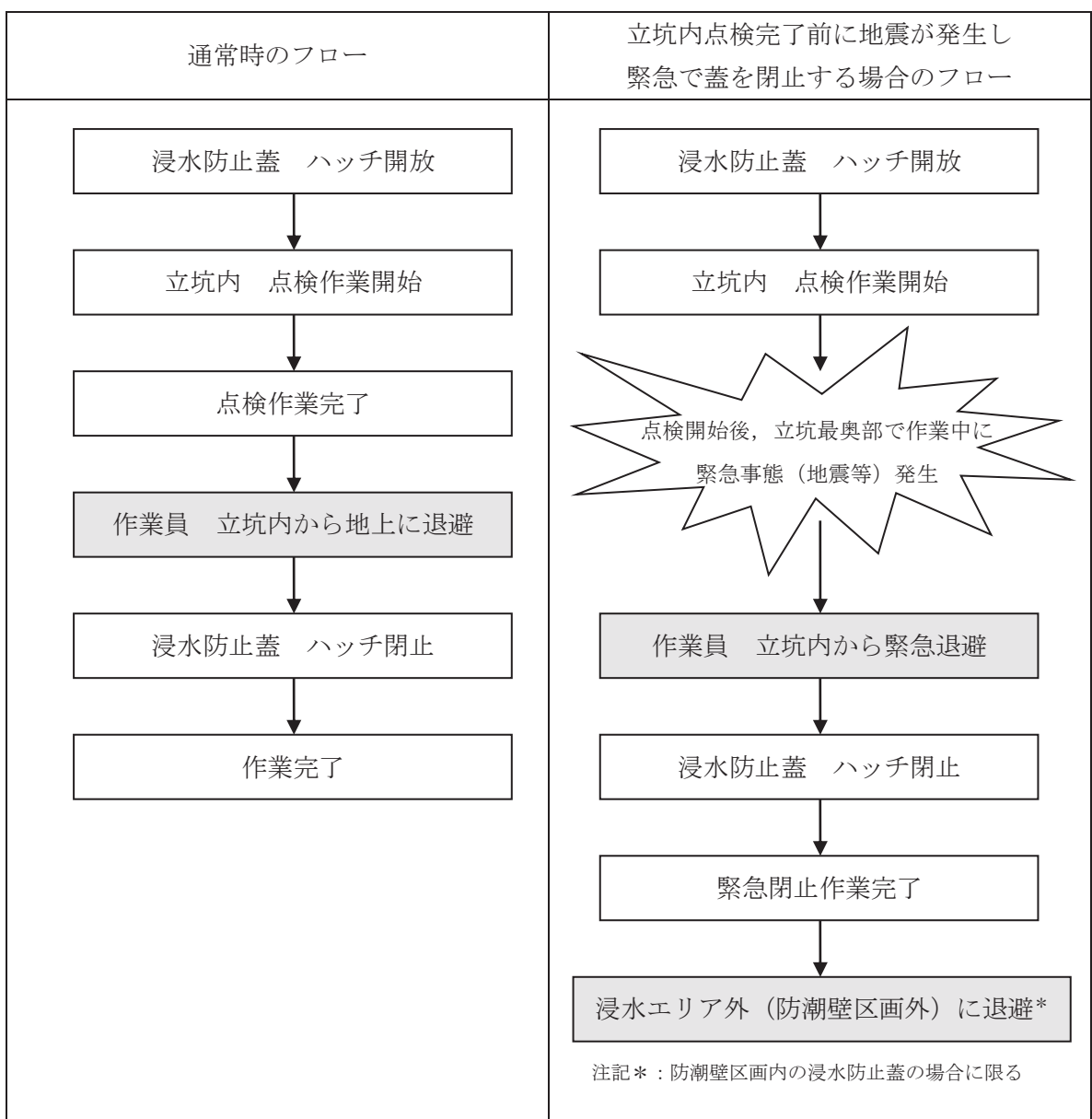


図 3-12 浸水防止蓋 ハッチ操作の全体フロー

ハッチ閉止作業開始前の作業手順	点検作業員 (立坑内)	ハッチ開閉作業員 (地上部)
立坑内からの緊急退避	立坑内の昇降設備 (はしご) により退避	待機



退避



緊急閉止作業

ハッチの閉止作業手順	地上部		
閉止操作開始	作業員 A	作業員 B	作業員 C
チェーンブロック操作	待機	待機	チェーンブロック操作
固定ボルト締付	固定ボルト締付 (M16 9本, 3人 (3本/人))		
閉止作業完了			



ハッチ閉止後の退避手順	作業員 A	作業員 B	作業員 C
チェーンブロック取付用架台 固定ボルト取外	固定ボルト締付 (M16 4本, 2人 (2本/人))		
チェーンブロック取外	チェーンブロック及びチェーンブロック取付用架台の撤去		
防潮壁区画外に退避	防潮壁車両進入路部のはしごにて退避		
退避完了			

図 3-13 緊急退避時の作業フロー

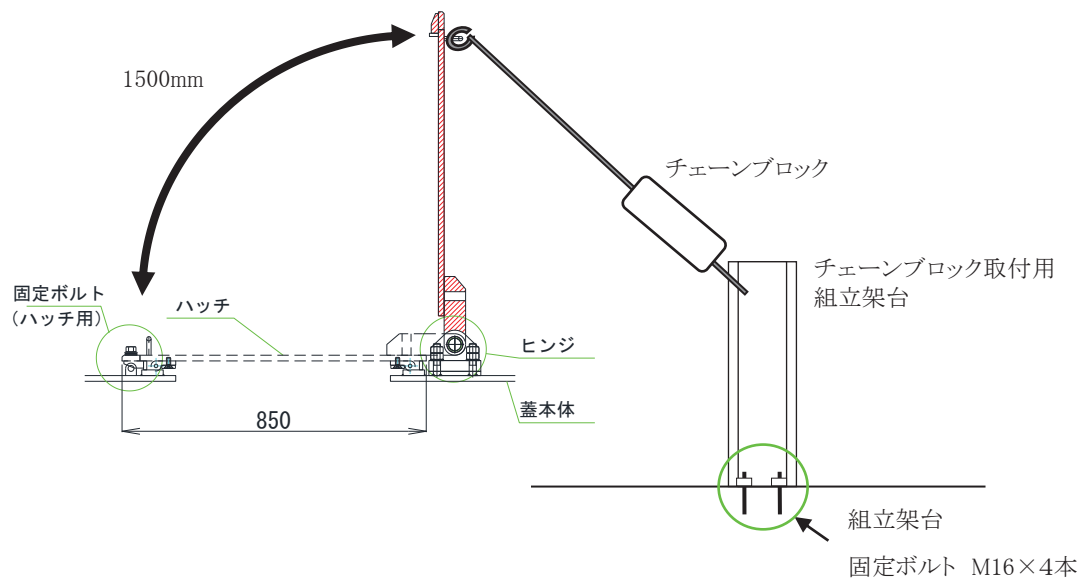


図 3-14 ハッチ開閉方法 概要図

c. 閉止時間の評価

ここでは、表 3-7 に示す全体フローに従って、作業員の退避開始からハッチを閉止し、防潮壁外まで退避する時間が所要の閉止時間である 15 分を満足できるか、評価した結果を示す。

ハッチの形状は 4 箇所の浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト，揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内），揚水井戸（第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内），第 3 号機補機冷却海水系放水ピット）ともに概ね同様であるため，蓋の閉止時間も同様と考えられる。

このため，これらの浸水防止蓋のうち，対象とする蓋は退避時間に最も時間を要すると考えられる蓋を取り付ける支持構造物の立坑またはピット深度が深い蓋とする。

立坑またはピットの深さは表 3-8 に示すとおり，揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）が最も大きいことから，これを閉止時間の評価対象とした。

模擬試験については，試験体の仕様や工具は実機に近い条件となるようにし，屋外で試験を実施した。また，電動の工具は使用せず，人力による工具のみを使用した。

閉止時間の評価結果を表 3-9 示す。閉止完了までの所要時間は 12 分であり 15 分以内であることを確認した。

表 3-8 浸水防止蓋を設置する立坑深度

取付箇所	立坑深度 (m)
原子炉機器冷却海水配管ダクト	22.9
揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）	<u>30.95</u>
揚水井戸（第 3 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）	28.8
第 3 号機補機冷却海水系放水ピット	7.6



表 3-9 浸水防止蓋の閉止時間の評価結果

所要時間 (分)	作業員A	作業員B	作業員C	根拠
1	待機	待機	待機	「(2) d. 模擬試験内容と結果」より立坑最下部からの退避時間を6分と想定
2				
3				
4				
5				
6				
7	待機	待機	チェーンブロック操作	「(1) d. (b)チェーンブロックによる浸水防止蓋閉止」を参照し、チェーンブロックによる蓋の降下時間として1分間を想定
8	固定ボルト (ハッチ用) 締付 M16×36 本 (トルクレンチを使用)			「(1) d. (c)固定ボルト締付操作時間の測定」よりボルト1本あたりの締付時間として30秒を想定
9	9本÷3人×30秒/本=90秒≒2分			
10	待機	チェーンブロック取付用 仮設架台 固定ボルト取外 M16×4 本 4本÷2人×30秒/本=60秒=1分		「(1) d. (c)固定ボルト締付操作時間の測定」を参照し、ボルト1本あたりの取外時間として30秒を想定
11	チェーンブロック及びチェーンブロック取付用架台の撤去			チェーンブロック等の後片付けとして1分間を想定
12	退避			防潮壁車両進入路部のはしご(約6m)を用いて退避する時間として1分間を想定
13	余裕時間			
14	↓			
15	↓			

d. 模擬試験内容と結果

模擬試験は立坑最下部から作業員が退避する時間を測定する。

試験場所は、浸水防止蓋を設置する揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の昇降高さ約31mよりも高い昇降高さ33mの既設揚水井戸において実施した（図3-13）。

実施結果を表3-10に示す。

実施結果から得られた最大5分9秒に対し、閉止時間のタイムチャートでは保守的に6分を想定する。

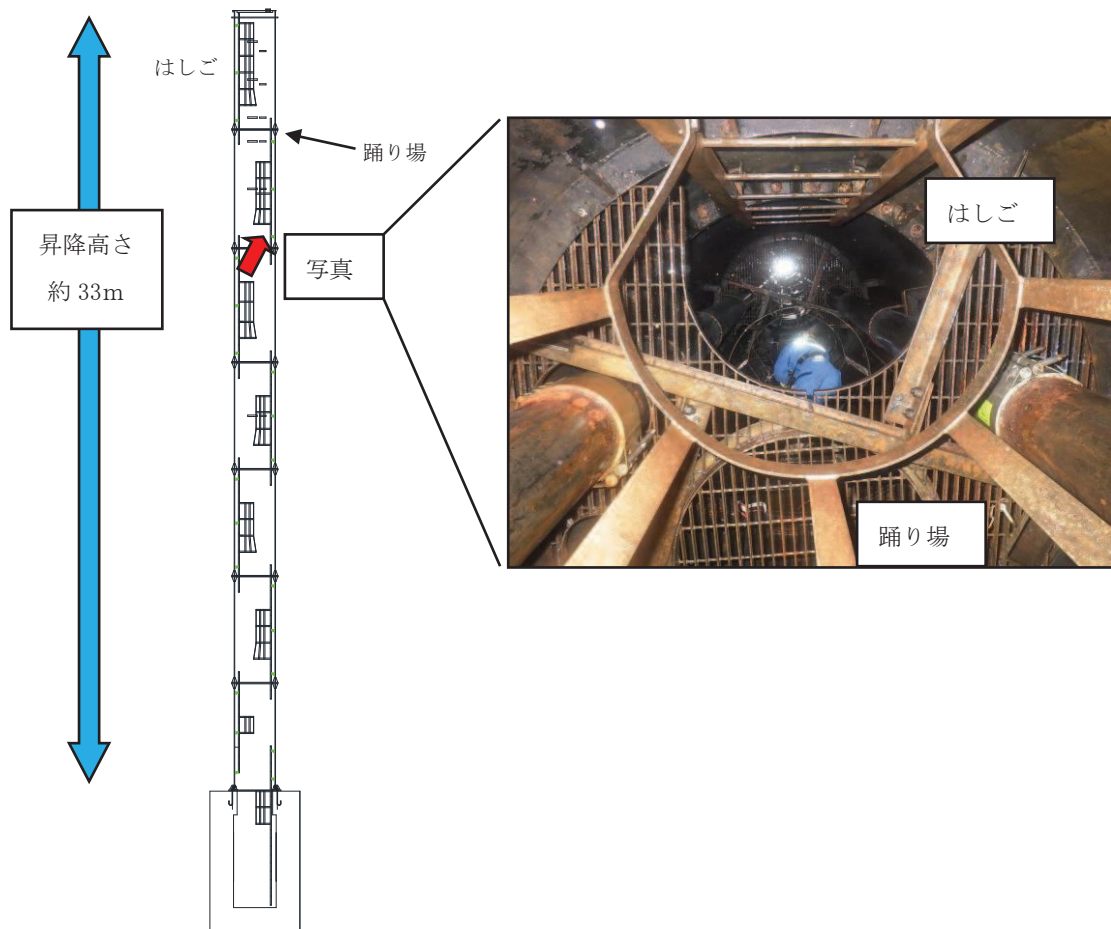


図3-13 昇降時間計測状況（既設揚水井戸）

表3-10 測定結果と実機換算

測定項目	作業員 A	作業員 B	作業員 C	平均	最大値
退避時間	3分54秒	3分28秒	5分9秒	4分10秒	5分9秒

5. まとめ

全ての浸水防止蓋において、複数人による模擬試験を通じ、15分以内で閉操作が可能であることを確認した。

以上