

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点や防護上の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0133_改2
提出年月日	2021年7月26日

VI-2-10-2-7-1 水密扉（浸水防止設備）の耐震性についての計算書

2021年7月

東北電力株式会社

目 次

VI-2-10-2-7-1 水密扉（浸水防止設備）の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-7-1 水密扉（浸水防止設備）の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	検討対象水密扉一覧	2
2.2	配置概要	3
2.3	構造計画	10
2.4	評価方針	12
2.5	適用規格・基準等	14
2.6	記号の説明	15
3.	固有値解析	17
3.1	固有振動数の算出方法	17
3.1.1	解析モデルの設定	17
3.2	固有振動数の算出条件等	18
3.2.1	記号の説明	18
3.2.2	固有振動数の算出方法	18
3.2.3	固有振動数の算出条件	20
3.3	固有振動数の算出結果	22
4.	耐震評価	23
4.1	評価対象部位	23
4.2	荷重及び荷重の組合せ	27
4.2.1	荷重の組合せ	27
4.2.2	荷重	27
4.3	許容限界	28
4.3.1	使用材料	28
4.3.2	許容限界	29
4.4	設計用地震力	31
4.5	評価方法	32
4.5.1	応力算定	32
4.5.2	断面検定	47
4.6	評価条件	53
5.	評価結果	61

1. 概要

本計算書は、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及び機能維持の設計方針に基づき、浸水防止設備である第3号機海水熱交換器建屋の水密扉、原子炉建屋の水密扉及び制御建屋の水密扉（以下「水密扉」という。）が、設計用地震力に対して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。

その耐震評価は、水密扉に要求される機能の維持を確認するために、応力評価に基づく、構造部材の健全性評価により行う。

水密扉は、設計基準対象施設においては浸水防止設備に分類される。以下に設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

なお、水密扉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 検討対象水密扉一覧

検討対象の水密扉を表 2-1 に示す。

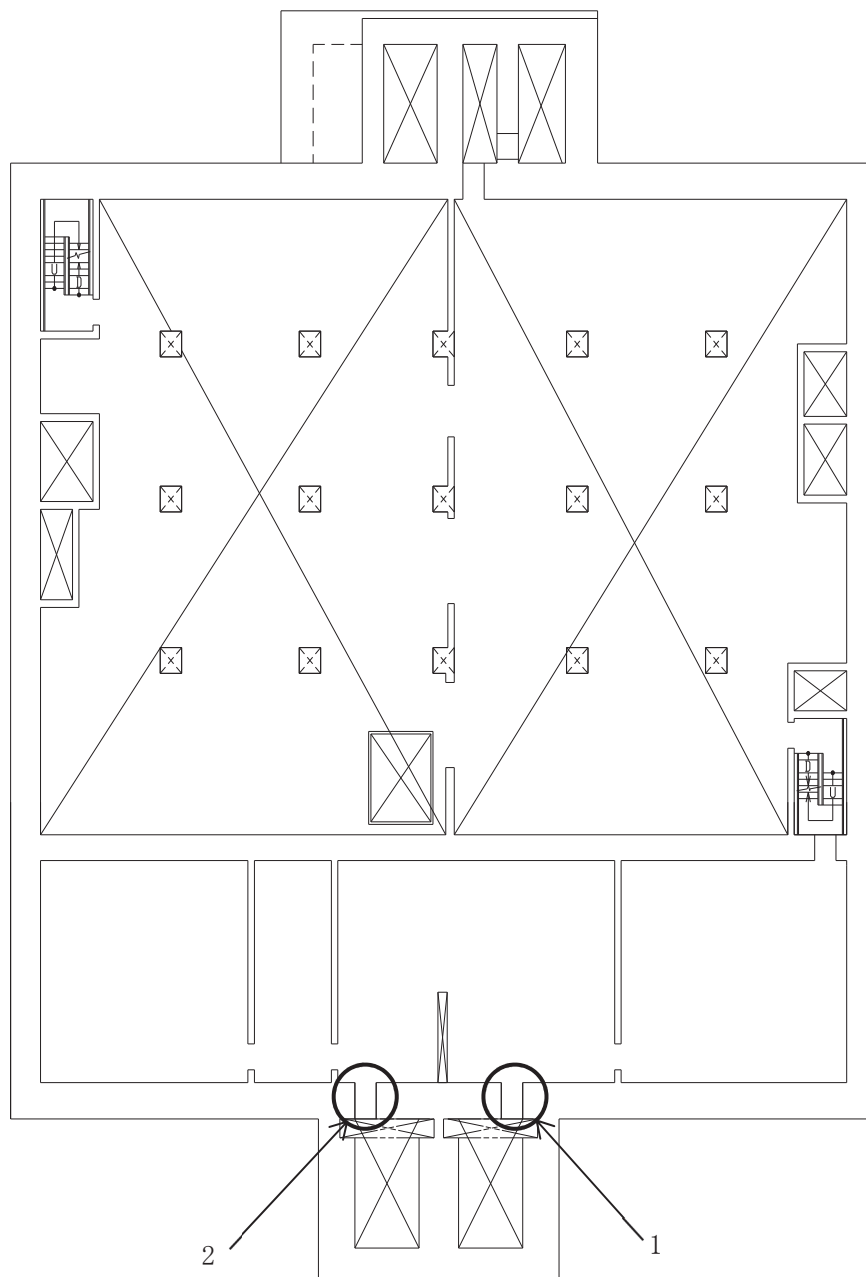
表 2-1 検討対象水密扉一覧

水密扉 No.	扉名称	設置高さ O.P. *
1	水密扉（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 1)	2.00m
2	水密扉（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 2)	2.00m
3	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	14.00m
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	14.00m
5	制御建屋空調機械 (A) 室浸水防止水密扉	0.50m
6	制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉	0.50m
7	計測制御電源室 (B) 浸水防止水密扉 (No. 3)	7.00m
8	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	18.50m
9	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	14.00m
10	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)	14.00m
11	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)	14.00m
12	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)	14.00m
13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉	22.50m

注記*：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ていることを考慮した設計とし，地盤沈下量を考慮した高さを示す。

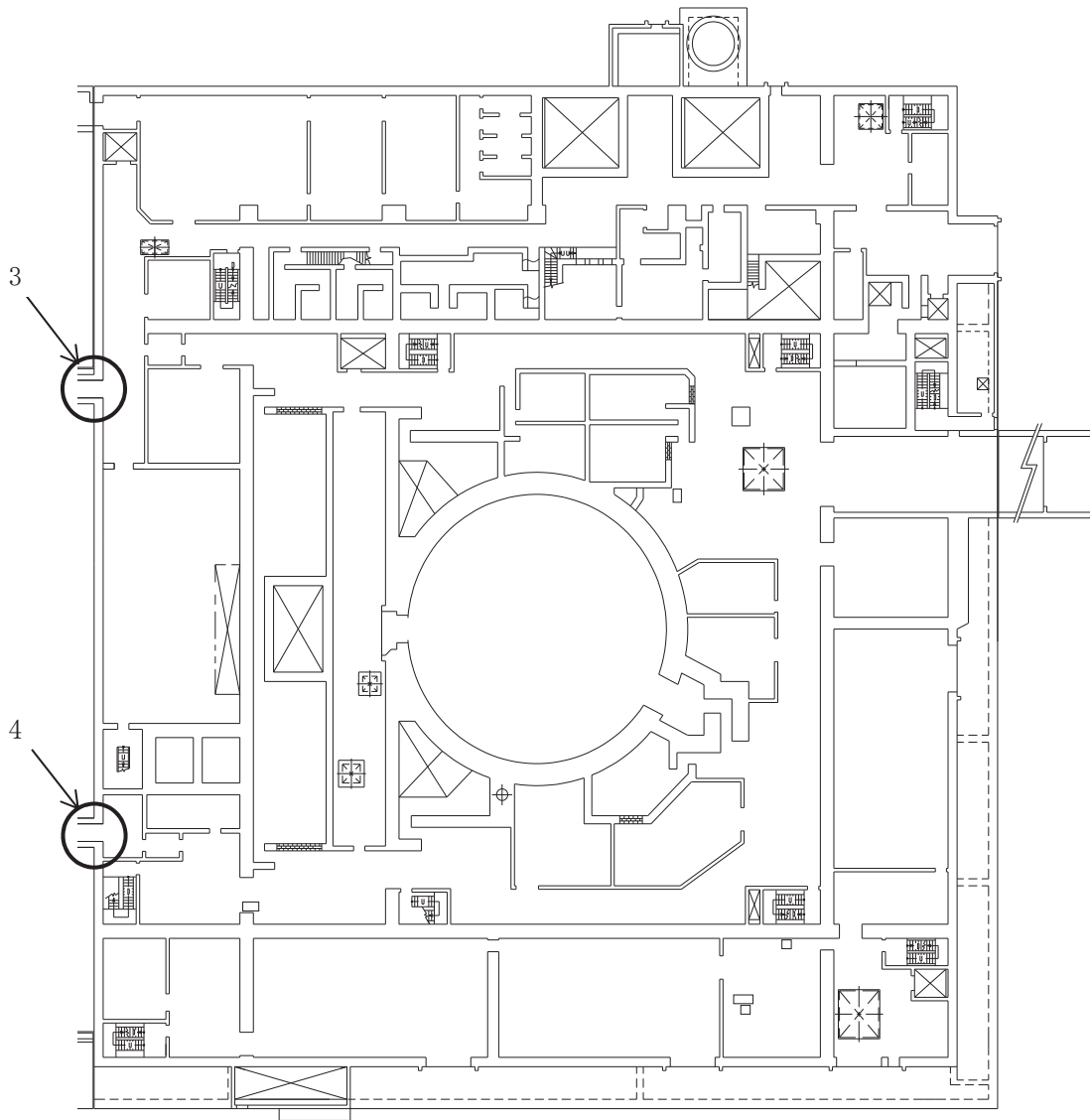
2.2 配置概要

第3号機海水熱交換器建屋の水密扉の設置位置図を図2-1に、原子炉建屋の水密扉の設置位置図を図2-2に、制御建屋の水密扉の設置位置図を図2-3に示す。



1	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 1)
2	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 2)

図2-1 第3号機海水熱交換器建屋の水密扉の設置位置図 0.P. 2.00m



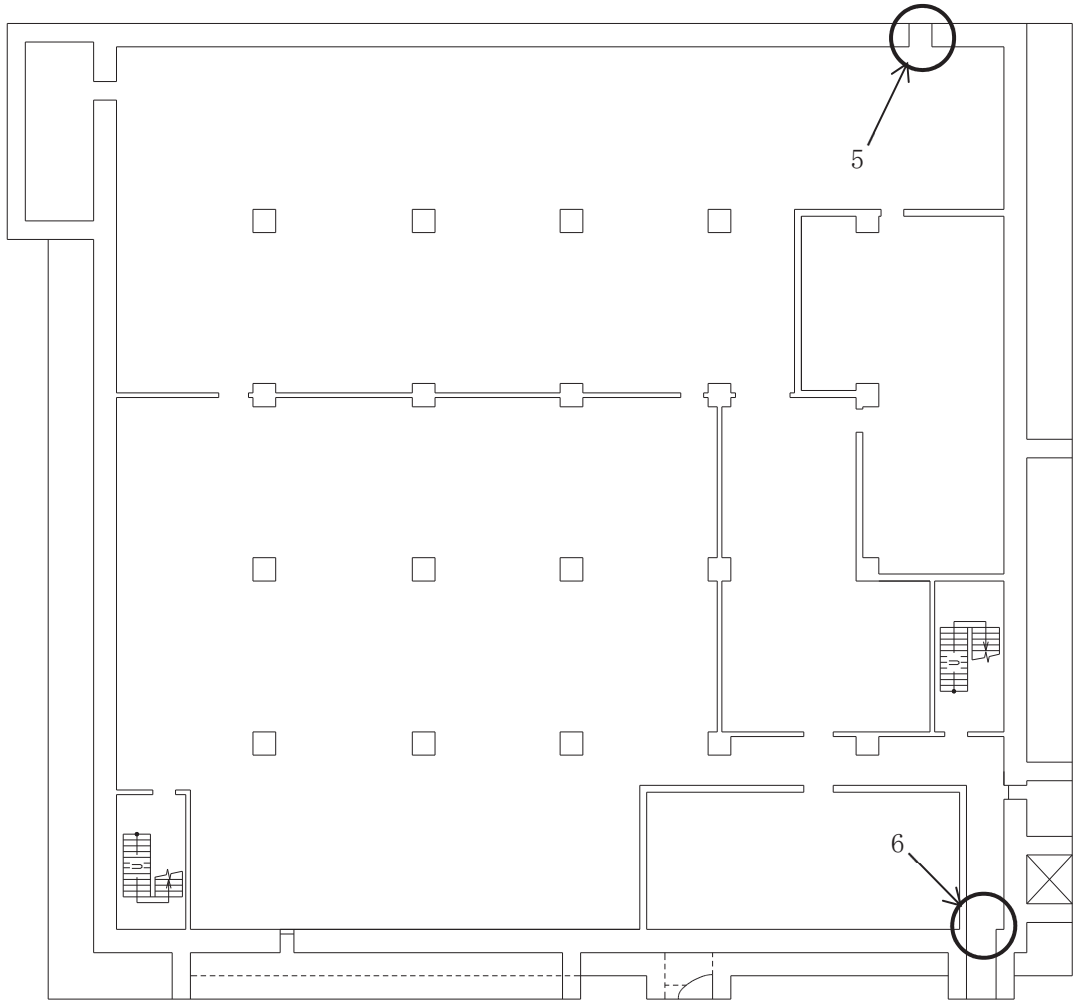
02 ⑤ VI-2-10-2-7-1 R2

3	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)

図 2-2 原子炉建屋の水密扉の設置位置図 0. P. 14. 00m

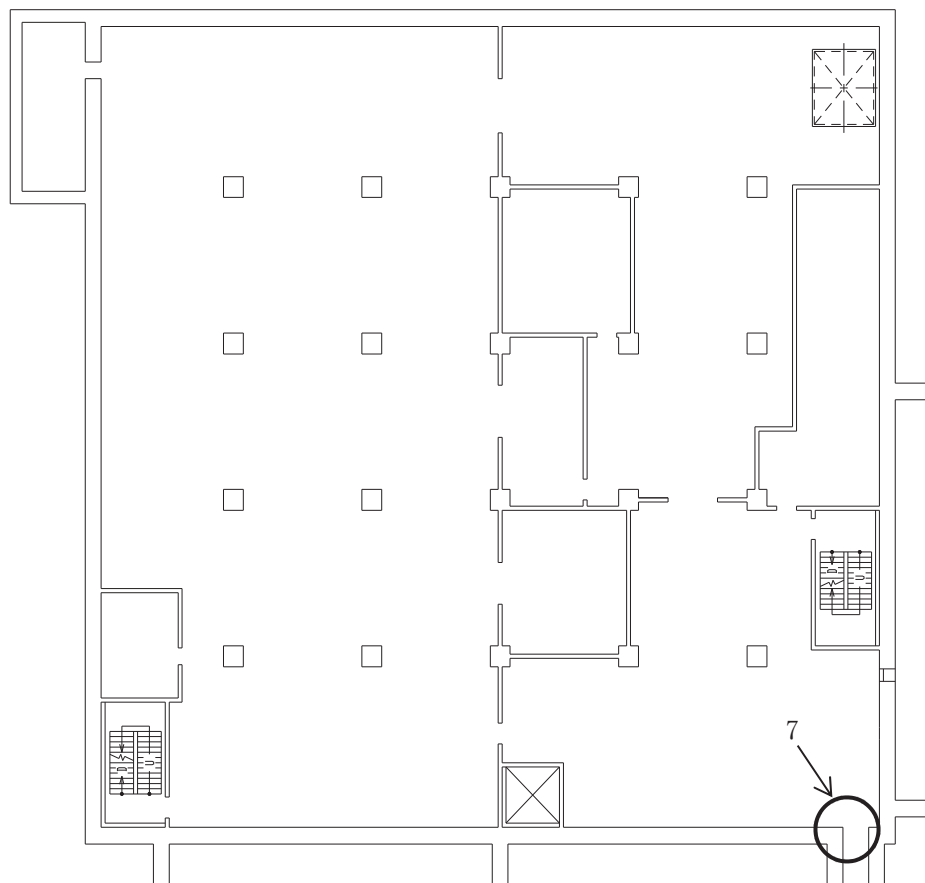


02 ⑤ VI-2-10-2-7-1 R2



5	制御建屋空調機械(A)室浸水防止水密扉
6	制御建屋空調機械(B)室浸水防止水密扉

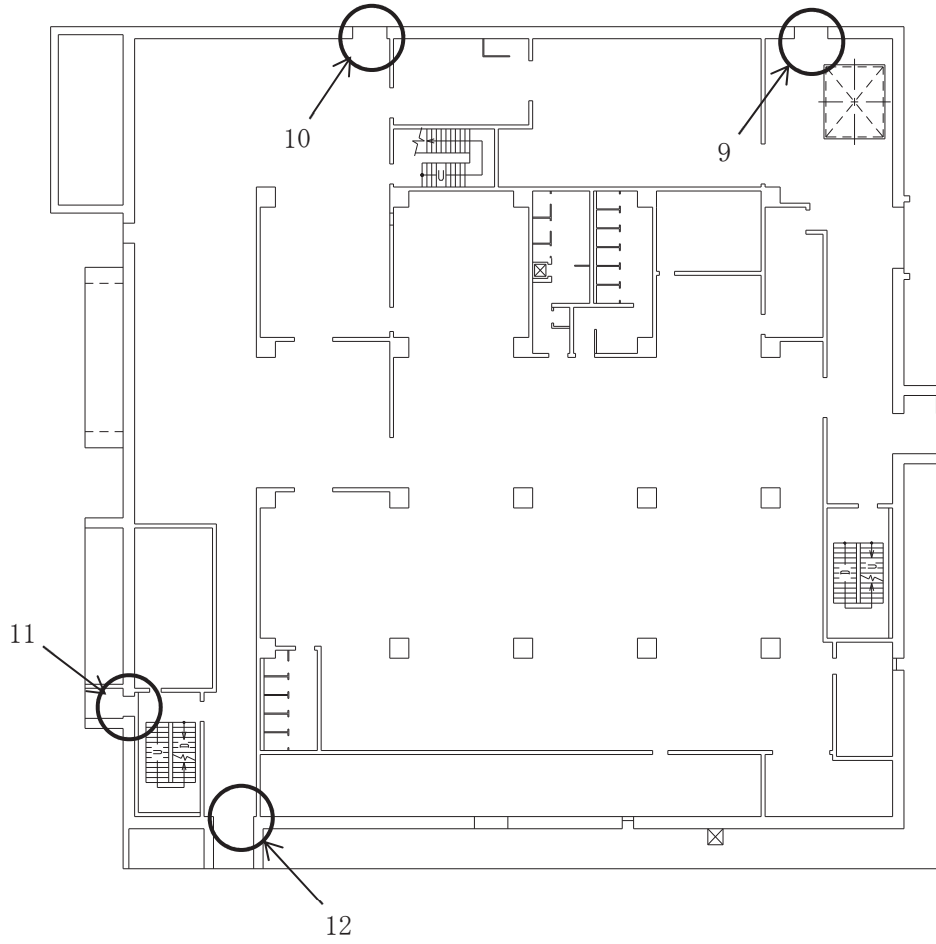
図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図(1/5) O.P. 0.50m



02 ⑤ VI-2-10-2-7-1 R2

7	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉(No.3)
---	-------------------------

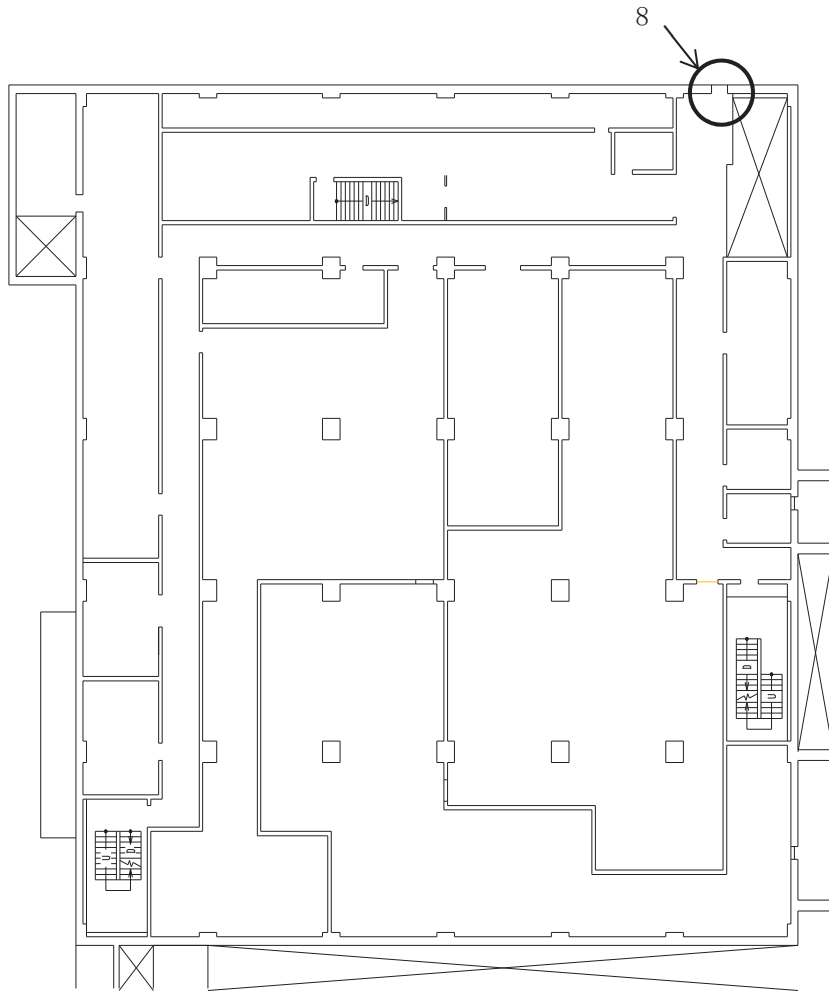
図2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図(2/5) 0.P.7.00m



O 2 ⑤ VI-2-10-2-7-1 R 2

9	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)
10	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)
11	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)
12	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図 (3/5) O.P. 14.00m

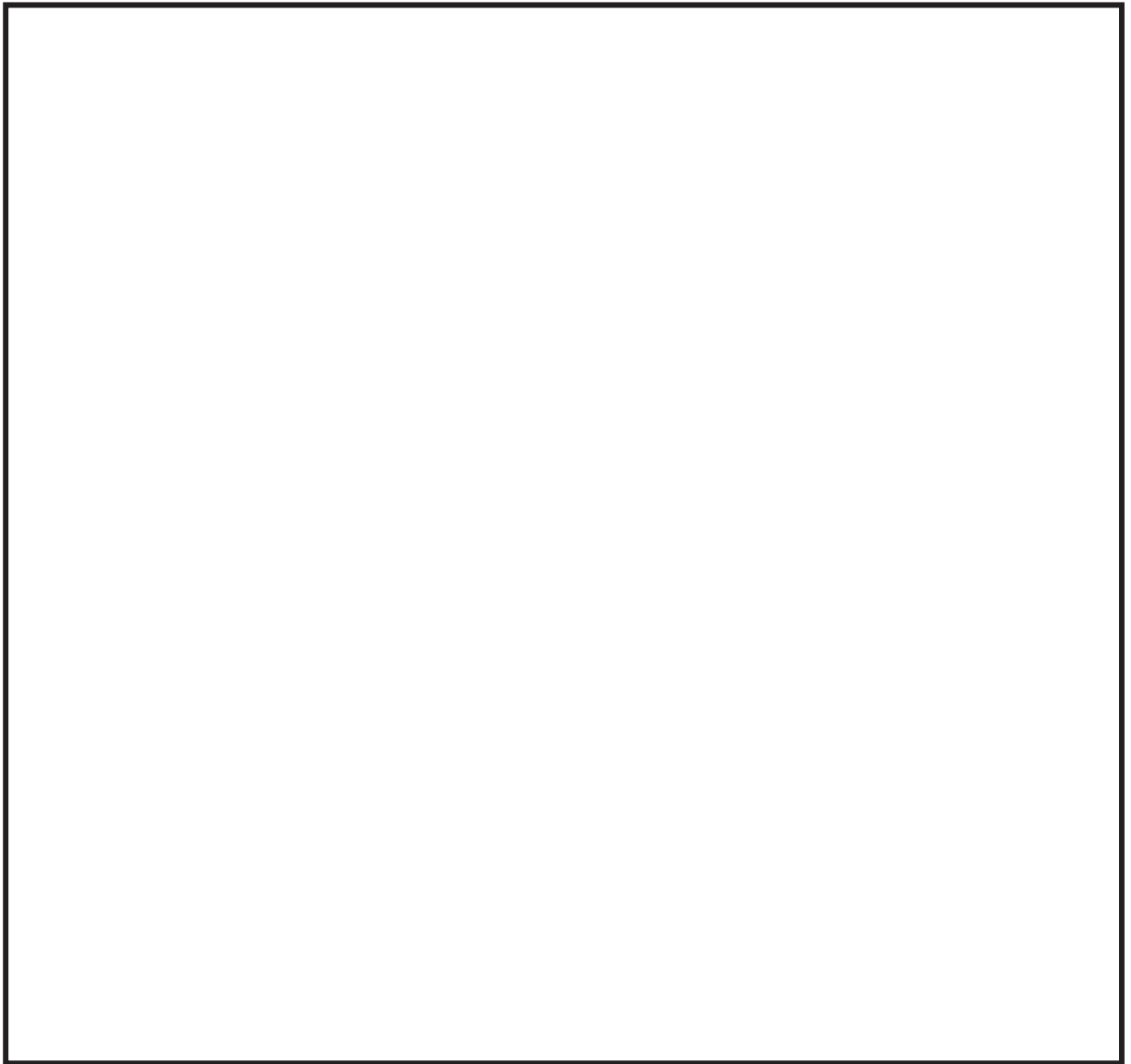


8	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)
---	---------------------

図 2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図 (4/5) O.P. 18.50m



02 ⑤ VI-2-10-2-7-1 R2



13	第2号機 MCR 浸水防止水密扉
----	------------------

図2-3 制御建屋の水密扉の設置位置図(5/5) O.P. 22.50m

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

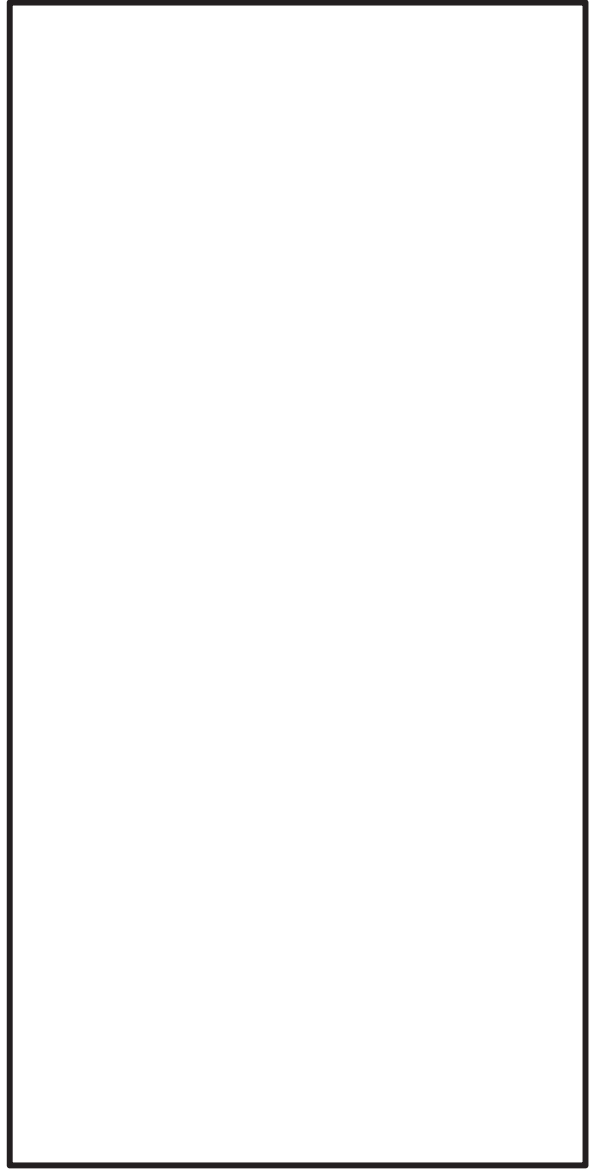
2.3 構造計画

水密扉は、片開き型の鋼製扉とし扉板の背面に芯材を配した構造である。また、閉止状態において、カンヌキ及びカンヌキ受けにより固定され止水性を確保しており、アンカーボルトによって建屋躯体に固定された扉枠にて支持する構造とする。

なお、くぐり戸付水密扉は、機器搬出入用の扉（以下、「大扉」という。）と人員用の扉（以下、「くぐり戸」という。）により構成された構造とする。

水密扉の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 水密扉の構造計画 (1/2)

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキにより、扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより建屋躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>片開き型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差込み、扉体と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と建屋躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2-2 水密扉の構造計画 (2/2)

計画の概要		説明図 (くぐり戸付水密扉)
基礎・支持構造	主体構造	
<p>大扉は扉開放時には、ヒンジにより大扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、扉固定部により、大扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>くぐり戸は扉開放時には、ヒンジによりくぐり戸が大扉に固定され、扉閉止時には、くぐり戸用カンヌキにより、大扉に一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより建屋躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>大扉は片開き型の鋼製扉とし、大扉に設置された扉固定部を扉枠と接合させ、大扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>くぐり戸は片開き型の鋼製扉とし、くぐり戸に設置されたくぐり戸用カンヌキを大扉に設置されたカンヌキ受けに差し込み、くぐり戸と大扉を一体化させる構造とする。</p> <p>また、大扉と建屋躯体の接続は大扉のヒンジを介する構造とする。</p>	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.4 評価方針

水密扉の耐震評価は、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、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造を踏まえ、「4.1 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「3. 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、「4.5 評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-4 に示す。水密扉の耐震評価においては、その構造を踏まえ、基準地震動 S_s による地震荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価対象部位を設定する。

耐震評価においては、荷重を静的に作用させることにより、ヒンジ部(ヒンジ板, ヒンジピン, ヒンジボルト) 及びカンヌキ部(カンヌキ, カンヌキ受けピン, カンヌキ受けボルト)の発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

また、くぐり戸付水密扉の大扉については、扉と躯体を固定する扉固定部(扉付固定ボルト, 枠付固定ボルト, ブラケット)の発生応力を算定し、許容限界との比較を行う。

アンカーボルトは壁に埋め込まれた方向によって下記のとおりと呼ぶこととする。

- ・0° 方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの直交方向に配置されている場合
- ・90° 方向配置：アンカーボルトが壁の厚さの方向に配置されている場合

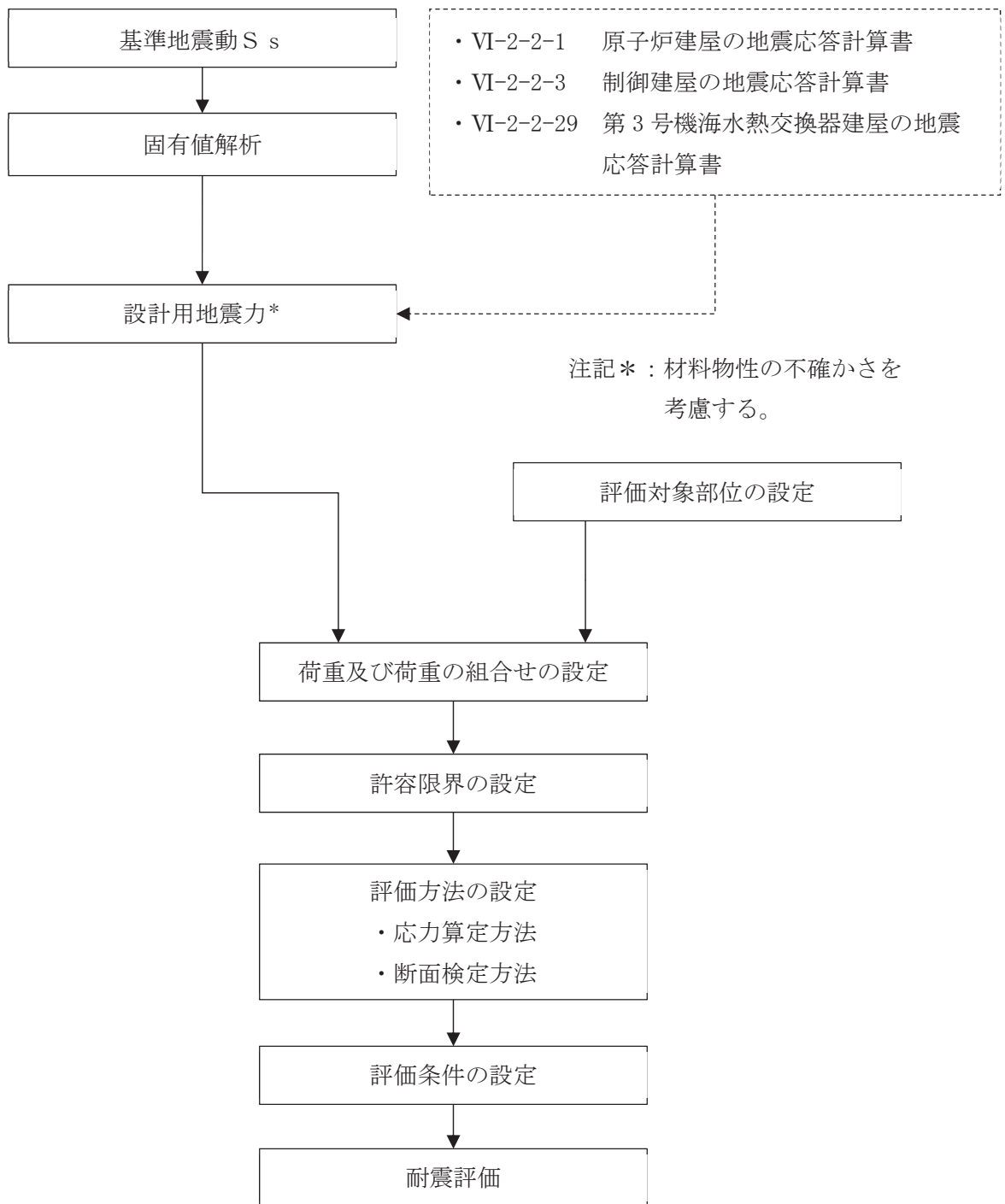


図 2-4 水密扉の耐震評価フロー

2.5 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 2005 年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本機械学会 機械工学便覧

2.6 記号の説明

水密扉の耐震評価に用いる記号を表 2-3 に示す。

表 2-3 耐震評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
W_1	kN	スラスト荷重
G	kN	扉重量
k_H	—	水平震度
k_{UD}	—	鉛直震度
F_1	N	転倒力
F_{1a}	N	扉と扉枠の重量を含んだ転倒力
R_1	N	地震力に伴う荷重の反力
L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離
L_2	mm	ヒンジ芯間距離
L_3	mm	ヒンジ板の 2 軸間距離
L_4	mm	ヒンジ板と受材間距離
L_5	mm	カンヌキの突出長さ
L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離
L_A	mm	ボルト中心からブラケット端部の長さ
L_D	mm	扉の幅
H_D	mm	扉の高さ
M	N・mm	曲げモーメント
T	N	引張力
Q	N	せん断力
n_1	本	ヒンジボルトの本数
n_2	本	カンヌキの本数
n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数
n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数
n_c	本	扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトの本数
g	m/s ²	重力加速度
w_a	kN	扉枠の重量
w_{1a}	N	扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重
w_D	N/mm ²	扉下端に作用する静水圧荷重
σ	N/mm ²	曲げ応力度
σ_t	N/mm ²	引張応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
x	N/mm ²	組合せ応力度

表 2-3 耐震評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
H_1	mm	ヒンジ板の高さ
T_1	mm	ヒンジ板の厚さ
d_3	mm	ヒンジピンの径
Z	mm^3	断面係数
A	mm^2	断面積
A_s	mm^2	せん断断面積
T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

3. 固有値解析

3.1 固有振動数の算出方法

水密扉の構造に応じて解析モデルを設定し，1次固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

水密扉は，ヒンジ及びカンヌキにより扉と扉枠を支持する構造であることから，扉閉止時については両端ヒンジ梁又は四辺支持の長方形板に，扉開放時についてはヒンジ，自由端梁に単純化したモデルとし，モデル化に用いる芯材又は扉板の長さは保守的に扉幅とする。解析モデル図を図3-1に示す。

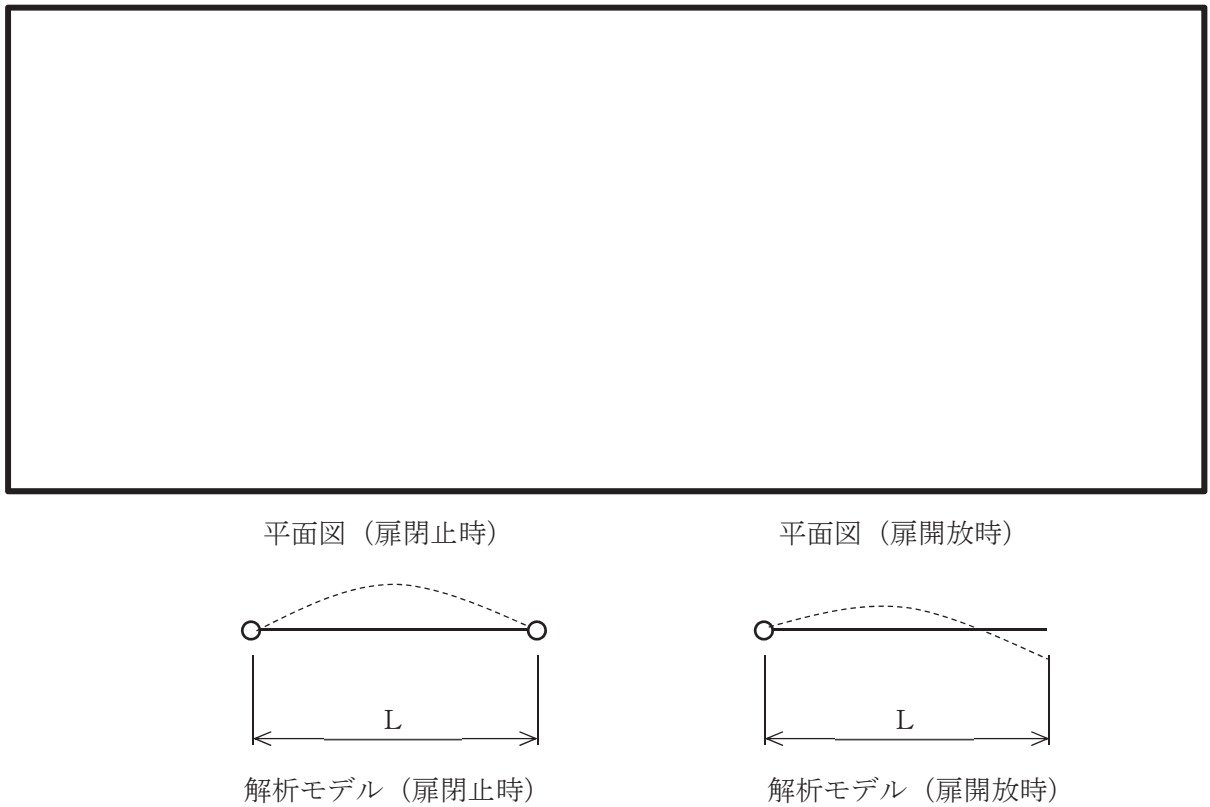


図3-1 水密扉の固有値解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2 固有振動数の算出条件等

3.2.1 記号の説明

水密扉の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 水密扉の固有振動数に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	水密扉の 1 次固有振動数
L	cm	モデル化に用いる芯材の長さ
E	kgf/cm ²	ヤング率
I	cm ⁴	断面二次モーメント
γ _m	kg/cm	質量分布
t	cm	扉板の板厚
a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)
b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)
ν	—	ポアソン比
m	—	辺 a に平行な節線の数(1)
n	—	辺 b に平行な節線の数(1)
γ	kgf/cm ³	単位体積の重さ
g	cm/s ²	重力加速度

3.2.2 固有振動数の算出方法

1 次固有振動数 f を「日本機械学会 機械工学便覧」に基づき以下の式より計算する。ここで、固有振動数は水平方向 (扉体面外方向) について算出するものとし、鉛直方向 (扉体面内方向) については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が、面外方向の剛性に比べて十分に大きいため、固有振動数の算出を省略する。

モデル化の対象は、扉板及び芯材の組合せによる断面を有する水密扉については芯材を、芯材がなく扉板そのものにより断面を構成する水密扉については扉板とする。

(1) 扉閉止時

a. 両端ヒンジ梁モデル (芯材をモデル化)

$$f = \frac{\pi^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{\gamma_m}}$$

b. 四辺支持の長方形板モデル (扉板をモデル化)

$$f = \frac{\pi \cdot t}{4} \cdot \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \gamma}}$$

(2) 扉開放時

扉開放時において水密扉は、面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり、これに伴う荷重の増幅は生じないことから、本評価においては芯材又は扉板が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出することとした。

ヒンジ，自由端梁モデル

$$f = \frac{3.927^2}{2 \cdot \pi \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{\gamma_m}}$$

3.2.3 固有振動数の算出条件

水密扉の固有振動数の算出条件のうち、芯材をモデル化した場合の算出条件を表 3-2 に、扉板をモデル化した場合の算出条件を表 3-3 及び表 3-4 に示す。

表 3-2 芯材をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時及び扉開放時）

水密扉 No.	扉名称	梁長さ L (cm)	ヤング率 E (kgf/cm ²)	断面二次 モーメント I (cm ⁴)	質量分布 γ_m (kg/cm)
1	水密扉（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 1)	90.0	1.97×10^6	2310	1.90
2	水密扉（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 2)	90.0	1.97×10^6	2310	1.90
3	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	135.0	2.09×10^6	2533	1.98
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	135.0	2.09×10^6	2533	1.98
5	制御建屋空調機械 (A) 室 浸水防止水密扉	101.7	2.09×10^6	4180	4.06
6	制御建屋空調機械 (B) 室 浸水防止水密扉	108.6	2.09×10^6	4180	4.07
7	計測制御電源室 (B) 浸水防止水密扉 (No. 3)	145.9	2.09×10^6	6440	5.16
8	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	140.6	2.09×10^6	1380	3.20
9	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	140.2	2.09×10^6	1380	2.91
10	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)	170.2	2.09×10^6	4180	3.58
11	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)	94.5	2.09×10^6	1380	2.62
12	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)	196.2	2.09×10^6	4180	2.85

表 3-3 扉板をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時）

水密扉 No.	扉名称	板厚 t (cm)	ヤング 率 E (kgf/cm ²)	幅 a (cm)	高さ b (cm)	ポア ソン 比 ν (—)	単位 体積 の重さ γ (kg/cm ³)
13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉 (くぐり戸)	11.5	2.09×10 ⁶	103.0	220.0	0.3	0.010
	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉 (大扉)	11.5	2.09×10 ⁶	203.0	260.0	0.3	0.013

表 3-4 扉板をモデル化した場合の算出条件（扉開放時）

水密扉 No.	扉名称	梁長さ L (cm)	ヤング率 E (kgf/cm ²)	断面二次 モーメント I (cm ⁴)	質量分布 γ _m (kg/cm)
13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉 (くぐり戸)	103.0	2.09×10 ⁶	27880	24.76
	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉 (大扉)	203.0	2.09×10 ⁶	32950	39.90

3.3 固有振動数の算出結果

水密扉の固有振動数の算出結果を表3-5に示す。各水密扉の固有振動数は20Hz以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-5 固有振動数の算出結果

水密扉 No.	扉名称	固有振動数 f	
		扉閉止時 (Hz)	扉開放時 (Hz)
1	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 1)	297.06	464.15
2	水密扉（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア）(No. 2)	297.06	464.15
3	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	139.56	218.07
4	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	139.56	218.07
5	制御建屋空調機械 (A) 室浸水防止水密扉	220.62	344.71
6	制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉	193.23	301.93
7	計測制御電源室 (B) 浸水防止水密扉 (No. 3)	118.02	184.41
8	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	74.70	116.73
9	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	78.79	123.10
10	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)	83.88	131.07
11	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)	182.76	285.56
12	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)	70.75	110.55
13	第2号機 MCR 浸水防止水密扉（くぐり戸）	284.41	351.46
	第2号機 MCR 浸水防止水密扉（大扉）	84.78	77.49

4. 耐震評価

4.1 評価対象部位

評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震荷重により水密扉に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）から扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周辺の建屋躯体に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ部、カンヌキ部及びアンカーボルトとする。

くぐり戸付水密扉のくぐり戸に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト）に伝わり、十分な裕度を有するボルトにて支持する。くぐり戸は扉開放時には、ヒンジにより扉が大扉に固定され、扉閉止時には、くぐり戸用カンヌキにより、大扉に一体化する構造としていることから、評価対象部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。なお、大扉の重量にはくぐり戸の重量を含めて評価する。

くぐり戸付水密扉の大扉に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及び扉固定部（扉付固定ボルト、枠付固定ボルト、ブラケット）から扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周辺の建屋躯体に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ部、扉固定部及びアンカーボルトとする。また、アンカーボルトに生じる応力が最大となる状態で評価を行うことを考慮し、扉が 0° 、 90° 又は 180° の開閉状態における評価を行うとともに、地震荷重の作用により応力が集中する扉の状態を踏まえ、ヒンジ側アンカーボルトを評価対象とする。

評価結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉を代表として評価するものとし、水密扉 No. 6, 11, 12 及び 13 を抽出した。

水密扉閉止時に水密扉に作用する荷重の作用図を図 4-1 に、水密扉開放時に水密扉に作用する荷重の作用図を図 4-2 に示す。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

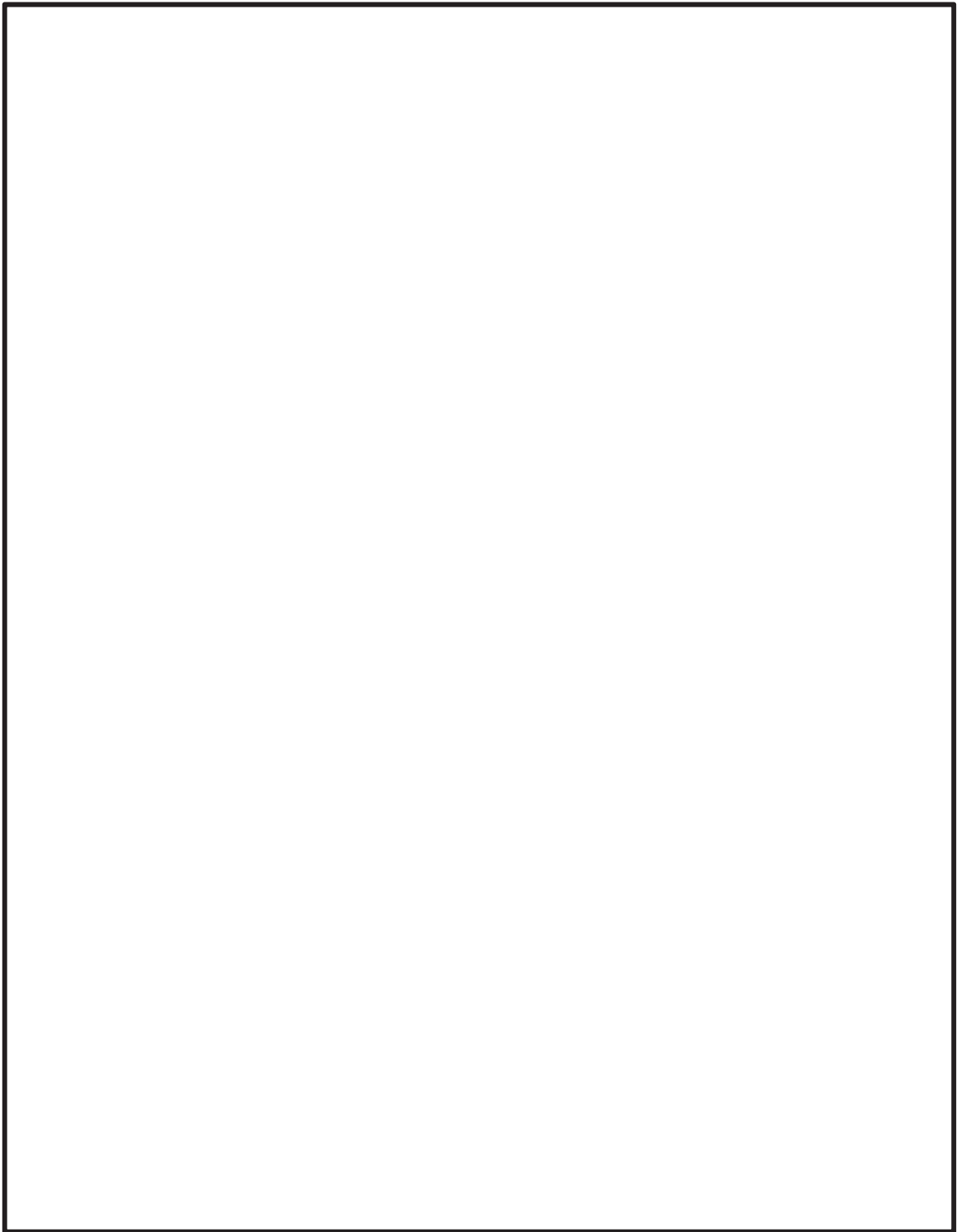
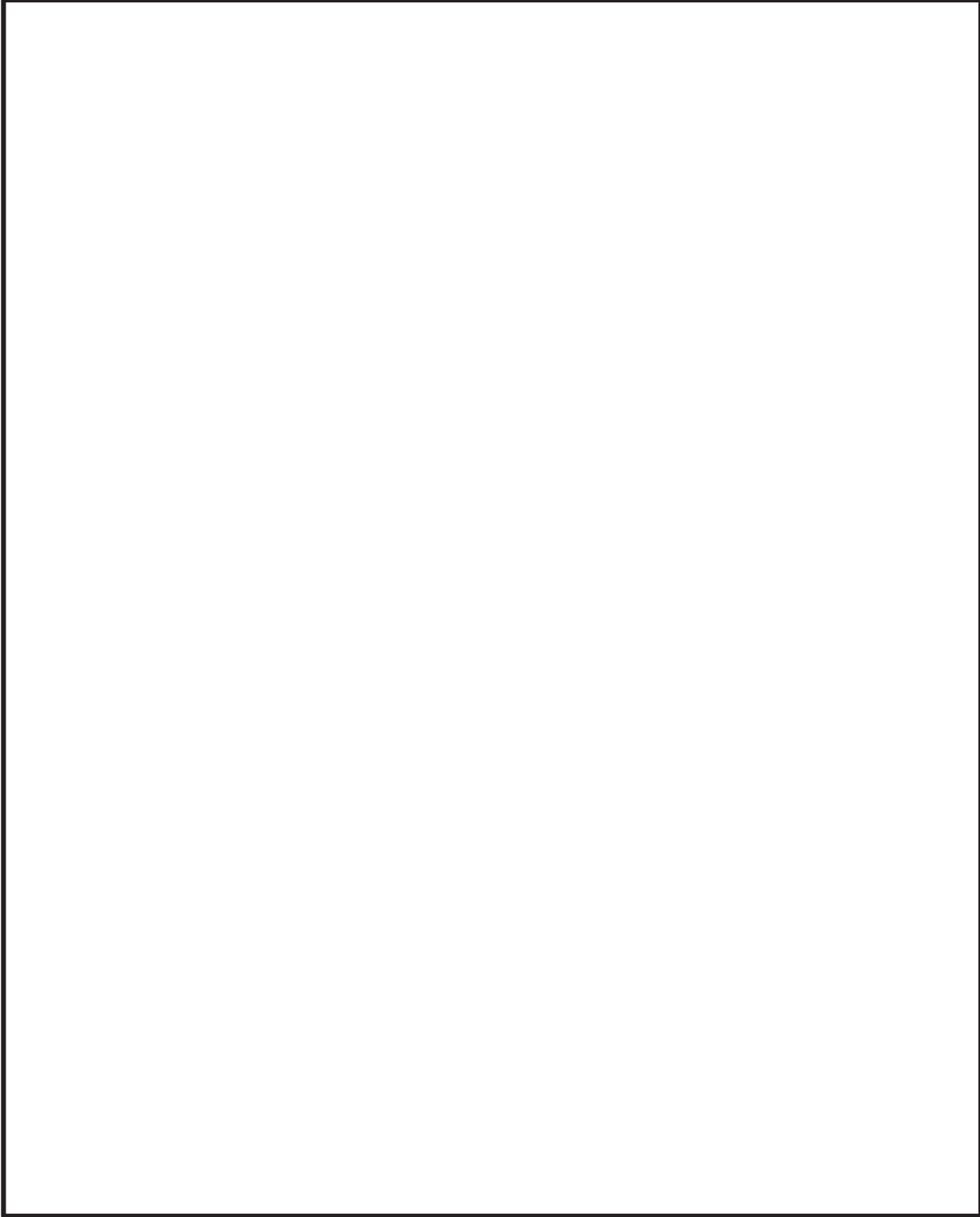


図 4-1 水密扉に作用する荷重の作用図 (水密扉閉止時) (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位



<<ぐり戸付水密扉>

図4-1 水密扉に作用する荷重の作用図（水密扉閉止時）(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。

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

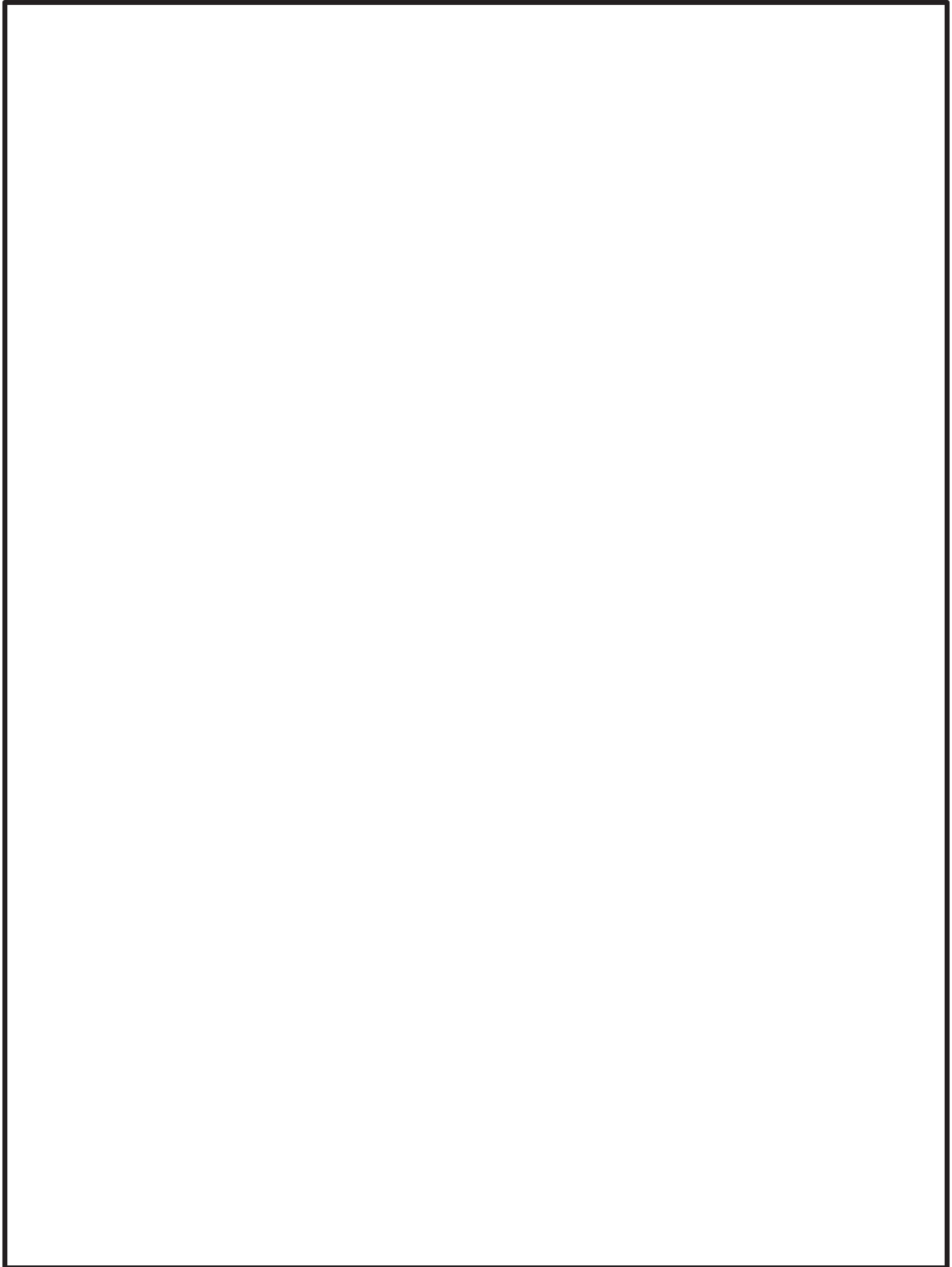


図 4-2 水密扉に作用する荷重の作用図（水密扉開放時）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

水密扉の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s$$

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)

水密扉は、上載物の荷重を負担する又は、影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

4.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉の自重を考慮する。自重は「4.6 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「4.4 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

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)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.3 許容限界

許容限界は、「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。

4.3.1 使用材料

水密扉を構成するヒンジ部，カンヌキ部，扉固定部及びアンカーボルトの使用材料を表4-1に示す。

表 4-1 使用材料

評価対象部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジ板	SS400	高さ(mm) 85, 100, 120, 150, 250 厚さ(mm) 40, 50, 60, 75, 80, 95, 120 100, 130
	ヒンジピン	S45C SCM440 SCM440H	径(mm) 45, 50, 55, 60, 110
	ヒンジボルト	10.9(SCM435)	M16, M20, M24, M30
カンヌキ部	カンヌキ	SUS304N2 SCM440 SUS304	径(mm) 50, 60, 65, 90
	カンヌキ受けピン	SUS304N2 SCM435	径(mm) 30, 40, 60
	カンヌキ受けボルト	10.9 (SCM435, SCM440)	M16, M20
扉固定部	扉付固定ボルト	10.9(SCM435)	M20
	枠付固定ボルト	10.9(SCM435)	M20
	ブラケット	SS400	厚さ(mm) 13
アンカーボルト		SS400 SUS304	M16, M20, M24

4.3.2 許容限界

(1) 鋼材の許容応力度

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー」を踏まえて表 4-2 の値とする。

表 4-2 鋼材の許容限界

材質・強度区分* ¹	短期許容応力度(N/mm ²)	
	曲げ・引張	せん断
SS400 (t ≤ 40) * ²	235	135
SS400 (40 < t ≤ 100) * ²	215	124
SS400 (100 < t) * ²	205	118
SUS304	205	118
SUS304N2	345	199
S45C	345	199
SCM435	651	375
SCM440	686	396
SCM440H	686	396
10.9 (SCM435, SCM440)	728	420

注記*1：許容応力度を決定する基準値Fは、J I Sに基づく。

*2：tは板厚(mm)を示す。

(2) アンカーボルトの許容限界の算定値

アンカーボルトの許容限界は、「4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容限界を表 4-3 に示す。

なお、評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容応力、及び付着力またはコーン状破壊により決まる許容応力を比較して、いずれか小さい値を採用する。また、評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる許容応力、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応力及びコーン状破壊により決まる許容応力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 4-3 アンカーボルトの許容限界

水密扉 No.	扉名称	許容耐力* (N/本)	
		引張	せん断
6	制御建屋空調機械(B)室浸水防止水密扉	67315	58068
11	制御建屋浸水防止水密扉(No. 4)	34073	25826
12	制御建屋浸水防止水密扉(No. 5)	67315	58068
13	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉	57575	40302

注記*：扉が開放状態のとき，地震力による応力がヒンジ側に集中する扉の構造を考慮し，ヒンジ側アンカーボルトのみ選定した。

4.4 設計用地震力

「3. 固有値解析」に示したとおり，水密扉の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，水密扉の耐震評価で用いる設計震度は，材料物性の不確かさを考慮したものとして「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」，「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」及び「VI-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」によることとし，建屋の階ごとの設計震度を表 4-4 に示す。

ここで，最大応答加速度を保守的に評価するために，最大応答加速度の抽出位置は水密扉設置階の上階の値とする。

表 4-4 設計震度

建屋	階	O. P. *	設計震度	
			水平方向 k_H	鉛直方向 k_{UD}
原子炉建屋	CRF	41.20m	2.86	1.58
	3F	33.20m	2.21	1.47
	2F	22.50m	1.77	1.30
	1F	15.00m	1.65	1.15
	B1F	6.00m	1.31	0.91
	B2F	-0.80m	1.11	0.73
	B3F	-8.10m	0.82	0.57
制御建屋	RF	29.15m	2.42	1.75
	3F	22.95m	2.32	1.54
	2F	19.50m	1.90	1.34
	1F	15.00m	1.87	1.09
	B1F	8.00m	1.62	0.79
	B2F	1.50m	1.13	0.60
第 3 号機海水熱交換器建屋	B1F	8.00m	1.87	1.11

注記*：各建屋の地震応答計算書における O. P. を示す。

4.5 評価方法

4.5.1 応力算定

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ここで、扉の重量は2箇所ヒンジで支持することから、ヒンジ部に作用する転倒力には、扉上半分の重量を慣性力として作用させるものとする。ヒンジ部に作用する荷重の例を図4-3に示す。

$$W_1 = G \cdot 10^3 + k_{UD} \cdot G \cdot 10^3$$

$$F_1 = W_1 \cdot \frac{L_1}{L_2} + \frac{k_H \cdot G \cdot 10^3}{2}$$

ここで、

W_1 : スラスト荷重(N)

G : 扉重量(kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 転倒力(N)

L_1 : 扉重心とヒンジ芯間距離(mm)

L_2 : ヒンジ芯間距離(mm)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
[-----] : 評価対象部位

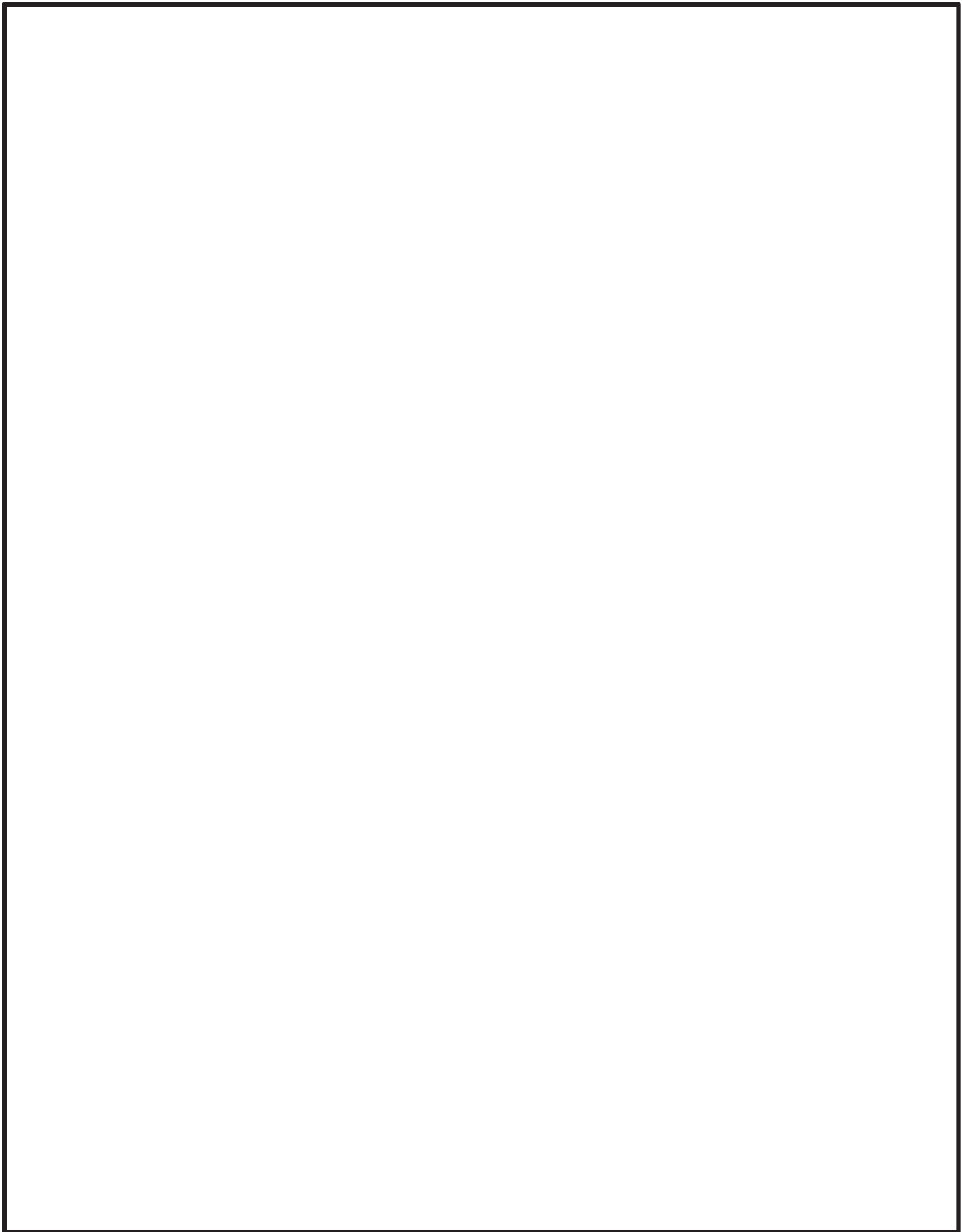


図 4-3 ヒンジ部に作用する荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に作用する荷重の例を図4-4に示す。

$$M = W_1 \cdot L_3$$

$$Q = W_1$$

ここで、

M : ヒンジ板に生じる曲げモーメント (N・mm)

W_1 : スラスト荷重 (N)

L_3 : ヒンジ板の2軸間距離 (mm)

Q : ヒンジ板に生じるせん断力 (N)

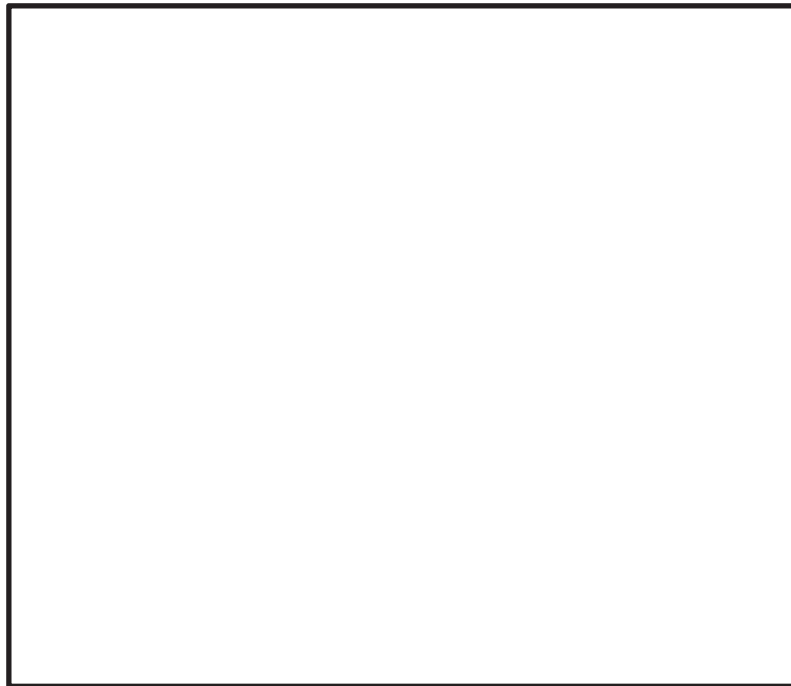


図4-4 ヒンジ板に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに作用する荷重の例を図4-5に示す。

(a) 受材が1箇所の場合

$$M = F_1 \cdot L_4$$

$$Q = F_1$$

(b) 受材が2箇所の場合

$$M = F_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_4$$

$$Q = F_1 \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

M : ヒンジピンに生じる曲げモーメント(N・mm)

F₁ : 転倒力(N)

L₄ : ヒンジ板と受材間距離(mm)

Q : ヒンジピンに生じるせん断力(N)

(受材が1箇所の場合)

(受材が2箇所の場合)



図4-5 ヒンジピンに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジボルトに作用する荷重の例を図4-6に示す。

(a) 受材が1箇所の場合

$$Q = \sqrt{(W_1 / n_1)^2 + (F_1 / n_1)^2}$$

(b) 受材が2箇所の場合

$$Q = \sqrt{(W_1 / n_1)^2 + (F_1 \cdot \frac{1}{2 \cdot n_1})^2}$$

ここで、

Q : ヒンジボルト1本あたりに生じるせん断力(N)

W₁ : スラスト荷重(N)

F₁ : 転倒力(N)

n₁ : ヒンジボルトの本数

(受材が1箇所の場合)

(受材が2箇所の場合)

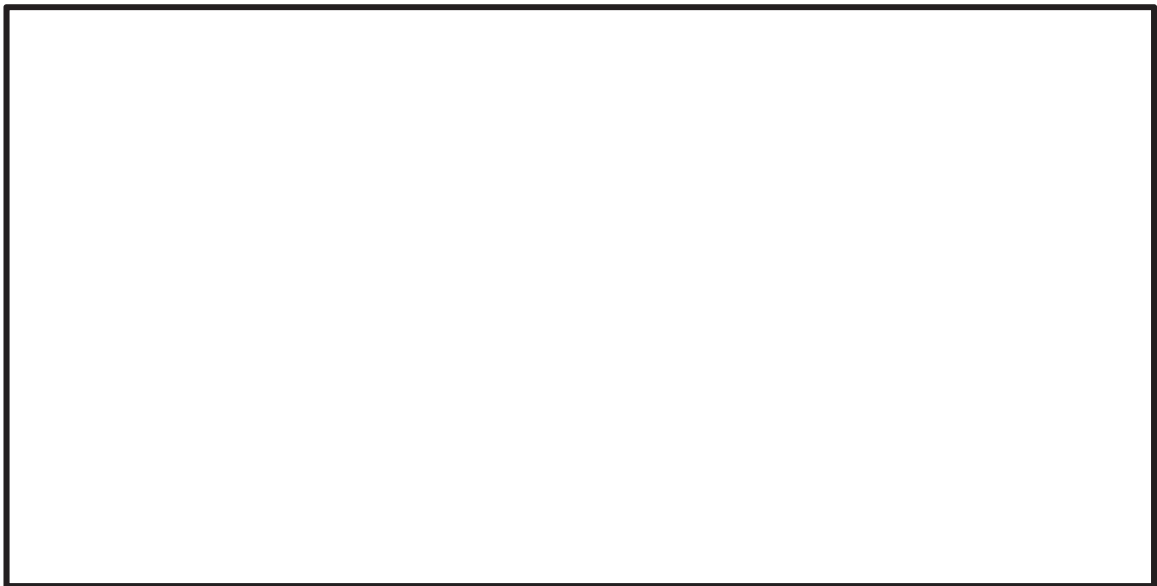


図4-6 ヒンジボルトに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトで構成されており、カンヌキ部に生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ部に作用する荷重の例を図 4-7 に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G \cdot 10^3 / n_2$$

ここで、

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力(N)

k_H : 水平震度

G : 扉重量 (kN)

n_2 : カンヌキの本数

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
[-----] : 評価対象部位

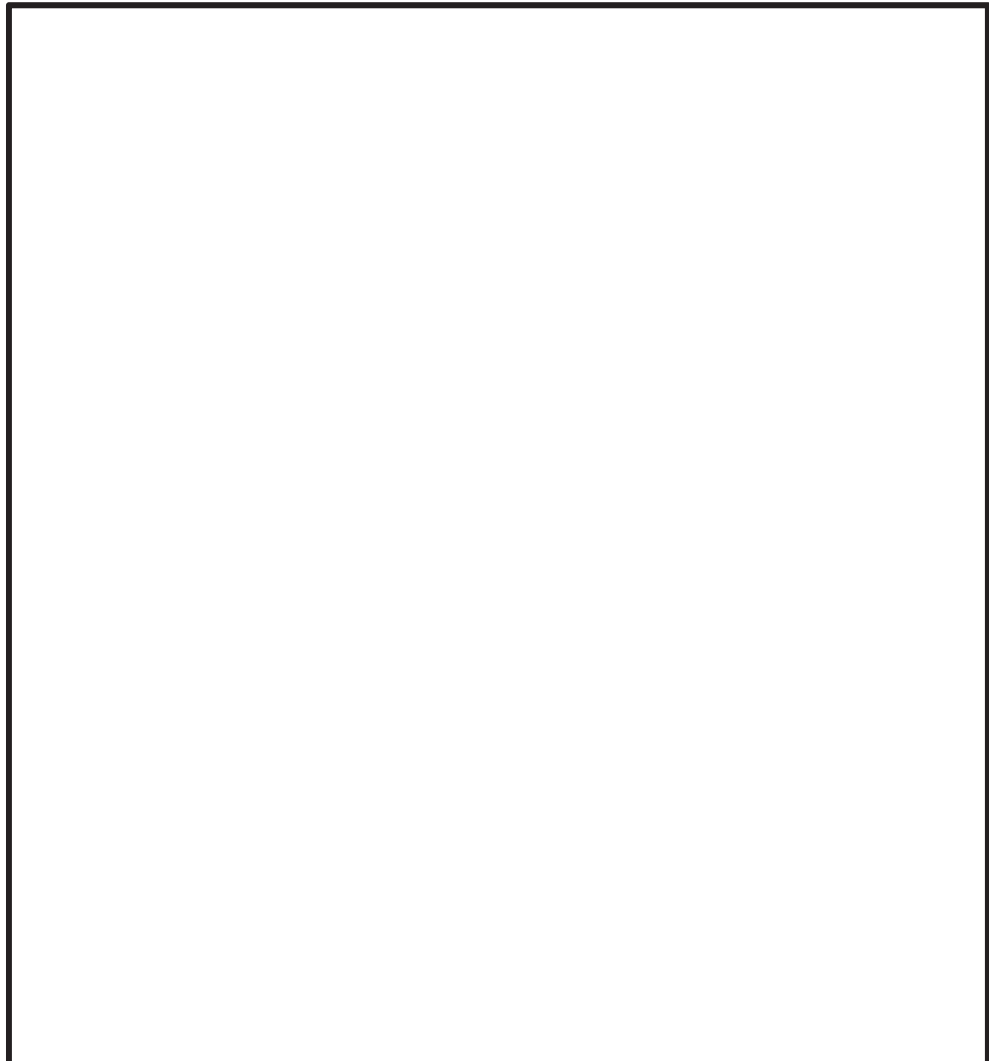


図 4-7 カンヌキ部に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、カンヌキ受けピン中心位置を固定端とした片持ち梁として評価し、カンヌキの取付部位に応じて作用する応力を考慮する。カンヌキに作用する荷重の例を図4-8に示す。

$$M = R_1 \cdot L_5$$

$$Q = R_1$$

ここで、

M : カンヌキに生じる最大曲げモーメント(N・mm)

R₁ : 地震力に伴う荷重の反力(N)

L₅ : カンヌキの突出長さ(mm)

Q : カンヌキに生じる最大せん断力(N)

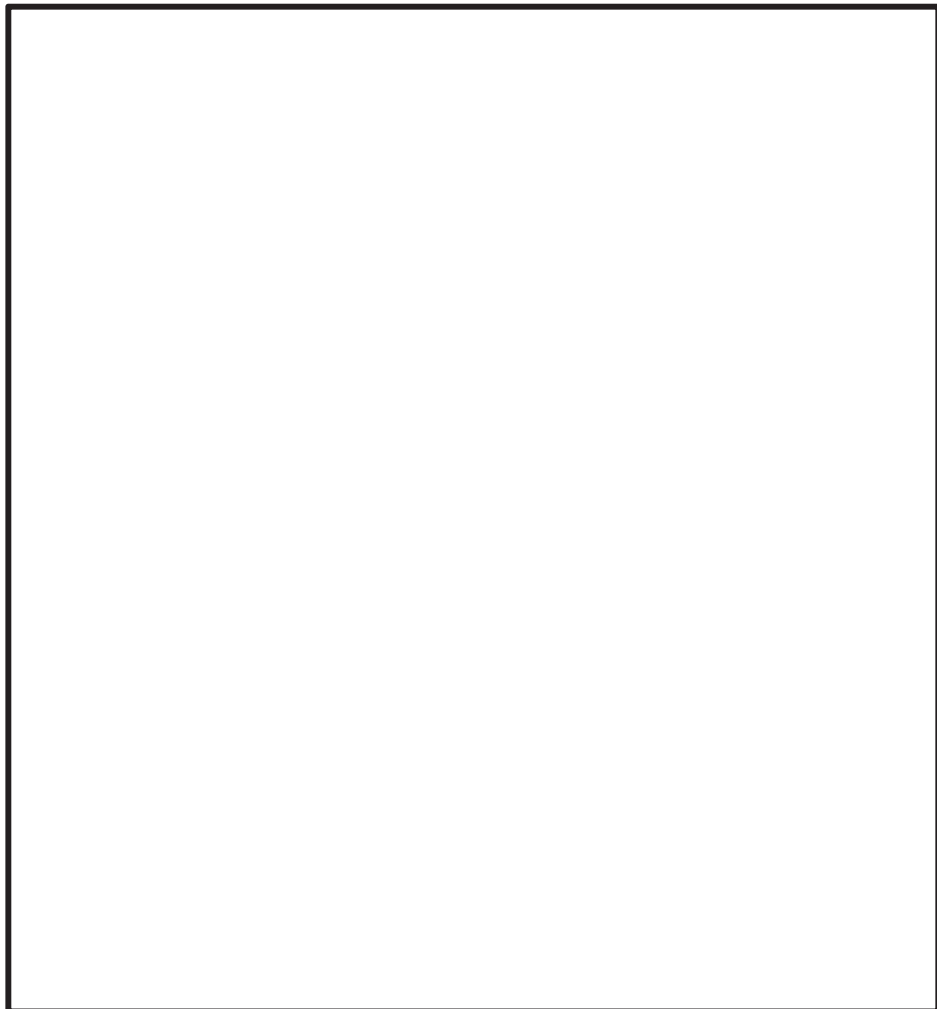


図4-8 カンヌキに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる応力は、カンヌキ受けピンを集中荷重が作用する単純梁とみなし、次式により算定する。カンヌキ受けピンに作用する荷重の例を図4-9に示す。

$$M = R_1 \cdot L_p \cdot \frac{1}{4}$$

$$Q = R_1 \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

M : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

R₁ : 地震力に伴う荷重の反力 (N)

L_p : カンヌキ受けピンの軸支持間距離 (mm)

Q : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断力 (N)

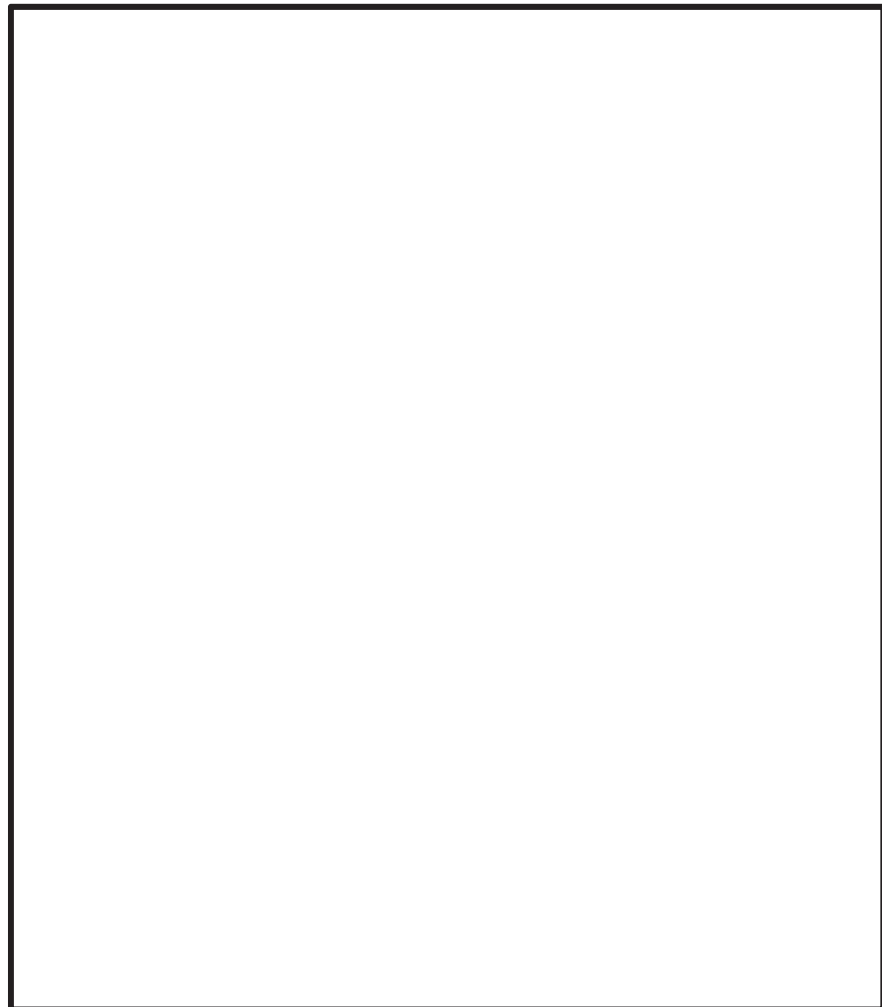


図4-9 カンヌキ受けピンに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキ受けボルトに作用する荷重の例を図4-10に示す。

$$T = \frac{R_1}{n_b}$$

ここで、

T : カンヌキ受けボルトに生じる最大引張力(N)

R₁ : 地震力に伴う荷重の反力(N)

n_b : カンヌキ受けボルトの本数

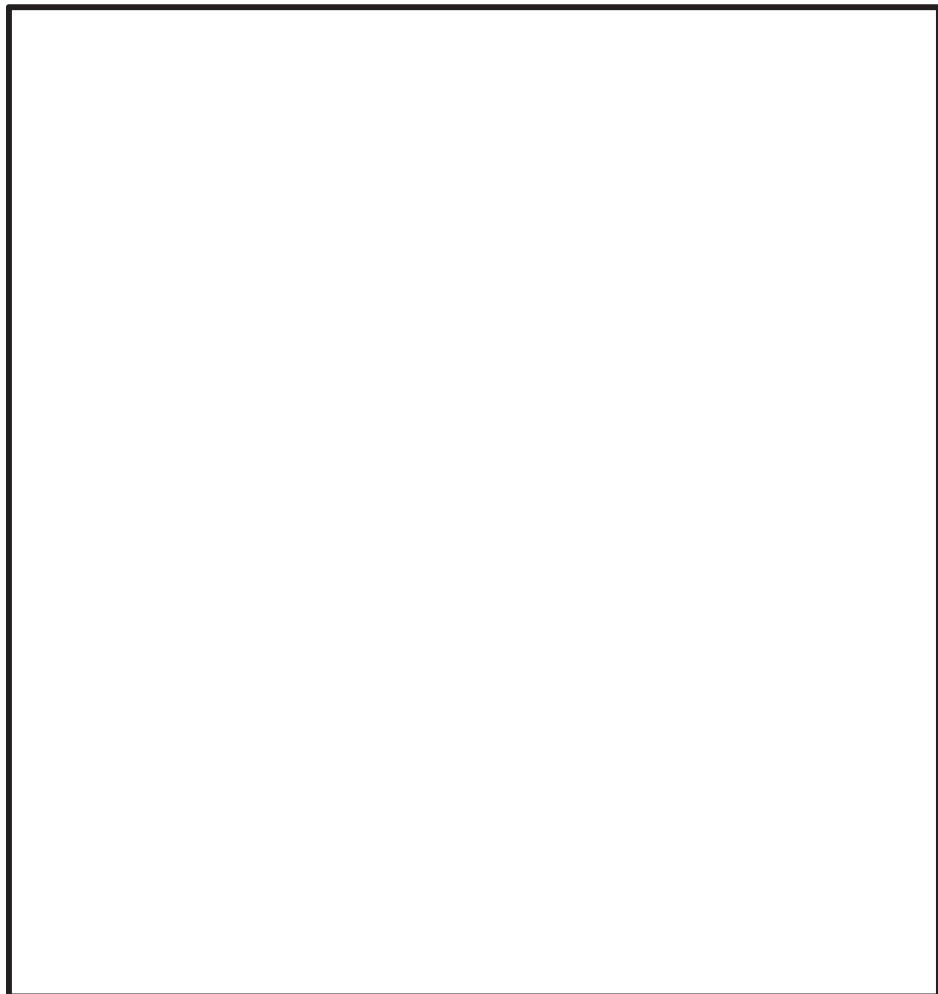


図4-10 カンヌキ受けボルトに作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 扉固定部

扉固定部は、扉付固定ボルト、枠付固定ボルト及びブラケットで構成されている。扉固定部に作用する荷重の例を図4-11に示す。

a. 扉付固定ボルト及び枠付固定ボルト

扉付固定ボルト及び枠付固定ボルトに生じる応力は、次式により算定する。

$$T = \frac{k_H \cdot G \cdot 10^3}{n_c}$$

$$Q = \frac{k_H \cdot G \cdot 10^3}{n_c}$$

ここで、

T : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大引張力(N)

k_H : 水平震度

G : 扉重量 (kN)

n_c : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトの本数

Q : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大せん断力(N)

b. ブラケット

ブラケットに生じる応力は、次式により算定する。

$$M = \frac{k_H \cdot G \cdot 10^3}{n_c} \cdot L_A$$

$$Q = \frac{k_H \cdot G \cdot 10^3}{n_c}$$

ここで、

M : ブラケットに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

k_H : 水平震度

G : 扉重量 (kN)

L_A : ボルト中心からブラケット端部の長さ (mm)

n_c : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトの本数

Q : ブラケットに生じる最大せん断力 (N)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

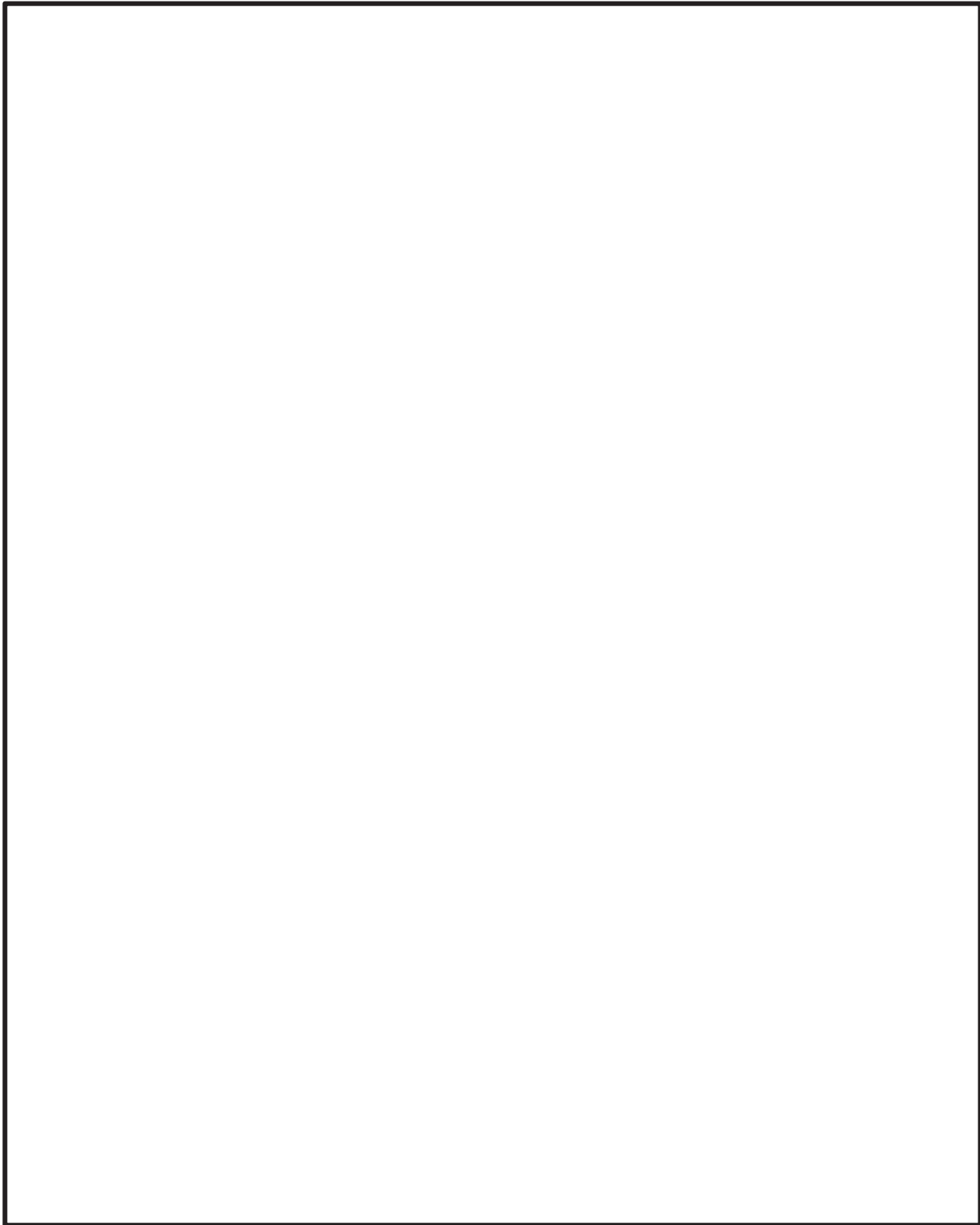


図 4-11 扉固定部に作用する荷重の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、「4.1 評価対象部位」に基づき、地震荷重を考慮する場合はヒンジ側のアンカーボルトで荷重を負担するものとして算出する。ここで、アンカーボルトに作用する荷重は、引張力又はせん断力として作用する。評価対象のアンカーボルトの範囲の例は図 4-12 に示すとおり、転倒力が作用するヒンジ付近に限定し、枠の慣性力は枠全体の重量の 1/2 を評価において保守的に考慮する。また、扉体の開放角度ごとの荷重の作用状況を図 4-13 に示す。

$$F_{1a} = F_1 + k_H \cdot w_a \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{2}$$

$$W_{1a} = W_1 + (k_{UD} \cdot w_a + w_a) \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力(N)

F_1 : 転倒力(N)

W_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重(N)

W_1 : スラスト荷重(N)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

w_a : 扉枠の重量(kN)

←----- : 評価対象部位に作用する荷重
----- : 評価対象部位

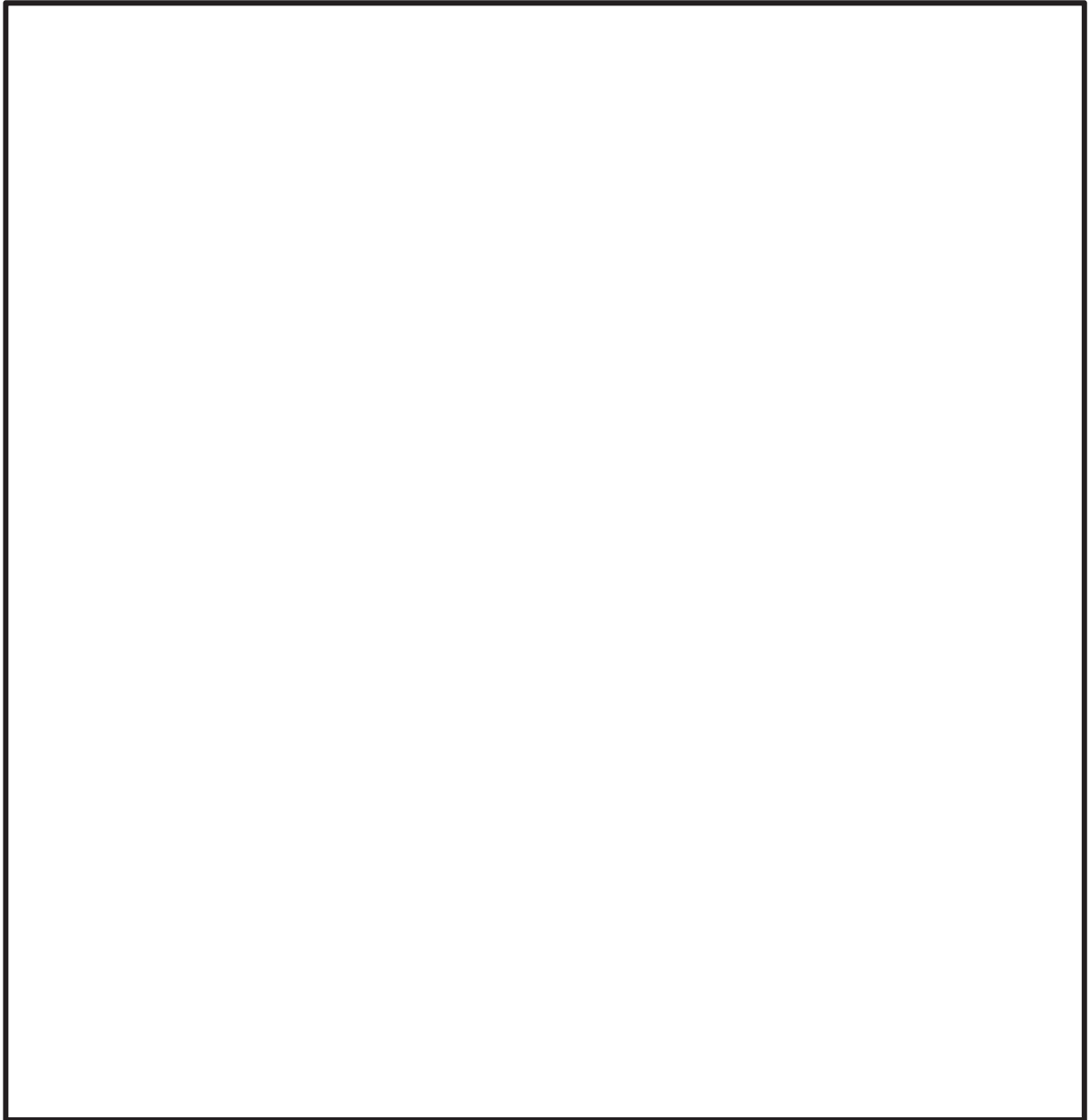


図 4-12 評価対象のアンカーボルトの範囲の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

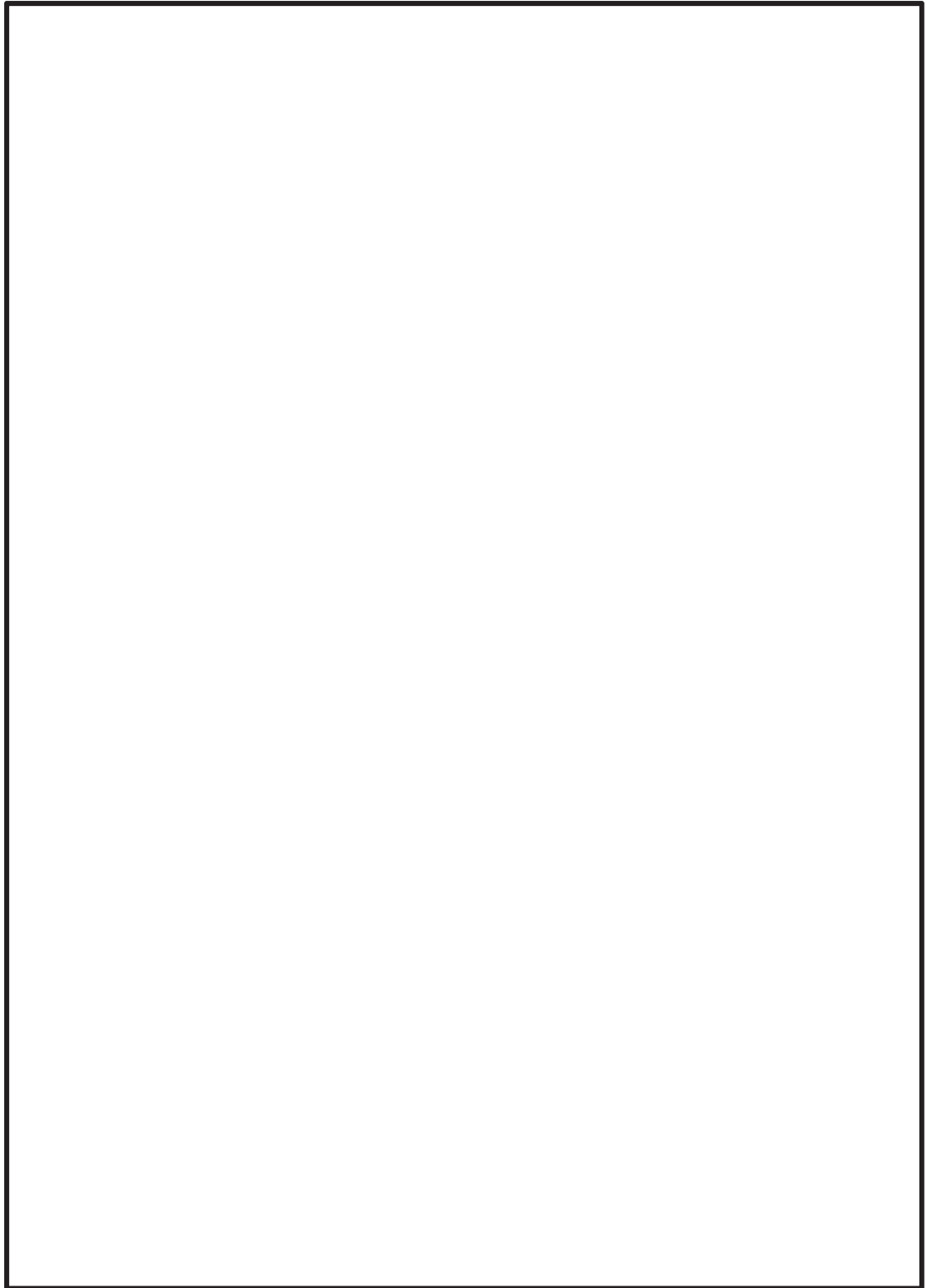


図 4-13 扉の開放角度別の荷重の作用状況

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.5.2 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が，許容限界値を下回ることを確認する。なお，異なる荷重が同時に作用する部材については，組合せを考慮する。

(1) ヒンジ部

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」に基づく次式により算定し，ヒンジ板の短期許容応力度を下回ることを確認する。

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

ここで，

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$$\sigma = M / Z$$

σ : ヒンジ板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M : ヒンジ板に生じる曲げモーメント (N・mm)

Z : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

$$\tau = Q / A_s$$

τ : ヒンジ板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジ板に生じるせん断力 (N)

A_s : ヒンジ板のせん断断面積 (mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピン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 一許容応力度設計法一」に基づく次式により算定し、ヒンジピンの短期許容応力度を下回ることを確認する。

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

ここで、

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$\sigma = M / Z$

σ : ヒンジピンに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M : ヒンジピンに生じる曲げモーメント (N・mm)

Z : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

$\tau = Q / A_s$

τ : ヒンジピンに生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジピンに生じるせん断力 (N)

A_s : ヒンジピンのせん断断面積 (mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し、ヒンジボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

τ : ヒンジボルトに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジボルトに生じる最大せん断力 (N)

A_s : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(2) カンヌキ部

a. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一」に基づく次式により算定し、カンヌキの短期許容応力度を下回ることを確認する。

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

ここで、

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$$\sigma = M / Z$$

σ : カンヌキに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : カンヌキに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : カンヌキの断面係数 (mm³)

$$\tau = Q / A_s$$

τ : カンヌキに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : カンヌキに生じる最大せん断力 (N)

A_s : カンヌキのせん断断面積 (mm²)

b. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し、カンヌキ受けピンの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = M / Z$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

σ : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : カンヌキ受けピンに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : カンヌキ受けピンの断面係数 (mm³)

τ : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : カンヌキ受けピンに生じる最大せん断力 (N)

A_s : カンヌキ受けピンのせん断断面積 (mm²)

c. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、カンヌキ受けボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_t = T / A$$

ここで、

σ_t : カンヌキ受けボルトに生じる最大引張応力度 (N/mm²)

T : カンヌキ受けボルトに生じる最大引張力 (N)

A : カンヌキ受けボルトの断面積 (mm²)

(3) 扉固定部

a. 扉付固定ボルト及び枠付固定ボルト

扉付固定ボルト及び枠付固定ボルトに生じる引張応力度又はせん断応力度を次式により算定し、扉付固定ボルト及び枠付固定ボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_t = T / A$$

$$\tau = Q / A_s$$

ここで、

σ_t : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大引張応力度 (N/mm²)

T : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大引張力 (N)

A : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトの断面積 (mm²)

τ : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトに生じる最大せん断力 (N)

A_s : 扉付固定ボルト又は枠付固定ボルトのせん断断面積 (mm²)

b. ブラケット

ブラケットに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー」に基づく次式により算定し、ブラケットの短期許容応力度を下回ることを確認する。

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

ここで、

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

$$\sigma = M / Z$$

σ : ブラケットに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : ブラケットに生じる最大曲げモーメント (N・mm)

Z : ブラケットの断面係数 (mm³)

$$\tau = Q / A_s$$

τ : ブラケットに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ブラケットに生じる最大せん断力 (N)

A_s : ブラケットのせん断断面積 (mm²)

(4) アンカーボルト

アンカーボルト1本あたりに生じる引張力及びせん断力を次式により算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。また、引張力とせん断力が同時に作用する場合は、組合せ応力を「日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算定し、アンカーボルトの許容荷重を下回ることを確認する。

$$(Q_d / Q_a) \leq 1.0$$

$$(T_d / T_a)^2 + (Q_d / Q_a)^2 \leq 1.0$$

ここで、

$$T_d = F_{1a} / (n_{b3} / 2)$$

T_d : 転倒力によるアンカーボルト1本あたりに生じる引張力(N)

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力(N)

n_{b3} : ヒンジ側アンカーボルトの本数

$$Q_{d1} = F_{1a} / (n_{b3} / 2)$$

Q_{d1} : 転倒力によるアンカーボルト1本あたりに生じるせん断力(N)

$$Q_{d2} = W_{1a} / n_{b3}$$

Q_{d2} : スラスト荷重によるアンカーボルト1本あたりに生じるせん断力(N)

W_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重(N)

$$Q_d = \sqrt{(Q_{d1}^2 + Q_{d2}^2)}$$

Q_d : アンカーボルト1本あたりに生じるせん断力(N)

T_a : アンカーボルト1本あたりの短期許容引張力(N)

Q_a : アンカーボルト1本あたりの短期許容せん断力(N)

4.6 評価条件

「4.5 評価方法」に用いる評価条件を表4-5に示す。

表4-5 耐震評価に用いる評価条件(1/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				6	
共通	G	kN	扉重量	14.12	
	k_H	—	水平震度	1.62	
	k_{UD}	—	鉛直震度	0.79	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	837.5	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1226	
	W_1	N	スラスト荷重	25270	
	F_1	N	転倒力	28700	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	570
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	109
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジピンの作用点間距離	33.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	108
		τ	N/mm ²	せん断応力度	19
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
τ		N/mm ²	せん断応力度	61	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	105
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	6
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	5
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
σ_t		N/mm ²	引張応力度	7	

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(2/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				6	
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	14.32	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	3	
	T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	26870	
	Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	29720	
	T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容引張耐力	67315	
	Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの 短期許容せん断耐力	58068	
固有 振動数	芯材	L	cm	梁長さ	108.6
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	4180
		γ_m	kg/cm	質量分布	4.07
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kg/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	-	ポアソン比	—

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(3/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				11	
共通	G	kN	扉重量	7.65	
	k_H	—	水平震度	1.90	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.34	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	592.5	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1677	
	W_1	N	スラスト荷重	17900	
	F_1	N	転倒力	13590	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	320
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	86
		τ	N/mm ²	せん断応力度	5
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジピンの作用点間距離	33.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	51
		τ	N/mm ²	せん断応力度	9
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
τ		N/mm ²	せん断応力度	36	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	2
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	61.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	37
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	50
		τ	N/mm ²	せん断応力度	6
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	2
σ_t		N/mm ²	引張応力度	24	

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(4/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				11	
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	6.18	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	8	
	T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	4865	
	Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	5791	
	T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張耐力	34073	
	Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断耐力	25826	
固有振動数	芯材	L	cm	梁長さ	94.5
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	1380
		γ_m	kg/cm	質量分布	2.62
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kg/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(5/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				12	
共通	G	kN	扉重量	17.85	
	k_H	—	水平震度	1.90	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.34	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	1197.5	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1226	
	W_1	N	スラスト荷重	41770	
	F_1	N	転倒力	57760	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	480
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	84
		τ	N/mm ²	せん断応力度	4
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジピンの作用点間距離	36.5
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	236
		τ	N/mm ²	せん断応力度	37
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4
τ		N/mm ²	せん断応力度	114	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	6
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	96.1
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	8
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	110
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	8
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1
	カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	4
σ_t		N/mm ²	引張応力度	9	

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(6/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				12	
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	15.69	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	7	
	T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	20760	
	Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	22470	
	T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張耐力	67315	
	Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断耐力	58068	
固有振動数	芯材	L	cm	梁長さ	196.2
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	4180
		γ_m	kg/cm	質量分布	2.85
	扉板	t	cm	扉板厚さ	—
		a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)	—
		b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)	—
		E	kgf/cm ²	ヤング率	—
		γ	kg/cm ³	単位体積の重さ	—
		ν	—	ポアソン比	—

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(7/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				13 (大扉)	
共通	G	kN	扉重量	79.43	
	k_H	—	水平震度	2.42	
	k_{UD}	—	鉛直震度	1.75	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	1273	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1992	
	W_1	N	スラスト荷重	218400	
	F_1	N	転倒力	235700	
ヒンジ部	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	600
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	97
		τ	N/mm ²	せん断応力度	7
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジピンの作用点間距離	61
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	111
		τ	N/mm ²	せん断応力度	25
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	8
τ		N/mm ²	せん断応力度	72	
カンヌキ部	共通	n_2	本	カンヌキの本数	—
	カンヌキ	L_5	mm	カンヌキの突出長さ	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
	カンヌキ受けピン	L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	—
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
		τ	N/mm ²	せん断応力度	—
カンヌキ受けボルト	n_b	本	カンヌキ受けボルトの本数	—	
	σ_t	N/mm ²	引張応力度	—	
扉固定部	扉付固定ボルト	n_c	本	扉付固定ボルトの本数	11
		τ	N/mm ²	せん断応力度	72
	枠付固定ボルト	A	mm ²	枠付固定ボルトの断面積	245
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	72
	ブラケット	A	mm ²	ブラケットの断面積	1521
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	—
	τ	N/mm ²	せん断応力度	12	

表 4-5 耐震評価に用いる評価条件(8/8)

対象部位	記号	単位	定義	水密扉 No.	
				13 (大扉)	
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	24.03	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	29	
	T_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力	18260	
	Q_d	N	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力	20210	
	T_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張耐力	57575	
	Q_a	N	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断耐力	40302	
固有振動数	扉板 (開放)	L	cm	梁長さ	203.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		I	cm ⁴	断面二次モーメント	32950
		γ_m	kg/cm	質量分布	39.90
	扉板 (閉止)	t	cm	扉板厚さ	11.5
		a	cm	2 隣辺の長さ (扉の幅)	203.0
		b	cm	2 隣辺の長さ (扉の高さ)	260.0
		E	kgf/cm ²	ヤング率	2.09×10^6
		γ	kg/cm ³	単位体積の重さ	0.013
		ν	—	ポアソン比	0.3

5. 評価結果

水密扉の評価結果を表 5-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、すべての水密扉において、発生応力度又は荷重が許容限界値を下回る。

表 5-1 評価結果(1/2)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ² , N)	許容限界値 (N/mm ² , N)	発生値/ 許容限界値	備考
6	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	110	215	0.52	組合せ
		ヒンジピン*1	113	345	0.33	組合せ
		ヒンジボルト	61	420	0.15	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	7	345	0.03	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	5	345	0.02	曲げ
		カンヌキ受けボルト	7	728	0.01	引張
	アンカーボルト*3		29720	58068	0.52	せん断
11	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	87	235	0.38	組合せ
		ヒンジピン*1	54	345	0.16	組合せ
		ヒンジボルト	36	420	0.09	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	38	205	0.19	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	50	345	0.15	曲げ
		カンヌキ受けボルト	24	728	0.04	引張
	アンカーボルト*3		5791	25826	0.23	せん断

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

表 5-1 評価結果(2/2)

水密扉 No.	評価対象部位		発生値 (応力度, 荷重) (N/mm ² , N)	許容限界値 (N/mm ² , N)	発生値/ 許容限界値	備考
12	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	85	215	0.40	組合せ
		ヒンジピン*1	245	345	0.72	組合せ
		ヒンジボルト	114	420	0.28	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	9	205	0.05	組合せ
		カンヌキ受けピン*2	8	345	0.03	曲げ
		カンヌキ受けボルト	9	728	0.02	引張
	アンカーボルト*3		22470	58068	0.39	せん断
13 (大扉)	ヒンジ 部	ヒンジ板*1	98	205	0.48	組合せ
		ヒンジピン*1	120	345	0.35	組合せ
		ヒンジボルト	72	420	0.18	せん断
	カン ヌキ部	カンヌキ*1	—	—	—	—
		カンヌキ受けピン*2	—	—	—	—
		カンヌキ受けボルト	—	—	—	—
	扉固定 部	扉付固定ボルト	72	420	0.18	せん断
		枠付固定ボルト	72	728	0.10	引張
		ブラケット*1	12	135	0.09	せん断
	アンカーボルト*3		20210	40302	0.51	せん断

注記*1：曲げ，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。

*2：曲げ及びせん断のうち，評価結果が厳しい方の値を記載する。

*3：引張，せん断及び組合せのうち，評価結果が最も厳しい値を記載する。