

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機	設計及び工事計画審査資料
資料番号	KK6 添-3-015-10 改0
提出年月日	2023年11月24日

VI-3-別添 3-2-2 水密扉の強度計算書（溢水）

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	5
2.3	構造計画	22
2.4	評価方針	23
2.5	適用規格・基準等	25
2.6	記号の説明	26
3.	強度評価方法	27
3.1	評価対象部位	27
3.2	荷重及び荷重の組合せ	30
3.2.1	荷重の設定	30
3.3	許容限界	31
3.3.1	使用材料	31
3.3.2	許容限界	32
3.4	評価方法	34
3.4.1	応力算定	34
3.4.2	断面検定	43
3.5	評価条件	46
3.6	評価結果	47

1. 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、溢水防護設備である原子炉建屋水密扉、タービン建屋水密扉、コントロール建屋水密扉、屋外のフィルタベントエリア水密扉及び燃料移送ポンプエリア水密扉（以下「水密扉」という。）が、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持することを説明するものである。

「7号機設備、6,7号機共用設備」の耐震性に関する説明は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事の計画のV-2-10-2-3-1「水密扉の耐震性についての計算書」による。

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 (1/3) 検討対象水密扉一覧

水密扉No.	扉名称	設置高さ
		T. M. S. L.
RB-B3F-1	サプレッションプール浄化系ポンプ, 原子炉冷却材浄化系非再生熱交換器漏洩試験用ラック室 水密扉	-8.2m
RB-B3F-2	原子炉隔離時冷却系ポンプ・蒸気タービン室 水密扉	-8.2m
RB-B3F-3	高压炉心注水系(B)ポンプ室 水密扉	-8.2m
RB-B3F-4	高压炉心注水系(C)ポンプ室 水密扉	-8.2m
RB-B3F-5	残留熱除去系 [] ポンプ・熱交換器室 水密扉	-8.2m
RB-B3F-6	残留熱除去系 [] ポンプ・熱交換器室 水密扉	-8.2m
RB-B3F-7	残留熱除去系 [] ポンプ・熱交換器室 水密扉	-8.2m
RB-B3F-8	水圧制御ユニット室, 計装ラック, 制御棒駆動機構マスターコントロール室 水密扉1	-8.2m
RB-B3F-9	水圧制御ユニット室, 計装ラック, 制御棒駆動機構マスターコントロール室 水密扉2	-8.2m
RB-B3F-10	水圧制御ユニット室, 計装ラック室 水密扉1	-8.2m
RB-B3F-11	水圧制御ユニット室, 計装ラック室 水密扉2	-8.2m
RB-B2F-1	高压代替注水系ポンプ室 水密扉	-1.7m
RB-B1F-1	[]	4.8m
RB-B1F-2	[]	4.8m
RB-B1F-3	[]	4.8m
RB-B1F-4	[]	4.8m
RB-B1F-5	[]	4.8m
RB-B1F-6	[]	4.8m
RB-B1F-7	[]	4.8m
RB-1F-1	[]	12.0m
RB-1F-2	[]	12.0m
RB-1F-3	[]	12.0m
RB-2F-1	燃料プール冷却浄化系熱交換器室, 燃料プール冷却浄化系弁室 水密扉	18.1m
RB-3F-1	非常用ディーゼル発電機 [] 補機室 水密扉	23.5m
RB-3F-2	原子炉建屋地上3階南北連絡通路 水密扉	23.5m

表 2-1 (2/3) 検討対象水密扉一覧

水密扉No.	扉名称	設置高さ
		T. M. S. L.
TB-B2F-1	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉	-4.2m
TB-B2F-2	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	-4.8m
TB-B2F-3	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	-4.8m
TB-B2F-4	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下2階～配管トレンチ）	-5.1m
TB-B2F-5	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下2階～廃棄物処理建屋地下3階）	-5.1m
TB-B2F-6	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室 水密扉1	-5.1m
TB-B2F-7	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室 水密扉2	-5.1m
TB-MB2F-1	タービン建屋地下中2階南西階段室 水密扉	-0.9m
TB-MB2F-2	タービン建屋地下中2階北西階段室 水密扉	-1.1m
TB-MB2F-3	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉1	-1.1m
TB-MB2F-4	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉2	-1.1m
TB-MB2F-5	循環水系配管メンテナンス室 水密扉1	-1.1m
TB-MB2F-6	循環水系配管メンテナンス室 水密扉2	-1.1m
TB-B1F-1	原子炉補機冷却海水系ポンプ室 水密扉1	3.5m
TB-B1F-2	原子炉補機冷却海水系ポンプ室 水密扉2	3.5m
TB-B1F-3	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	3.5m
TB-B1F-4	タービン建屋地下1階南西階段室 水密扉	4.9m
TB-B1F-5	タービン建屋地下1階北階段室 水密扉	3.5m
TB-B1F-6	タービン建屋地下1階北西階段室 水密扉	4.9m
TB-B1F-7	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	3.5m
TB-1F-1		12.3m
TB-1F-2		12.3m
TB-1F-3		12.3m
TB-1F-4		12.3m
TB-1F-5		12.3m
TB-1F-6		12.3m
TB-1F-7		12.3m

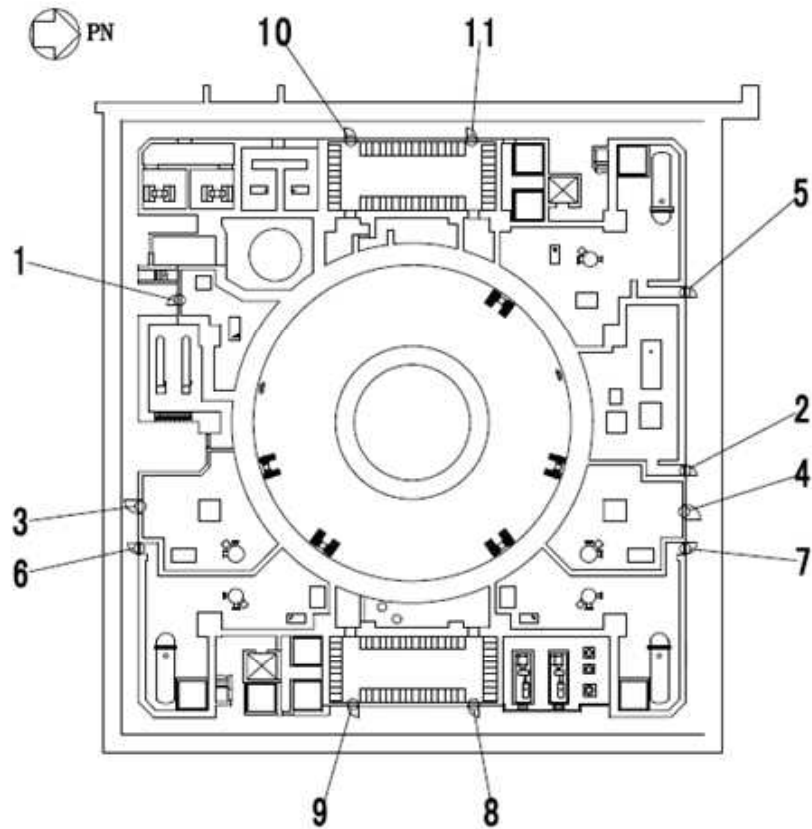
K6 ① VI-3-別添 3-2-2 R0

表 2-1 (3/3) 検討対象水密扉一覧

水密扉No.	扉名称	設置高さ
		T. M. S. L.
CB-B2F-1	6号機常用電気品室 水密扉	-1.7m
CB-B2F-2	6号機コントロール建屋地下2階西階段室 水密扉	-3.8m
CB-B2F-3	6号機換気空調補機非常用冷却水系冷凍機(B)(D)室 水密扉	-4.0m
CB-MB2F-1	6号機計測制御電源盤区域(C)送風機室 水密扉	1.0m
CB-B1F-1	6号機コントロール建屋地下1階空調ダクト, ケーブル処理室 水密扉	6.5m
CB-B1F-2	6号機計測制御電源盤区域(A)送・排風機室 水密扉	6.5m
CB-1F-1	6号機プロセス計算機室 水密扉	12.3m
Y-1	フィルタベントエリア 水密扉	12.3m
Y-2	燃料移送ポンプエリア (B系) 水密扉	12.0m

2.2 配置概要

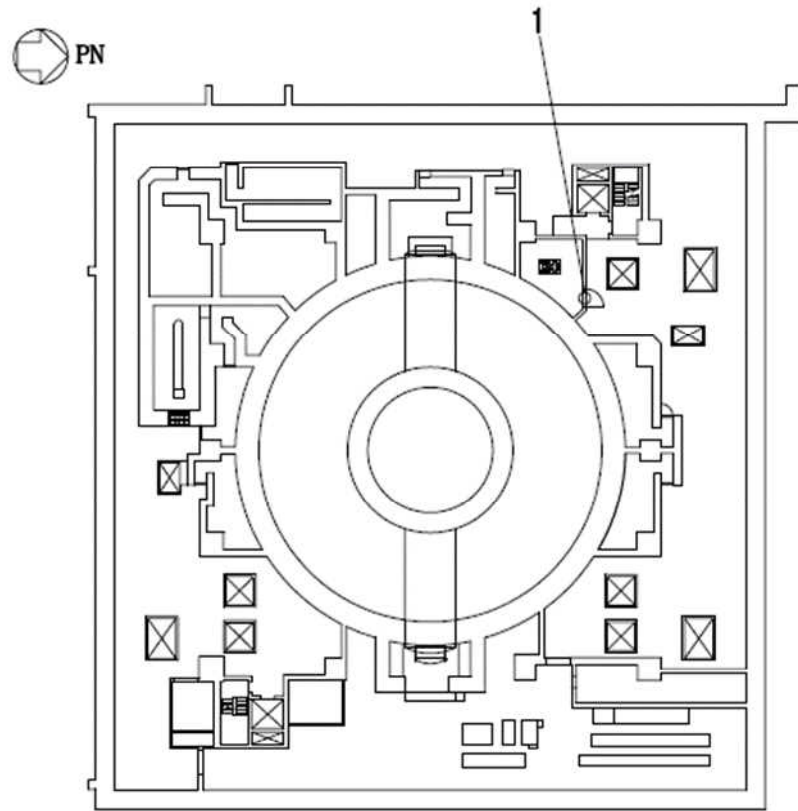
原子炉建屋水密扉の設置位置図を図2-1に、タービン建屋水密扉の設置位置図を図2-2に、コントロール建屋水密扉の設置位置図を図 2-3 に、フィルタベントエリア水密扉の設置位置図を図 2-4 に、燃料移送ポンプエリア水密扉の設置位置図を図 2-5 に示す。



RB-B3F

1	サプレッションプール浄化系ポンプ，原子炉冷却材浄化系非再生熱交換器 漏洩試験用ラック室 水密扉
2	原子炉隔離時冷却系ポンプ・蒸気タービン室 水密扉
3	高圧炉心注水系(B)ポンプ室 水密扉
4	高圧炉心注水系(C)ポンプ室 水密扉
5	残留熱除去系 ポンプ・熱交換器室 水密扉
6	残留熱除去系 ポンプ・熱交換器室 水密扉
7	残留熱除去系 ポンプ・熱交換器室 水密扉
8	水圧制御ユニット室，計装ラック，制御棒駆動機構マスターコントロール 室 水密扉 1
9	水圧制御ユニット室，計装ラック，制御棒駆動機構マスターコントロール 室 水密扉 2
10	水圧制御ユニット室，計装ラック室 水密扉 1
11	水圧制御ユニット室，計装ラック室 水密扉 2

図 2-1 (1/6) 原子炉建屋水密扉設置位置図 (地下 3 階)



RB-B2F

1	高圧代替注水系ポンプ室 水密扉
---	-----------------

図 2-1 (2/6) 原子炉建屋水密扉設置位置図 (地下 2 階)

K6 ① VI-3-別添 3-2-2 R0

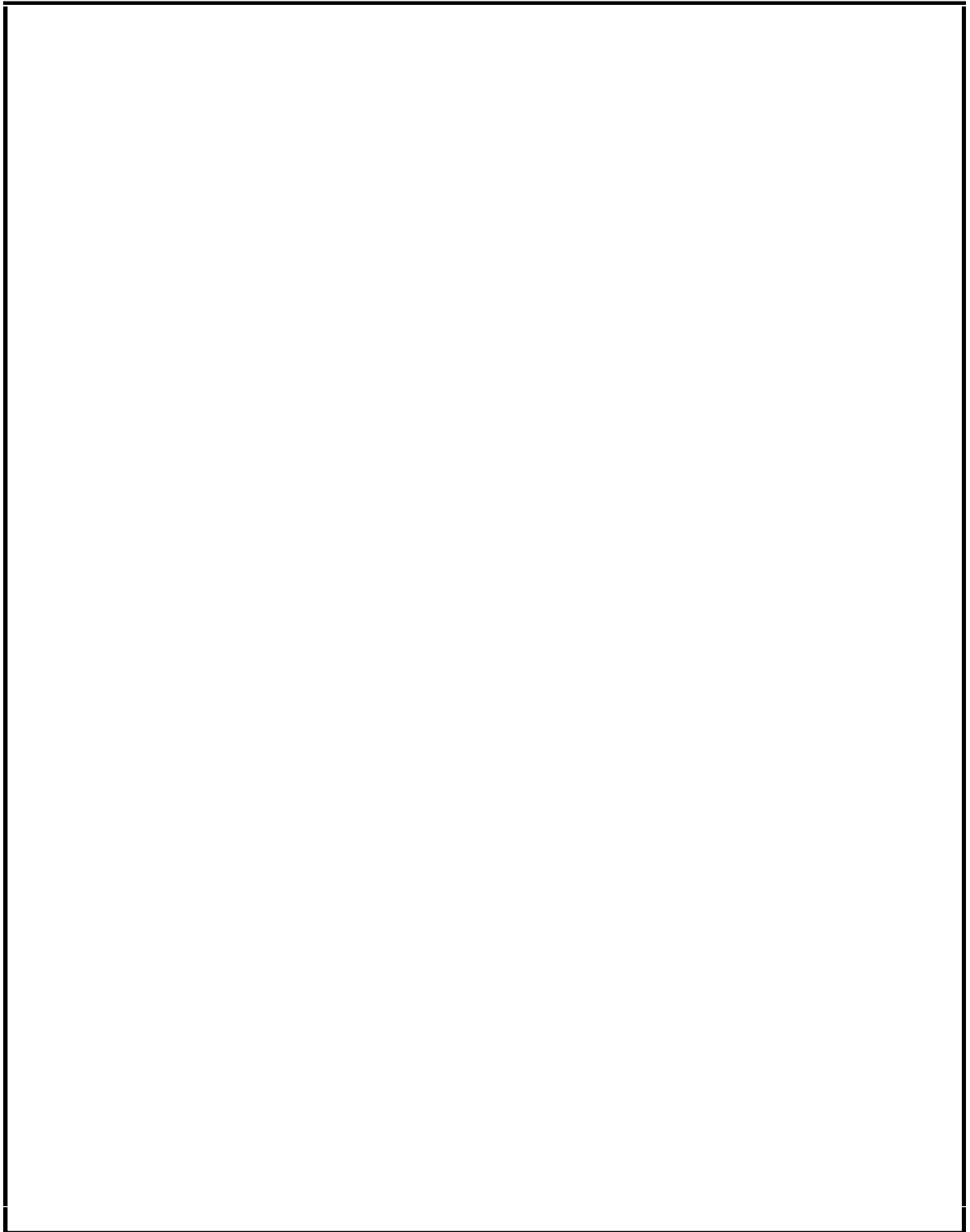


図 2-1 (3/6) 原子炉建屋水密扉設置位置図 (地下 1 階)

K6 ① VI-3-別添 3-2-2 R0

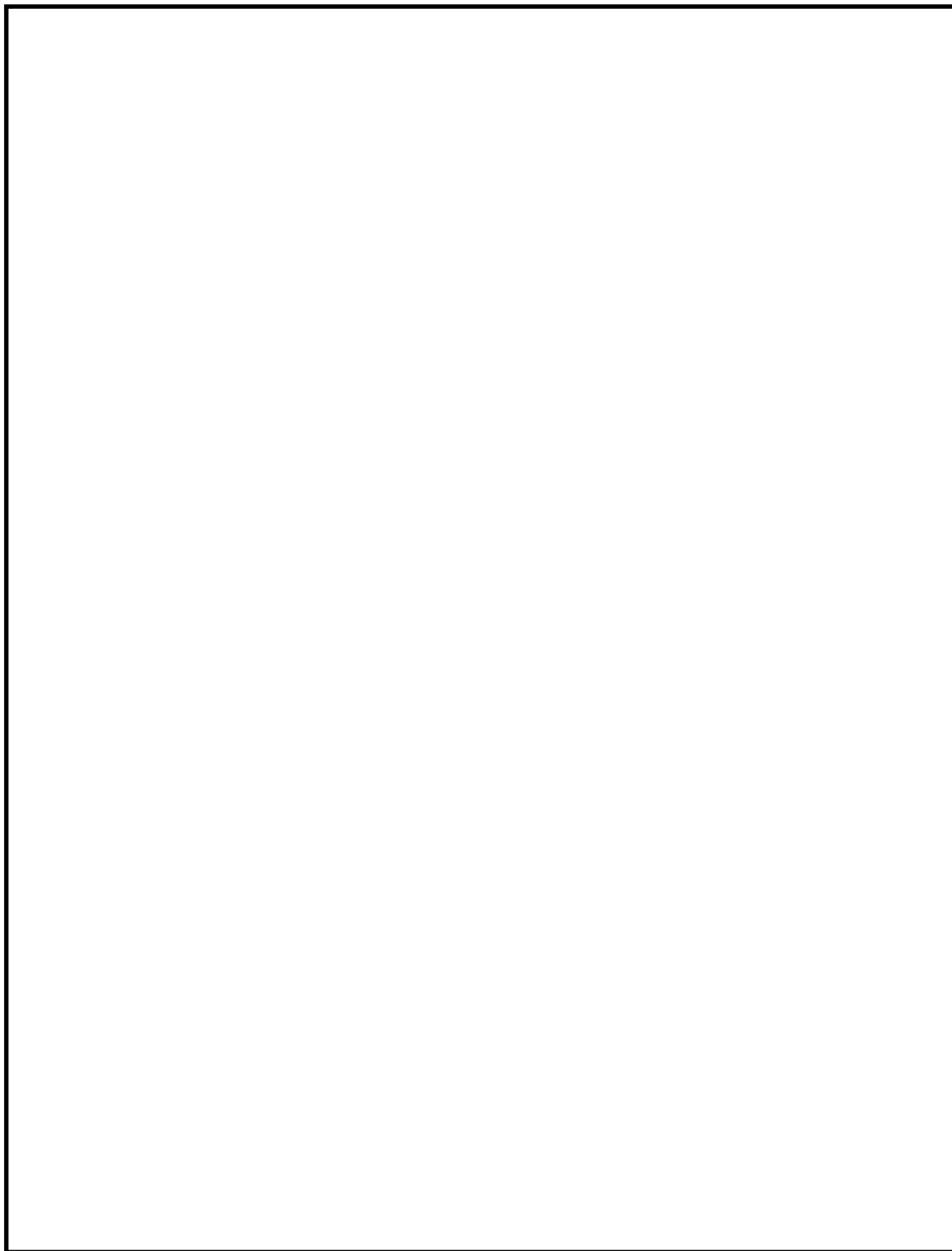
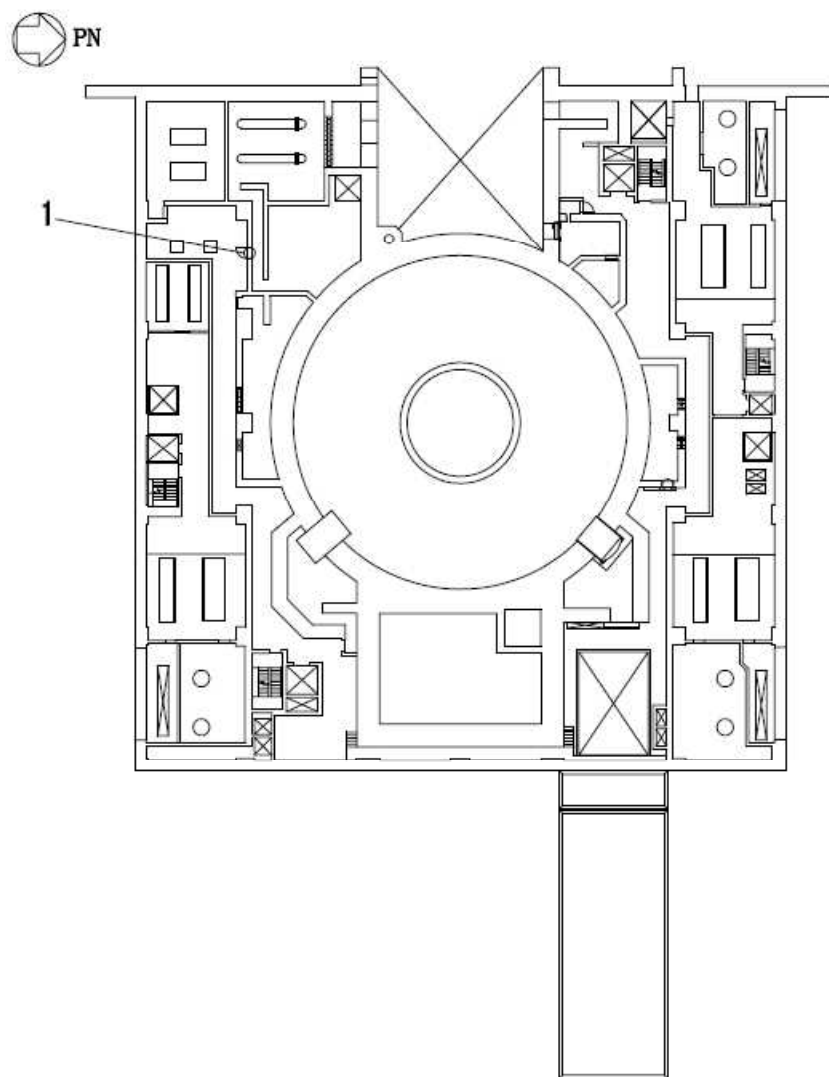


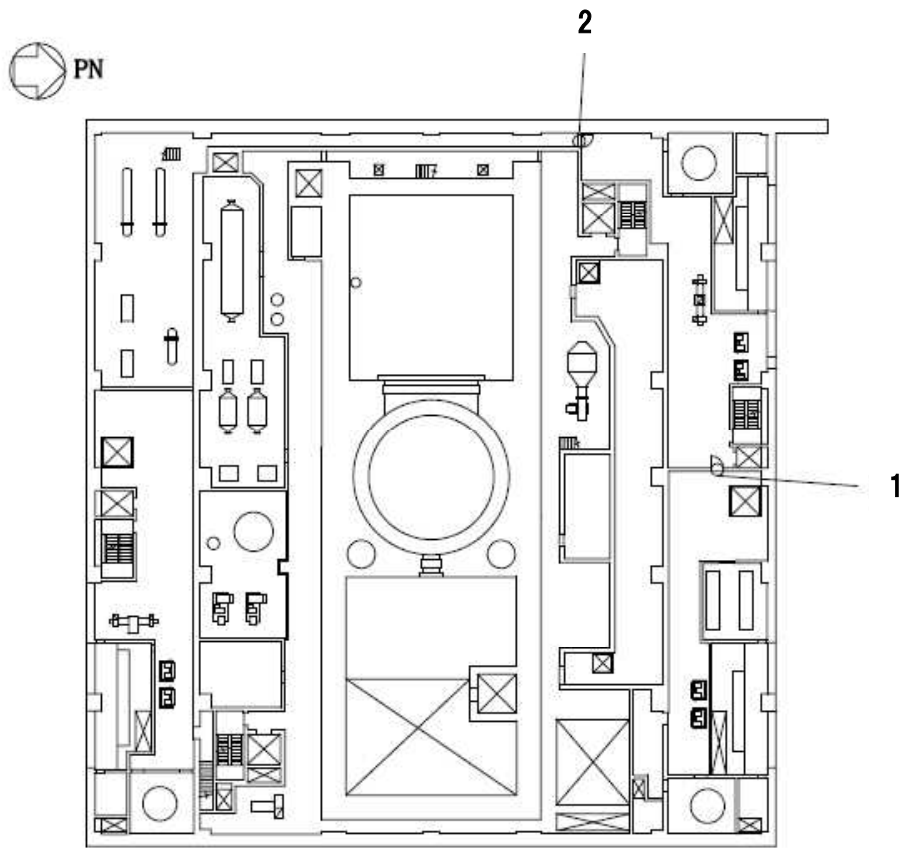
図 2-1 (4/6) 原子炉建屋水密扉設置位置図 (地上 1 階)



RB-2F

1	燃料プール冷却浄化系熱交換器室, 燃料プール冷却浄化系弁室 水密扉
---	-----------------------------------

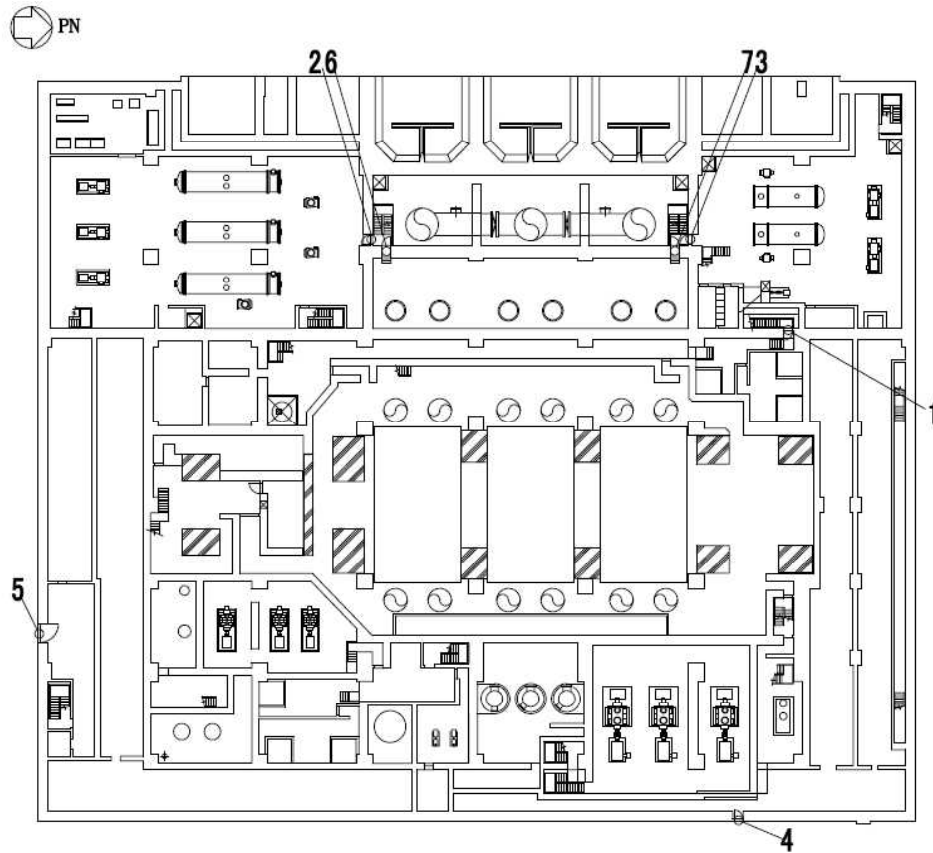
図 2-1 (5/6) 原子炉建屋水密扉設置位置図 (地上 2 階)



RB-3F

1	非常用ディーゼル発電機 補機室 水密扉
2	原子炉建屋地上 3 階南北連絡通路 水密扉

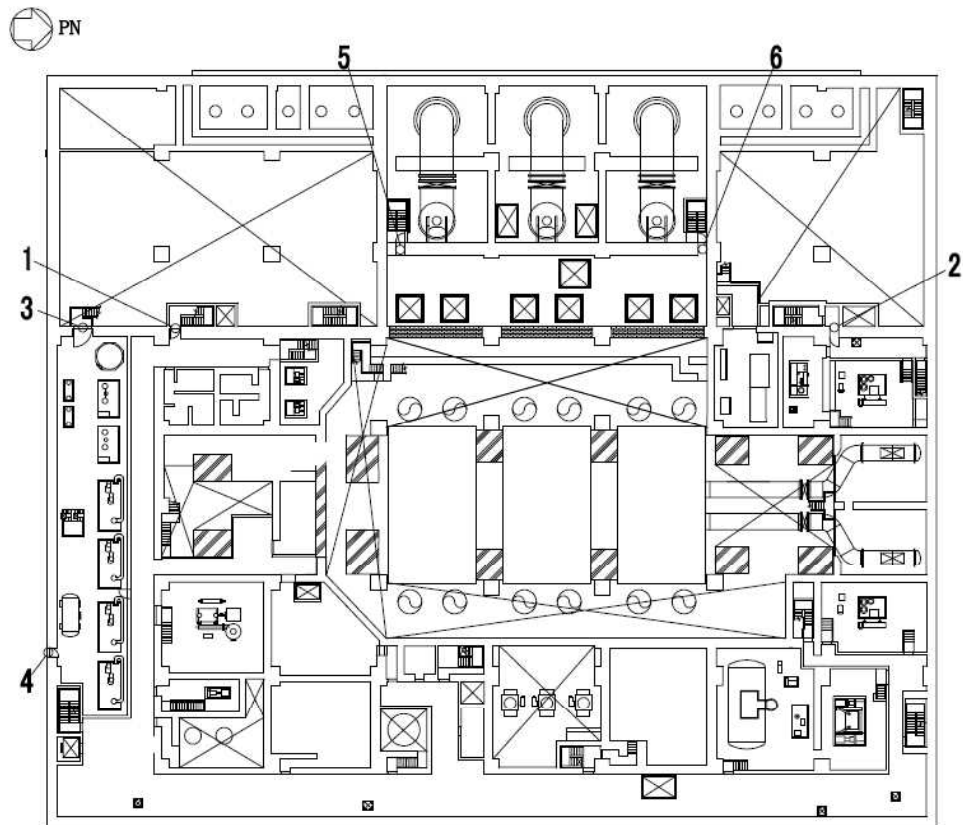
図 2-1 (6/6) 原子炉建屋水密扉設置位置図 (地上 3 階)



TB-B2F

1	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉
2	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉
3	 原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉
4	建屋間連絡水密扉 (タービン建屋地下2階～配管トレンチ)
5	建屋間連絡水密扉 (タービン建屋地下2階～廃棄物処理建屋地下3階)
6	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉 1
7	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉 2

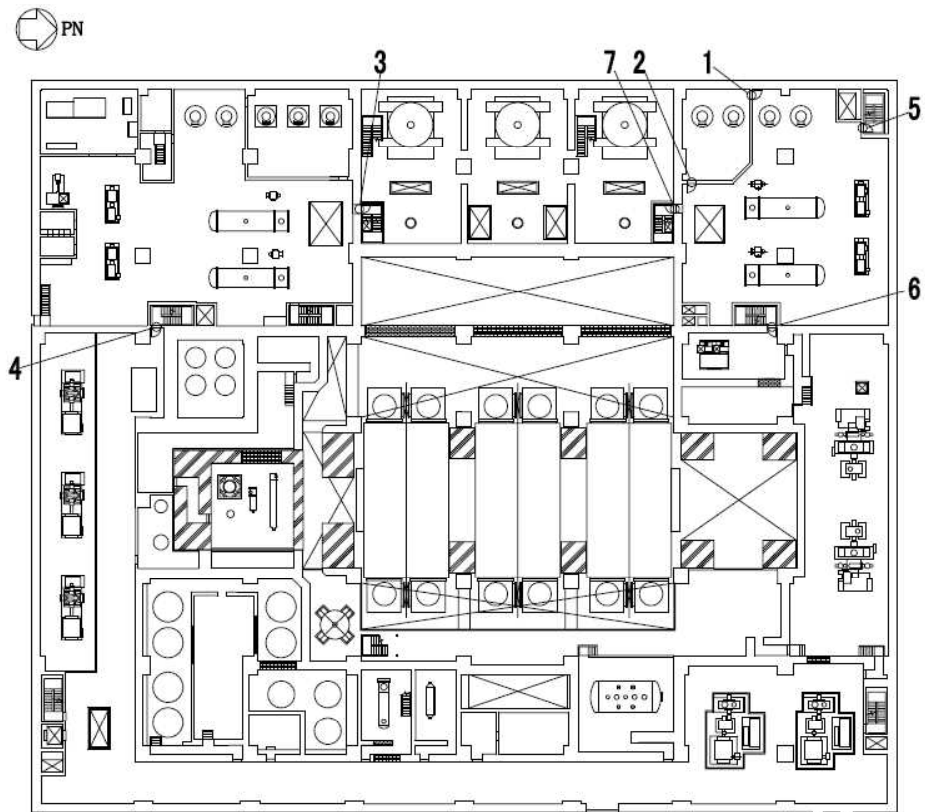
図 2-2 (1/4) タービン建屋水密扉設置位置図 (地下2階)



TB-MB2F

1	タービン建屋地下中 2 階南西階段室 水密扉
2	タービン建屋地下中 2 階北西階段室 水密扉
3	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉 1
4	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉 2
5	循環水系配管メンテナンス室 水密扉 1
6	循環水系配管メンテナンス室 水密扉 2

図 2-2 (2/4) タービン建屋水密扉設置位置図 (地下中 2 階)



TB-B1F

1	原子炉補機冷却海水系ポンプ室 水密扉 1
2	原子炉補機冷却海水系ポンプ室 水密扉 2
3	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉
4	タービン建屋地下1階南西階段室 水密扉
5	タービン建屋地下1階北階段室 水密扉
6	タービン建屋地下1階北西階段室 水密扉
7	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉

図2-2 (3/4) タービン建屋水密扉設置位置図 (地下1階)

K6 ① VI-3-別添 3-2-2 R0

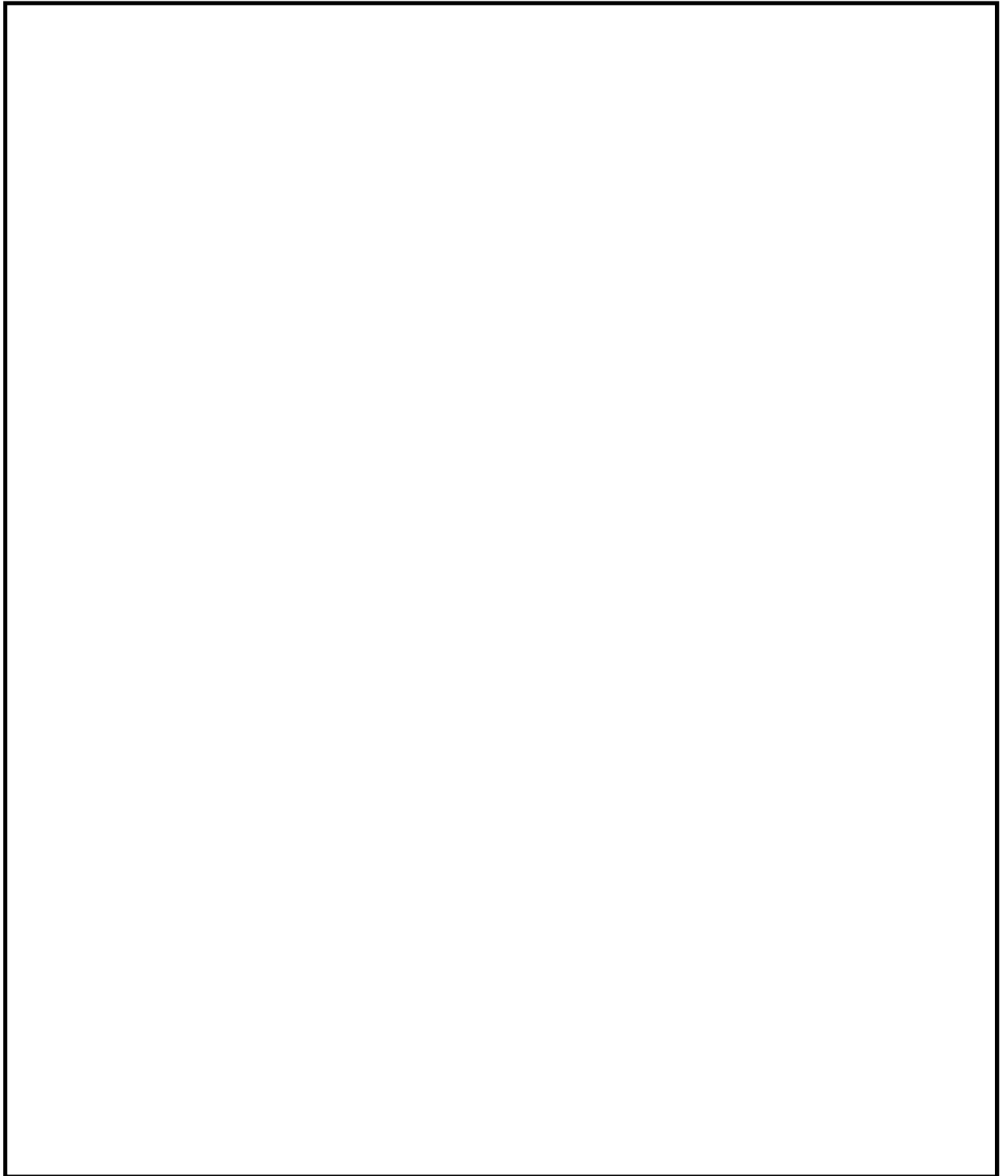
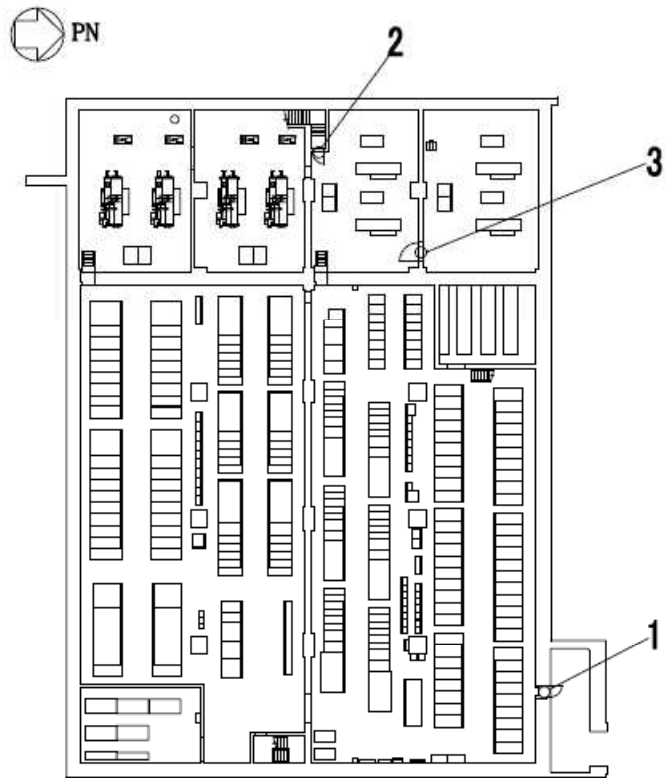


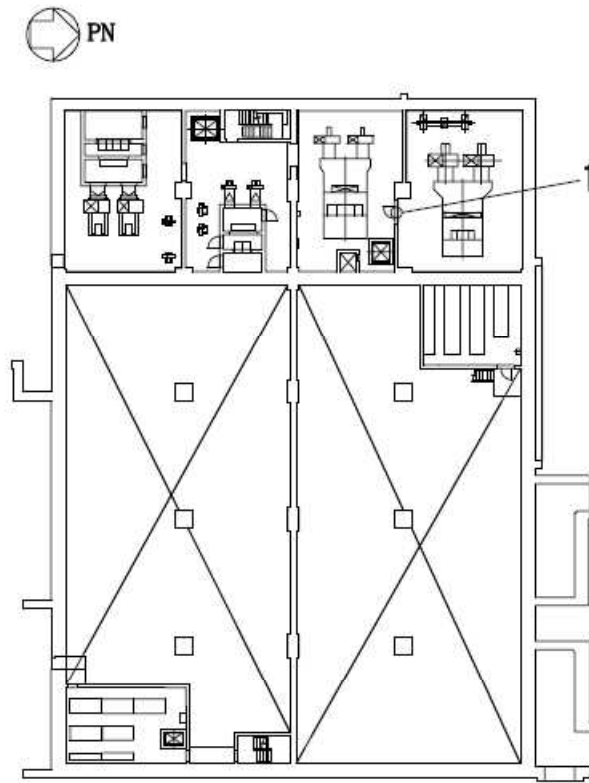
図 2-2 (4/4) タービン建屋水密扉設置位置図 (地上 1 階)



CB-B2F

1	6号機常用電気品室 水密扉
2	6号機コントロール建屋地下2階西階段室 水密扉
3	6号機換気空調補機非常用冷却水系冷凍機 (B) (D) 室 水密扉

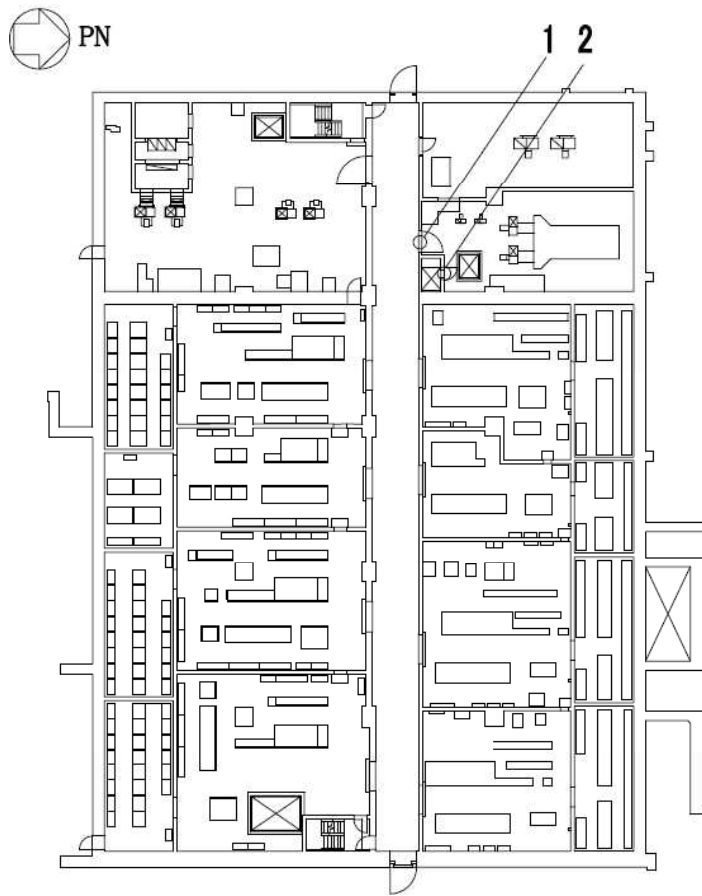
図 2-3 (1/4) コントロール建屋水密扉設置位置図 (地下2階)



CB-MB2F

1	6号機計測制御電源盤区域 (C) 送風機室 水密扉
---	---------------------------

図 2-3 (2/4) コントロール建屋水密扉設置位置図 (地下中 2 階)



CB-B1F

1	6号機コントロール建屋地下1階空調ダクト，ケーブル処理室 水密扉
2	6号機計測制御電源盤区域 (A) 送・排風機室 水密扉

図 2-3 (3/4) コントロール建屋水密扉設置位置図 (地下1階)

K6 ① VI-3-別添 3-2-2 R0

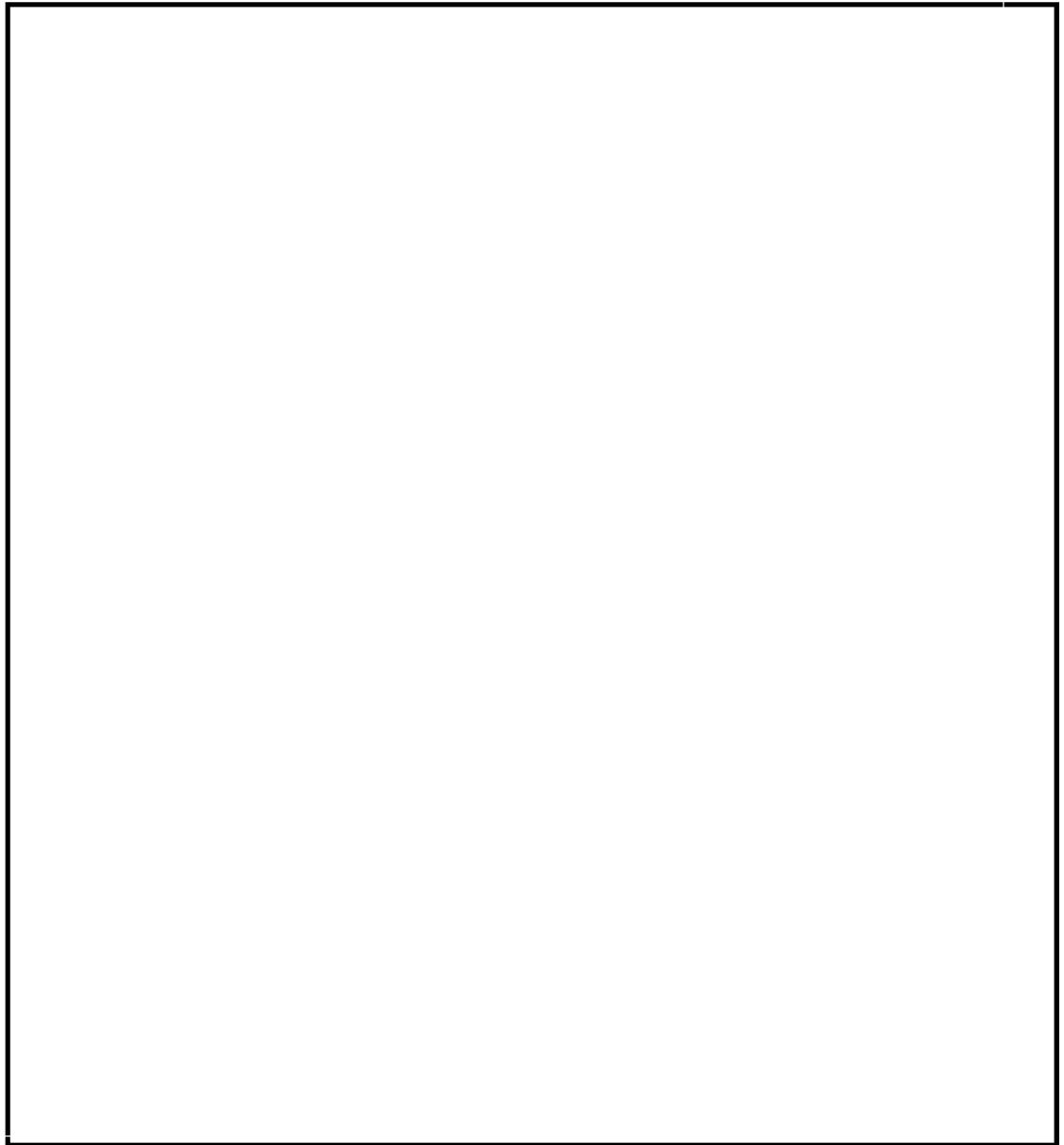
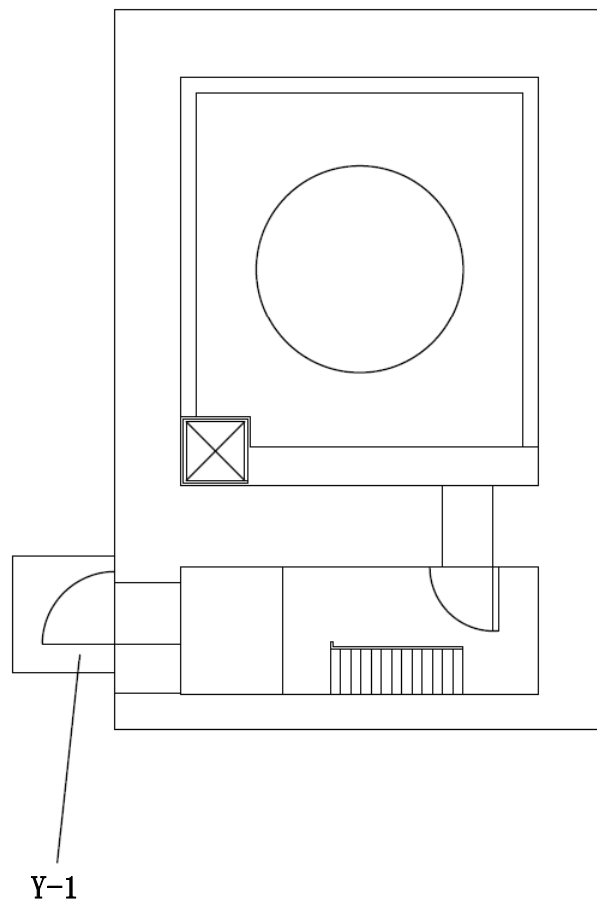
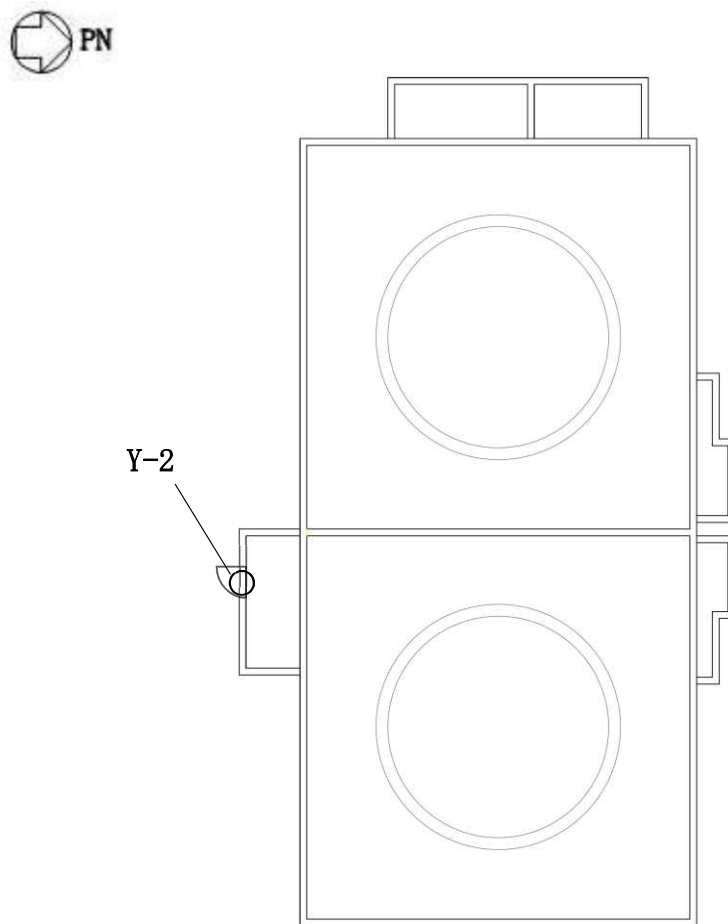


図 2-3 (4/4) コントロール建屋水密扉設置位置図 (地上 1 階)



Y-1	フィルタベントエリア 水密扉
-----	----------------

図 2-4 フィルタベントエリア水密扉設置位置図



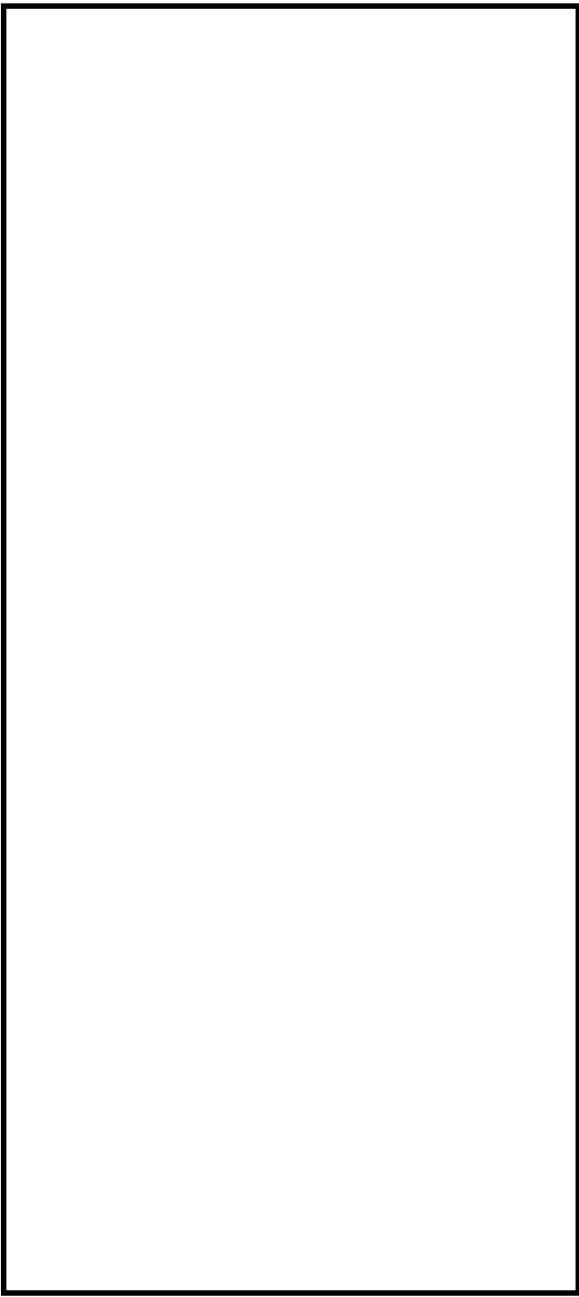
Y-2	燃料移送ポンプエリア(B系) 水密扉
-----	--------------------

図 2-5 燃料移送ポンプエリア水密扉設置位置図

2.3 構造計画

水密扉は、片開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、閉鎖状態において締付装置により固定され水密性を確保しており、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。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(片開型)

計画の概要		概略構造図
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、扉閉止時には、締付装置により扉と扉枠が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躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

2.4 評価方針

水密扉の強度評価は、VI-3-別添 3-2-1「溢水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、水密扉の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内に収まることを、各設備の「3. 強度評価方法」に示す方法により、「3.5 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、応力評価の確認結果を「3.6 評価結果」にて確認する。

水密扉の強度評価フローを図 2-6 に示す。水密扉の強度評価においては、その構造を踏まえ、発生を想定する溢水による静水圧荷重により、水密扉へ作用する荷重方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、静水圧荷重が作用する場合を考慮する。強度評価においては、荷重を静的に作用させる静的解析により、扉板、芯材、締付装置及びアンカーボルトに生じる応力又は応力度を算定し、許容限界との比較を行う。

なお、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板厚直交方向に配置されている場合
- ・ 45° 方向配置：アンカーボルトが壁の板厚方向から 45° 傾斜して配置されている場合
- ・ 90° 方向配置：アンカーボルトが壁の板厚方向に配置されている場合

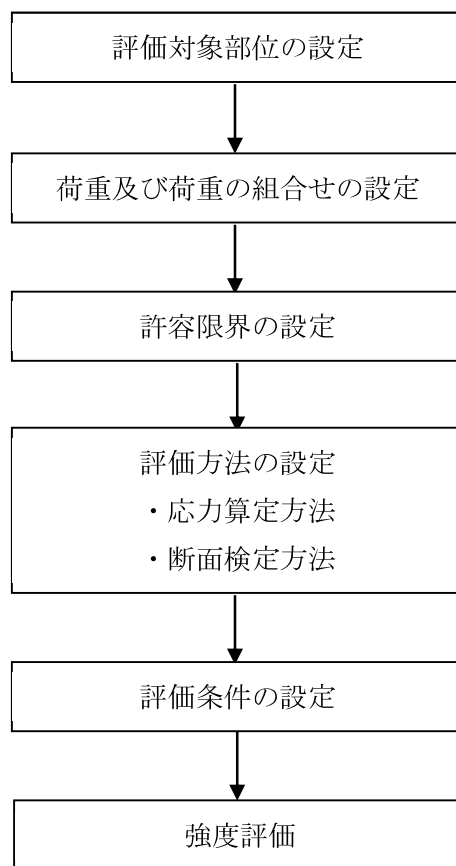


図 2-6 水密扉の強度評価フロー

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・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー
((社)日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 鋼構造設計規準ー許容応力度設計法ー((社)日本建築学会, 2005 改定)
(以下「S規準」という。)
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説((社)日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 日本産業規格(J I S)

2.6 記号の説明

水密扉の強度評価に用いる記号を表 2-3 に示す。

表 2-3 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
h	mm	当該扉の浸水深さ
ρ_0	t/m ³	水の密度
g	m/s ²	重力加速度
L_{PL}	mm	扉板の短辺長さ
t	mm	扉板の厚さ
Z	mm ³	断面係数
w_1	kN/m ²	扉上端に作用する静水圧荷重
w_2	kN/m ²	扉下端に作用する静水圧荷重
w'	kN/m	芯材に作用する等分布荷重
b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅
b'	mm	締付装置と締付装置受けピンが接する長さ
L	mm	芯材の支持スパン
R_p	kN	締付装置に作用する荷重
P_0	kN	設計水圧荷重
n_2	本	締付装置の本数
L_5	mm	締付装置の突出長さ
L_p	mm	締付装置受けピンの軸支持間距離
T	kN	締付装置受けボルトに作用する荷重
n_b	本	締付装置受けボルトの本数
A	mm ²	断面積
A_s	mm ²	せん断断面積
L_1	mm	躯体開口部の高さ
L_2	mm	躯体開口部の幅
M	kN・m	曲げモーメント
Q	kN	せん断力
σ	N/mm ²	曲げ応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
σ_t	N/mm ²	引張応力度
Q_d	kN	アンカーボルト1本当りのせん断力
T_d	kN	アンカーボルト1本当りの引張力
Q_a	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力
T_a	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容引張力
n	本	片側（左右もしくは上下）のアンカーボルト本数

3. 強度評価方法

3.1 評価対象部位

水密扉の評価対象部位は、「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。

水密扉を閉める方向に外部から生じる静水圧荷重は、扉板から芯材を介し扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材及びアンカーボルトとする。

水密扉を開く方向に内部から生じる静水圧荷重は、扉板から芯材に伝わり、締付装置部（締付装置、締付装置受けピン、締付装置受けボルト）に伝達され、扉枠及び扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の躯体に伝達されることから、評価対象部位は扉板、芯材、締付装置部及びアンカーボルトとする。

アンカーボルトについては、荷重を伝達する芯材の取付け方向又は扉板の辺長比を踏まえ、水平方向に芯材を配置する構造若しくは扉板の短辺方向へ支配的に荷重を伝達する構造である場合はヒンジ側及び扉開閉側のアンカーボルトを、鉛直方向に芯材を配置する場合は扉上部側及び扉下部側のアンカーボルトを評価対象部位として選定する。

なお、ヒンジは静水圧荷重の伝達経路とならないため、評価対象外とする。

また、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. RB-B3F-2, TB-B2F-2, TB-B2F-4, TB-1F-7, CB-B2F-2 及び Y-1 を抽出した。

水密扉に作用する荷重の作用図を図 3-1 に示す。

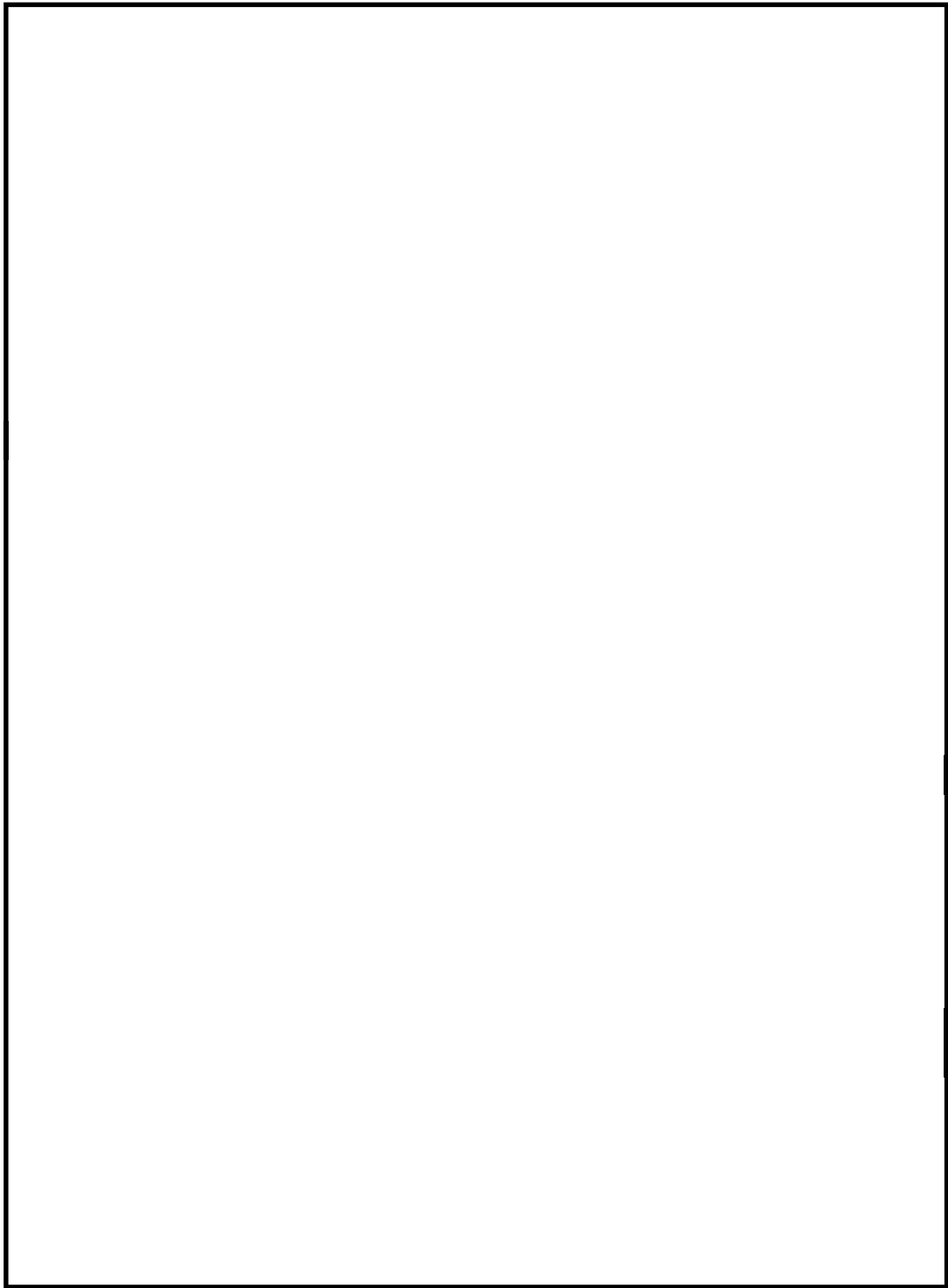
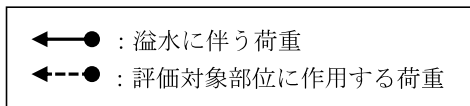


図 3-1(1/2) 水密扉に作用する荷重の作用図

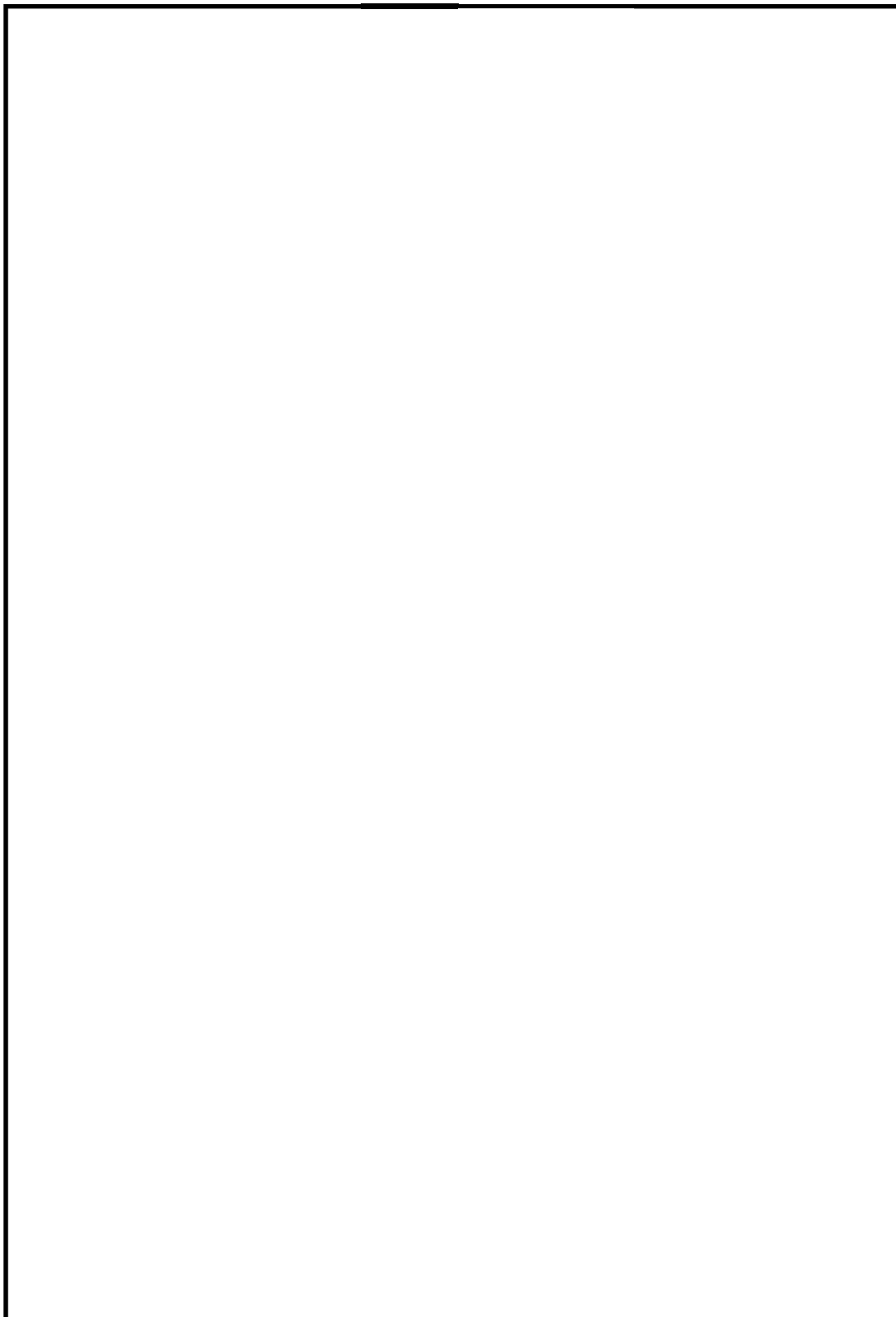
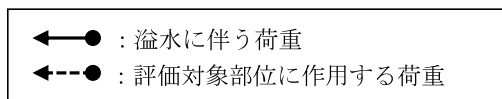


図 3-1 (2/2) 水密扉に作用する荷重の作用図

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 静水圧荷重(P_h)

溢水による静水圧荷重として、水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。溢水に伴う荷重は、対象とする水の密度に当該部分の水圧作用深さを乗じた次式により算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

ここで、溢水による浸水深さは、今後の溢水評価水位の変更の可能性も考慮し溢水評価水位に対し十分な保守性を持った水位を設定する。具体的には、建屋最下階等の溢水が最終的に滞留する区画（以下「最終滞留区画」という。）の水密扉について、水密扉の設計仕様（最大限界水位）を設定した。なお、最終滞留区画ではない溢水経路にある水密扉については、溢水評価水位にて評価を行うこととした。

(2) 荷重の組合せ

水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 3-2-1「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえて下記の通りに設定する。

P_h ：溢水による静水圧荷重 (kN/m²)

3.3 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、VI-3-別添 3-2-1「溢水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。

3.3.1 使用材料

水密扉を構成する、扉板、芯材、締付装置部及びアンカーボルトの使用材料を表 3-1 に示す。

表 3-1 扉板、芯材、締付装置部及びアンカーボルトの使用材料

評価対象部位		材質	仕様
扉板		SS400 SUS304	PL-9, 12, 19, 35 (mm)
芯材		SS400 SUS304	C-180×75×7×10.5 (mm) C-150×75×6.5×10 (mm) C-150×75×6 (mm) FB-38×75 (mm) FB-38×150 (mm)
締付装置部	締付装置	SUS304	径(mm) 35, 50, 60
	締付装置 受けピン	SUS304 SCM440	径(mm) 20, 40
	締付装置 受けボルト	SS400	φ 16, M16, M20
アンカーボルト		SS400 SUS304	φ 16, M16, M20

3.3.2 許容限界

(1) 扉板, 芯材, 締付装置部

鋼材の許容限界は, 「S 規準」を踏まえて表 3-2 の値とする。

表 3-2 鋼材の許容限界

材質*2	短期許容応力度(N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤40) *1	235	135
SUS304	205	118
SUS403	390	225
SCM440	686	396

注記*1: t は板厚(mm)を示す。

*2: 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) 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、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）」に基づき算定した，表3-3の値とする。

なお，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耐力及び付着力により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，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耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表3-3 静水圧荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容限界の算定値

水密扉No.	扉名称	許容耐力(kN/本)	
		せん断	引張
RB-B3F-2	原子炉隔離時冷却系ポンプ・蒸気タービン室 水密扉	16.6	82.9
TB-B2F-2	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	25.7	34.4
TB-B2F-4	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下2階～配管トレンチ）	13.1	21.2
TB-1F-7		22.3	39.9
CB-B2F-2	6号機コントロール建屋地下2階西階段室 水密扉	20.2	35.2
Y-1	フィルタベントエリア 水密扉	21.4	23.7

3.4 評価方法

水密扉の強度評価は、VI-3-別添 3-2-1 「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している評価式を用いる。

3.4.1 応力算定

(1) 扉板

扉板に生じる応力は、等分布荷重を受ける両端固定の一方向版として算定する。

この時、実際に作用する静水圧は台形分布もしくは、三角形分布であるが、扉最下部の最大静水圧が等分布に作用すると安全側に評価する。扉板に作用する荷重の例を図 3-2 に示す。

$$M = w_2 \cdot (L_{PL} \cdot 10^{-3})^2 / 12$$

ここで、 $w_2 = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$

w_2 : 扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m²)

M : 扉板に生じる最大曲げモーメント(kN・m/m)

L_{PL} : 扉板の短辺長さ(mm)

ρ_0 : 水の密度(t/m³)

g : 重力加速度(m/s²)

h : 当該扉の浸水深さ(mm)

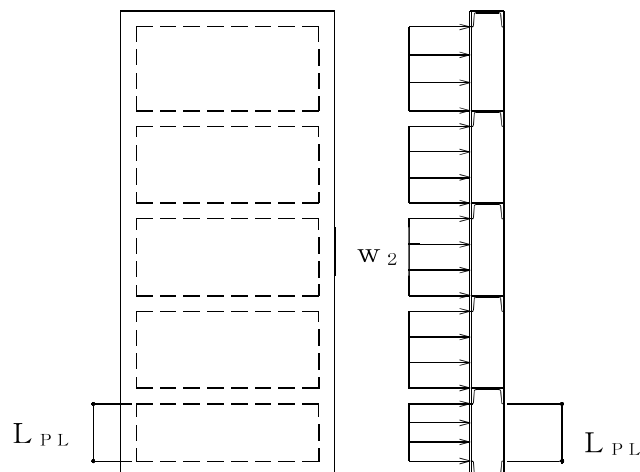


図 3-2 扉板に生じる応力の例

(2) 芯材

芯材に生じる応力は、等分布荷重を受ける両端単純支持の梁として算定する。なお、芯材の取付け方向は、水平・鉛直の2方向があるが、両者とも扉最下部の最大静水圧に、芯材の支配幅（＝間隔）を乗じた荷重が等分布に作用すると安全側に評価する。芯材に作用する荷重の例を図3-3に示す。

$$M = w' \cdot (L \cdot 10^{-3})^2 / 8$$

$$Q = w' \cdot L \cdot 10^{-3} / 2$$

ここで、 $w' = w_2 \cdot b \cdot 10^{-3}$

w' : 芯材に作用する等分布荷重(kN/m)

M : 芯材に生じる最大曲げモーメント(kN・m)

Q : 芯材に生じる最大せん断力(kN)

L : 芯材の支持スパン(mm)

w_2 : 扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m²)

b : 芯材に作用する荷重の負担幅(mm)

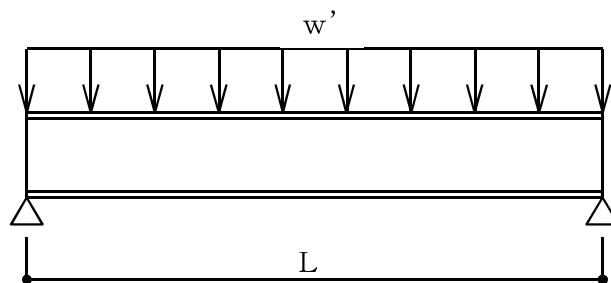


図3-3 芯材に生じる応力の例

(3) 締付装置部

締付装置部は、締付装置、締付装置受けピン及び締付装置受けボルトで構成されており、締付装置部に生じる荷重 R_p は、次式により算定する扉に作用する全静水圧を集中荷重に置換した設計水圧荷重 P_0 により算定し、各構成部材に発生する応力を算定する。締付装置に生じる応力の例を図3-4に示す。

$$R_p = P_0 / n_2$$

$$w_1 = \rho_0 \cdot g \cdot (h - L_1) \cdot 10^{-3}$$

$$P_0 = (w_1 + w_2) / 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-6}$$

R_p : 締付装置に作用する荷重(kN)

P_0 : 設計水圧荷重(kN)

n_2 : 締付装置の本数(本)

w_1 : 扉上端に作用する静水圧荷重(kN/m²)

w_2 : 扉下端に作用する静水圧荷重(kN/m²)

ρ_0 : 水の密度(t/mm³)

g : 重力加速度(m/s²)

h : 当該扉の浸水深さ(mm)

L_1 : 躯体開口部の高さ(mm)

L_2 : 躯体開口部の幅(mm)

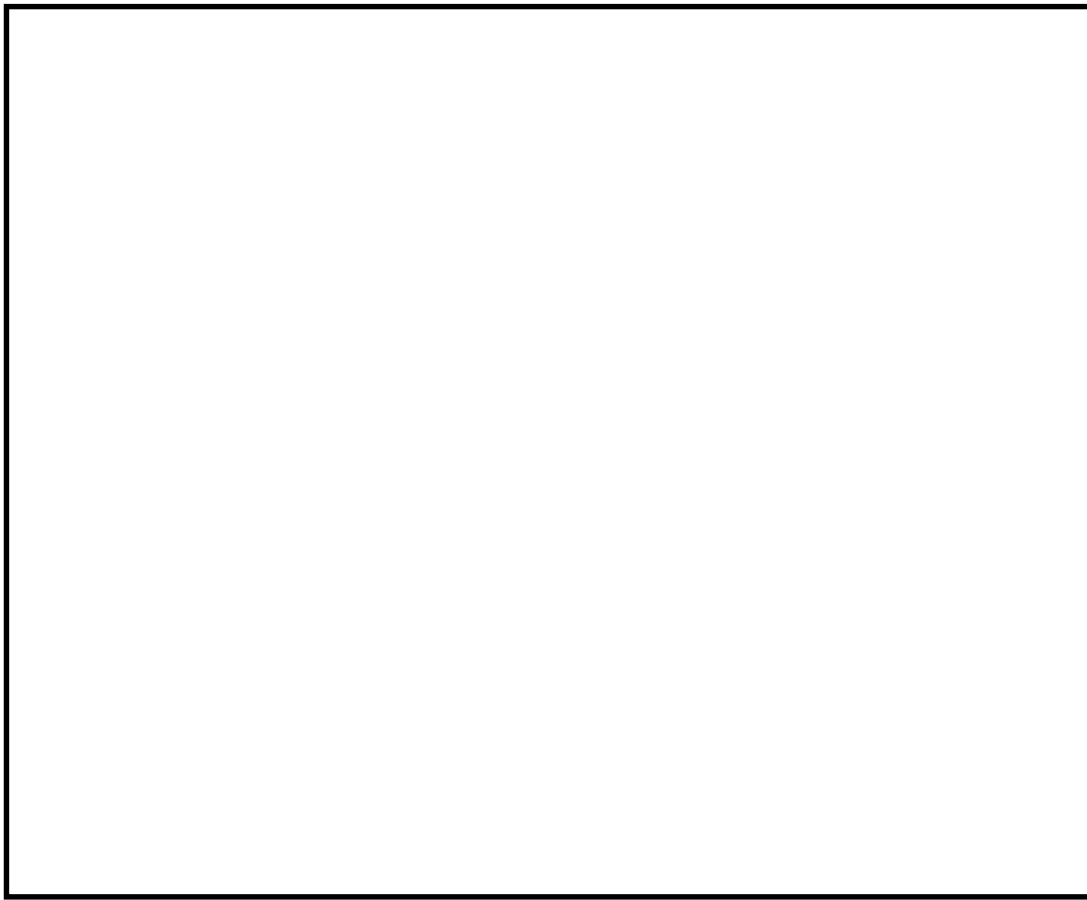


図 3-4 締付装置部に生じる応力の例

a. 縮付装置

縮付装置に生じる応力は、次式により算定する。なお、算定に当たっては、縮付装置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、縮付装置の取付部位に応じて作用する応力を考慮する。縮付装置に生じる荷重の例を図 3-5 に示す。

$$M = R_p \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$$

$$Q = R_p$$

M : 縮付装置に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Q : 縮付装置に生じる最大せん断力 (kN)

R_p : 縮付装置に作用する荷重 (kN)

L₅ : 縮付装置の突出長さ (mm)

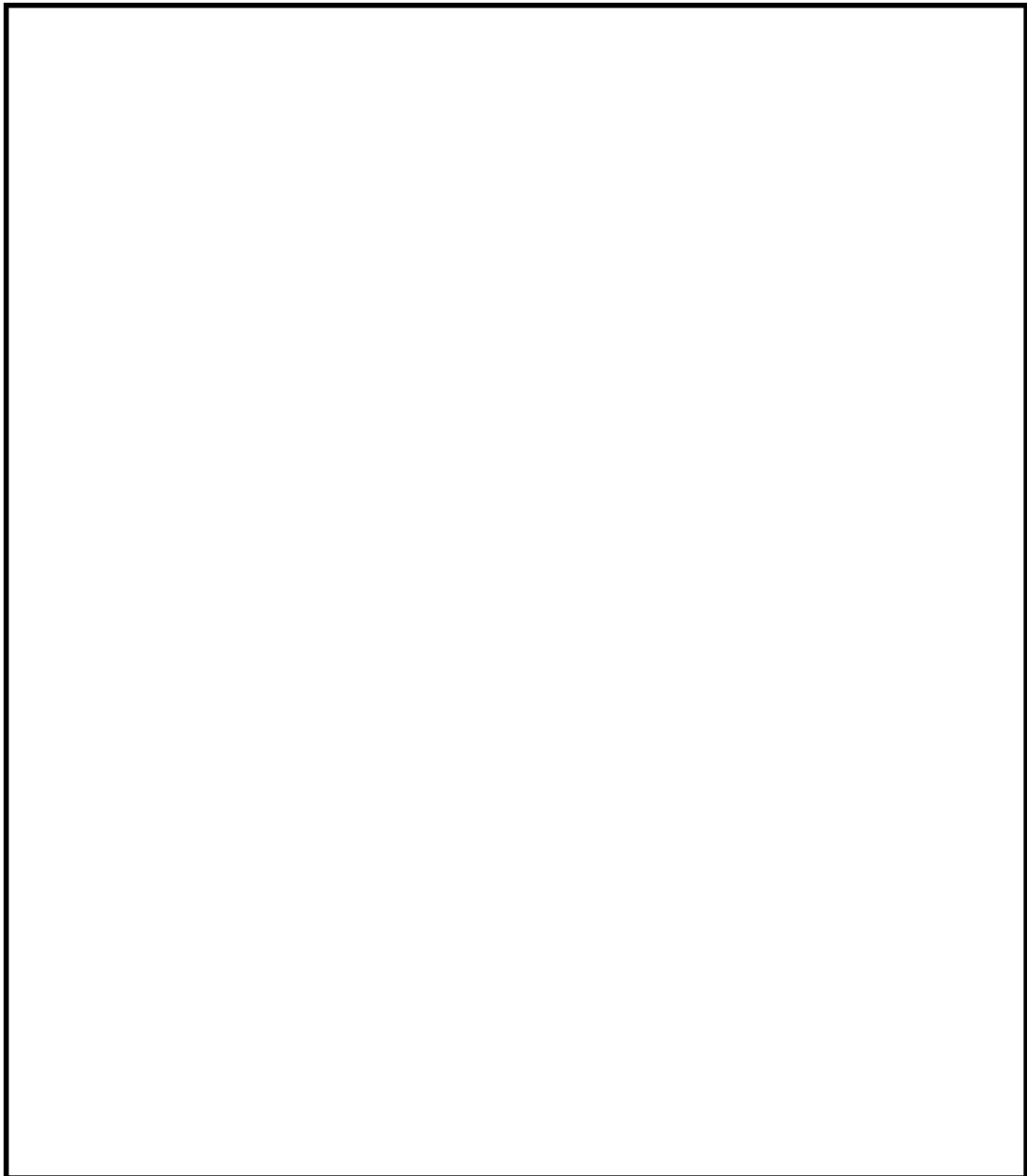


図 3-5 縮付装置に生じる荷重の例

b. 縮付装置受けピン

縮付装置受けピンに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、縮付装置の形状に応じて縮付装置受けピンに作用する応力を考慮する。縮付装置受けピンに生じる荷重の例を図3-6に示す。

(縮付装置と縮付装置受けピンが点接触する場合)

縮付装置受けピンを集中荷重が作用する両端固定梁とみなし、次式により算定する。

$$M = R_p \cdot L_p \cdot 10^{-3} / 4$$

$$Q = R_p / 2$$

M : 縮付装置受けピンに生じる最大曲げモーメント(kN・m)

Q : 縮付装置受けピンに生じる最大せん断力(kN)

R_p : 縮付装置に作用する荷重(kN)

L_p : 縮付装置受けピンの軸支持間距離(mm)

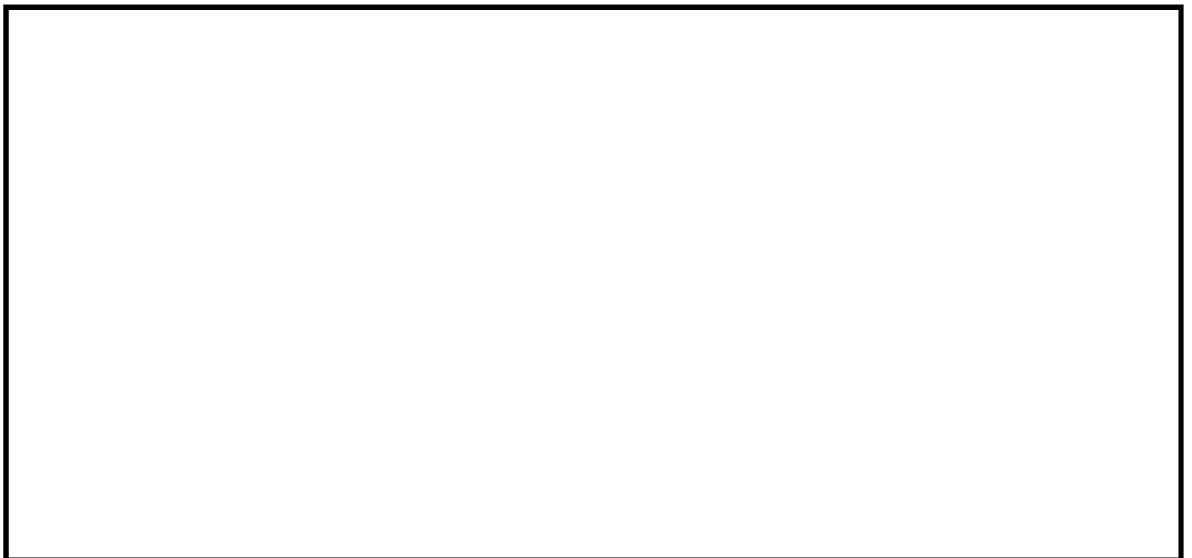


図3-6 (1/2) 縮付装置受けピンに生じる荷重の例
(縮付装置と縮付装置受けピンが点接触する場合)

(縮付装置と縮付装置受けピンが線接触する場合)

縮付装置受けピンを部分等分布荷重が作用する両端固定梁とみなし、次式により算定する。

$$M = R_p \cdot (L_p^3 - 8 \cdot a'^3) / (24 \cdot b' \cdot L_p)$$

M : 縮付装置受けピンの最大曲げモーメント (kN・m)

R_p : 縮付装置に作用する荷重 (kN)

L_p : 縮付装置受けピンの軸支持間距離 (mm)

a' : 縮付装置受けピンの支持点から縮付装置軸の表面までの距離 (mm)

$$a' = (L_p - b') / 2$$

b' : 縮付装置と縮付装置受けピンが接する長さ (mm)

$$Q = R_p / 2$$

Q : 縮付装置受けピンの最大せん断力 (kN)

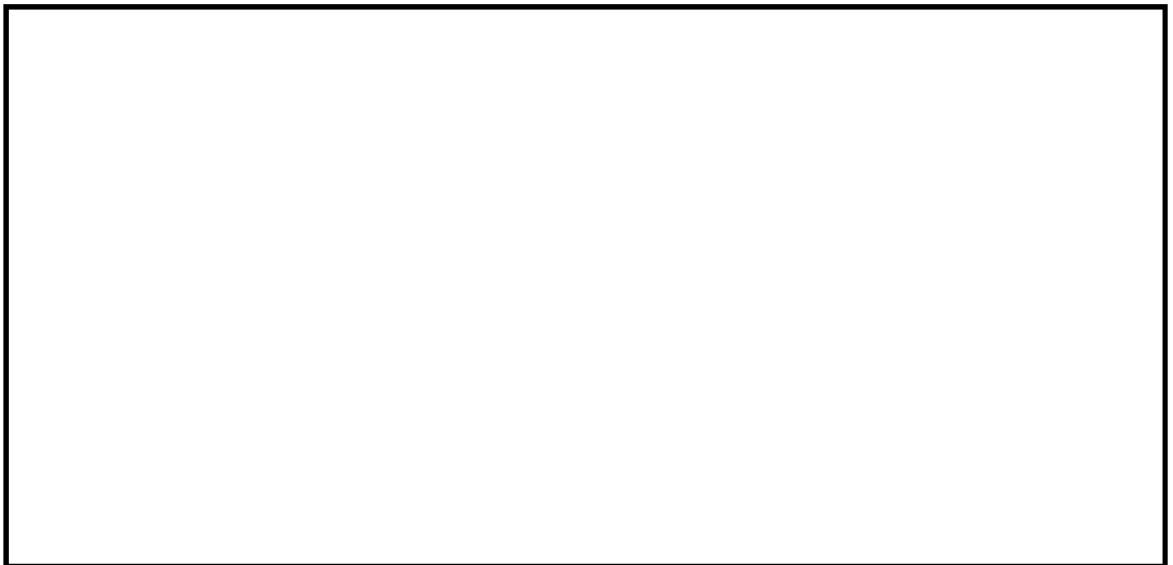


図 3-6 (2/2) 縮付装置受けピンに生じる荷重の例
(縮付装置と縮付装置受けピンが線接触する場合)

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる応力は、次式により算定する。締付装置受けボルトに生じる応力の例を図3-7に示す。

$$T = R_p / n_b$$

T : 締付装置受けボルトに作用する荷重(kN)

R_p : 締付装置に作用する荷重(kN)

n_b : 締付装置受けボルトの本数(本)



図3-7 締付装置受けボルトに生じる応力の例

(4) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、扉に作用する静水圧荷重を、左右もしくは上下に配置されたアンカーボルトに分配する。アンカーボルトに生じる荷重の例を図3-8に示す。

$$Q = P_0$$

Q : アンカーボルトの最大せん断力(kN)

P₀ : 設計水圧荷重(kN)

n : 片側 (左右もしくは上下) のアンカーボルトの本数

アンカーボルトの方向

(0° 方向配置の場合)

$$Q_d = Q / 2 / n$$

(90° 方向配置の場合)

$$T_d = Q / 2 / n$$

(45° 方向配置の場合)

$$Q_d = (Q / \sqrt{2}) / 2 / n$$

$$T_d = (Q / \sqrt{2}) / 2 / n$$



図3-8 アンカーボルトに生じる荷重の例(平面図)

3.4.2 断面検定

評価対象部位に発生する応力より算定する応力及び応力度が、許容限界値以下であることを確認する。

(1) 扉板

扉板に生じる曲げ応力度を算定し、扉板の短期許容応力度以下であることを確認する。

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

σ : 扉板の最大曲げ応力度(N/mm²)

M : 扉板の最大曲げモーメント(kN・m/m)

Z : 扉板の断面係数(mm³/m)

(2) 芯材

芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。

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

σ : 芯材の最大曲げ応力度(N/mm²)

M : 芯材の最大曲げモーメント(kN・m)

Z : 芯材の断面係数(mm³)

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

τ : 芯材の最大せん断応力度(N/mm²)

Q : 芯材の最大せん断力(kN)

A_s : 芯材のせん断断面積(mm²)

(3) 締付装置部

a. 締付装置

締付装置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「鋼構造設計規
準—許容応力度設計法—((社)日本建築学会, 2005 改定)」に基づく次式により算定し、
締付装置の短期許容応力度以下であることを確認する。

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

x : 組合せ応力度(N/mm²)

ここで, $\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ : 締付装置の最大曲げ応力度(N/mm²)

M : 締付装置の最大曲げモーメント(kN・m)

Z : 締付装置の断面係数(mm³)

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

τ : 締付装置の最大せん断応力度(N/mm²)

Q : 締付装置の最大せん断力(kN)

A_s : 締付装置のせん断断面積(mm²)

b. 締付装置受けピン

締付装置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、締付装
置受けピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

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

ここで, σ : 締付装置受けピンの最大曲げ応力度(N/mm²)

M : 締付装置受けピンの最大曲げモーメント(kN・m)

Z : 締付装置受けピンの断面係数(mm³)

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

ここで, τ : 締付装置受けピンの最大せん断応力度(N/mm²)

Q : 締付装置受けピンの最大せん断力(kN)

A_s : 締付装置受けピンのせん断断面積(mm²)

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、締付装置受けボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_t = (T \cdot 10^3) / A$$

σ_t : 締付装置受けボルトの最大引張応力度(N/mm²)

T : 締付装置受けボルトの最大引張力(kN)

A : 締付装置受けボルトの断面積(mm²)

(4) アンカーボルト

アンカーボルト1本当りに生じる引張力又はせん断力を算定し、アンカーボルトの許容荷重以下であることを確認する。

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

$$T_d / T_a \leq 1.0$$

ここで、 $T_d = P_0 / 2 / n$

T_d : アンカーボルト1本当りの引張力(kN)

T_a : アンカーボルト1本当りの短期許容引張力(kN)

P_0 : 設計水圧荷重(kN)

n : 片側(左右もしくは上下)のアンカーボルトの本数

$$Q_d / Q_a \leq 1.0$$

ここで、 $Q_d = P_0 / 2 / n$

Q_d : アンカーボルト1本当りのせん断力(kN)

Q_a : アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力(kN)

P_0 : 設計水圧荷重(kN)

n : 片側(左右もしくは上下)のアンカーボルトの本数

3.5 評価条件

「3.4 評価方法」に用いる評価条件を表3-4に示す。

表3-4 強度評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	水密扉No.						
				RB-B3F-2	TB-B2F-2	TB-B2F-4	TB-1F-7	CB-B2F-2	Y-1	
共通	h	mm	当該扉の浸水深さ	13000	19800	20100	3700	7000	4000	
	ρ_0	t/m ³	水の密度	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	
	g	m/s ²	重力加速度	9.80665	9.80665	9.80665	9.80665	9.80665	9.80665	
扉板	L _{PL}	mm	扉板の短辺長さ	500	452	250	250	452	600	
	Z	mm ³ /m	扉板の断面係数	1.350×10 ⁴	2.400×10 ⁴	2.400×10 ⁴	6.010×10 ⁴	2.400×10 ⁴	2.040×10 ⁵	
芯材	w ₂	kN/m ²	扉下端に作用する静水圧荷重	132	200	204	37.4	70.8	40.5	
	b	mm	芯材に作用する荷重の負担幅	500	452	250	250	452	600	
	L	mm	芯材の支持スパン	1060	995	855	2385	965	2200	
	Z	mm ³	芯材の断面係数	1.150×10 ⁵	1.530×10 ⁵	3.560×10 ⁴	1.420×10 ⁵	1.530×10 ⁵	8.120×10 ⁴	
	A _s	mm ²	芯材のせん断面積	8.450×10 ²	1.113×10 ³	2.850×10 ³	5.700×10 ³	1.113×10 ³	8.280×10 ²	
縮付装置部	共通	n ₂	本	縮付装置の本数	— *	4	— *	8	4	— *
		L ₅	mm	縮付装置の突出長さ	— *	52.5	— *	98	52.5	— *
	縮付装置	σ	N/mm ²	曲げ応力度	— *	212	— *	168	78.8	— *
		τ	N/mm ²	せん断応力度	— *	40.5	— *	14.2	15.1	— *
		L _D	mm	縮付装置受けピンの軸支持間距離	— *	112	— *	58	112	— *
	縮付装置受けピン	b'	mm	縮付装置と縮付装置受けピンが接する長さ	— *	48	— *	— *	— *	— *
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	— *	121	— *	385	142	— *
		τ	N/mm ²	せん断応力度	— *	45.7	— *	44.2	17	— *
	縮付装置受けボルト	n _b	本	縮付装置受けボルトの本数	— *	4	— *	2	4	— *
		σ_1	N/mm ²	引張応力度	— *	68.2	— *	51.8	25.4	— *
アンカーボルト	L ₁	mm	躯体開口部の高さ	— *	2100	2130	2990	2100	2200	
	L ₂	mm	躯体開口部の幅	— *	1000	1035	2480	1000	1360	
	n	本	0° 方向 ヒンジ側/上側 アンカーボルト本数	— *	4	14	10	4	20	
			0° 方向 開閉側/下側 アンカーボルト本数	— *	4	14	10	4	20	
			45° 方向 ヒンジ側/上側 アンカーボルト本数	— *	0	0	0	0	0	
			45° 方向 開閉側/下側 アンカーボルト本数	— *	0	0	0	0	0	
			90° 方向 ヒンジ側/上側 アンカーボルト本数	— *	7	10	0	8	10	
			90° 方向 開閉側/下側 アンカーボルト本数	— *	7	10	0	8	10	
	Q _a	kN/本	0° 方向 ヒンジ側/上側 アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力	— *	25.7	13.1	22.3	20.2	21.4	
			0° 方向 開閉側/下側 アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力	— *	25.7	13.1	22.3	20.2	21.4	
			45° 方向 ヒンジ側/上側 アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力	— *	— *	— *	— *	— *	— *	
	T _a	kN/本	45° 方向 開閉側/下側 アンカーボルト1本当りの短期許容引張力	— *	— *	— *	— *	— *	— *	
90° 方向 ヒンジ側/上側 アンカーボルト1本当りの短期許容引張力			— *	34.4	21.2	— *	35.2	23.7		
90° 方向 開閉側/下側 アンカーボルト1本当りの短期許容引張力			— *	34.4	21.2	— *	35.2	23.7		

注記* : 水密扉の開方向に対して、扉板を躯体に押し付ける向きに静水圧荷重が作用するため、当該部材に荷重が作用しないことから評価対象外とした。

3.6 評価結果

水密扉の強度評価結果を表 3-5 に示す。水密扉の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重は許容限界以下であることから、水密扉が構造健全性を有することを確認した。

表 3-5 水密扉の強度評価結果

水密扉No.	評価対象部材	発生応力度 又は応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定値	
RB-B3F-2	扉板	204	235	0.87	
	芯材 ^{*1}	62.2	135	0.47	
	縮付装置部	縮付装置	—	—	—
		縮付装置受けピン	—	—	—
		縮付装置受けボルト	—	—	—
アンカーボルト	—	—	—		
TB-B2F-2	扉板	143	235	0.61	
	芯材 ^{*1}	60.7	135	0.45	
	縮付装置部	縮付装置	224	390	0.58
		縮付装置受けピン	121	205	0.60
		縮付装置受けボルト	68.2	235	0.30
アンカーボルト ^{*2}	15.6	25.7	0.61		
TB-B2F-4	扉板	44.6	235	0.19	
	芯材 ^{*1}	132	235	0.57	
	縮付装置部	縮付装置	—	—	—
		縮付装置受けピン	—	—	—
		縮付装置受けボルト	—	—	—
アンカーボルト ^{*2}	9.27	13.1	0.71		
TB-1F-7	扉板	3.25	235	0.02	
	芯材 ^{*1}	46.9	235	0.20	
	縮付装置部	縮付装置	170	205	0.83
		縮付装置受けピン	385	686	0.57
		縮付装置受けボルト	51.8	235	0.23
アンカーボルト ^{*2}	8.30	22.3	0.38		
CB-B2F-2	扉板	50.5	235	0.22	
	芯材 ^{*1}	20.9	135	0.16	
	縮付装置部	縮付装置	83.1	390	0.22
		縮付装置受けピン	142	205	0.70
		縮付装置受けボルト	25.4	235	0.11
アンカーボルト ^{*2}	5.30	20.2	0.27		
Y-1	扉板	5.99	205	0.03	
	芯材 ^{*1}	183	205	0.90	
	縮付装置部	縮付装置	—	—	—
		縮付装置受けピン	—	—	—
		縮付装置受けボルト	—	—	—
アンカーボルト ^{*2}	1.47	21.4	0.07		

注記* 1 : 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。

* 2 : アンカーボルトの評価結果は単位を kN とする。