

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
商業機密あるいは防護上の観点  
から公開できません

東海第二発電所工事計画審査資料	
資料番号	工認-079 改0
提出年月日	平成30年2月7日

## V-3-別添 3-8 水密扉の強度計算書

## 目 次

内部溢水	
1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	8
2.4 適用規格	10
3. 強度評価方法	11
3.1 記号の定義	11
3.2 評価対象部位	13
3.3 荷重及び荷重の組合せ	14
3.4 許容限界	16
3.5 評価方法	18
4. 評価条件	24
5. 強度評価結果	29
外郭防護	
1. 概要	30
2. 基本方針	31
内郭防護	
1. 概要	32
2. 基本方針	33

## 内部溢水

### 1. 概要

本資料は、資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示すとおり、浸水防護施設のうち原子炉建屋地下2階に設置する水密扉（以下「原子炉建屋地下2階水密扉」という。）について評価するものである。原子炉建屋地下2階水密扉は、内部溢水に伴う荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することを確認する。

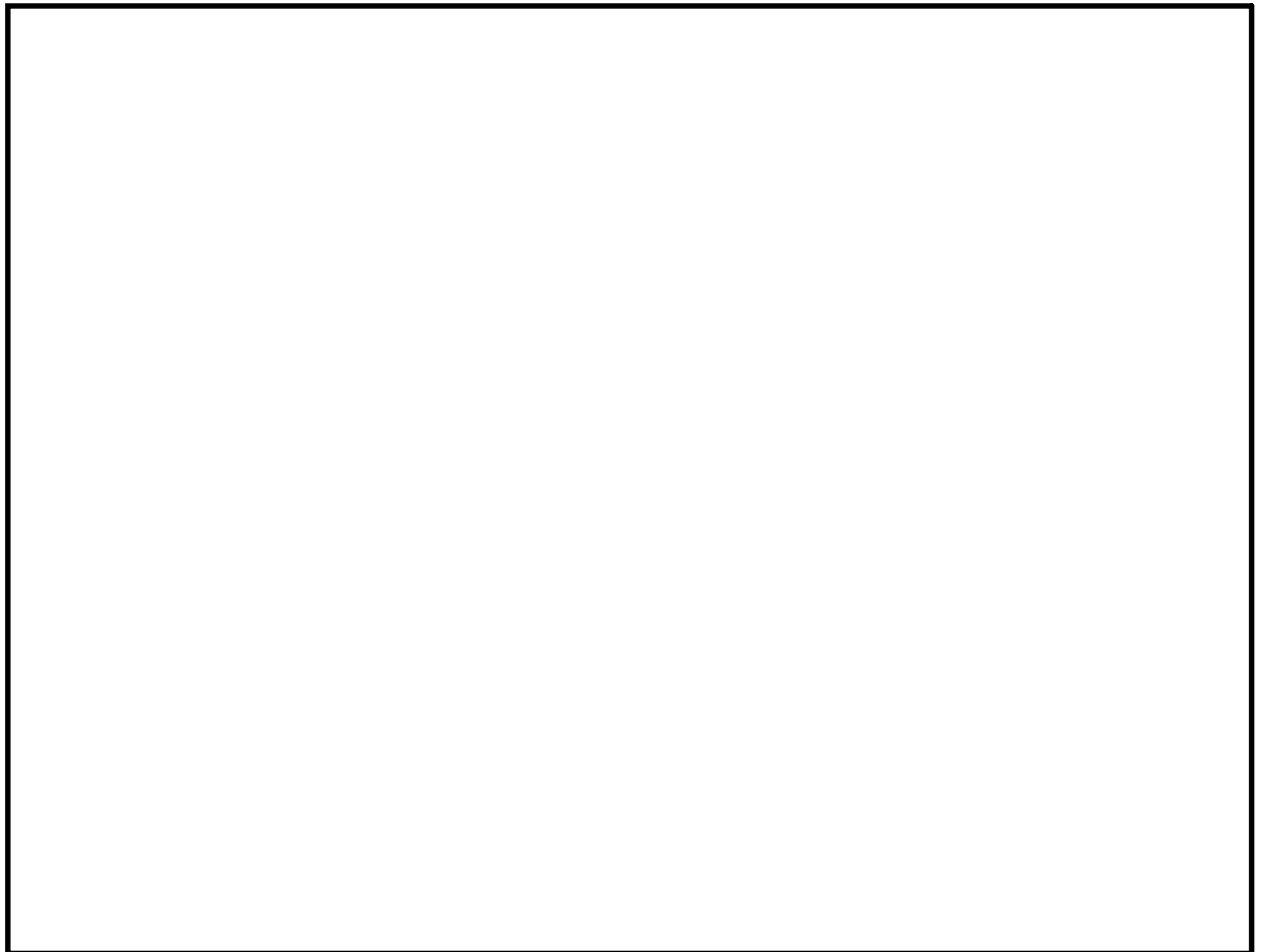
## 2. 基本方針

資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示す「3. 構造強度設計」を踏まえ、水密扉の「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

水密扉は、資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「3.2 機能維持の方針」のうち構造計画に示すとおり、原子炉建屋地下2階水密扉は、残留熱除去系A系ポンプ室、原子炉隔離時冷却系室北側及び南側、高圧炉心スプレイポンプ室の開口部に設置する。

原子炉建屋残留熱除去系A系ポンプ室水密扉、原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉、原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉、原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉の設置位置図を第2-1図に示す。



—: 水密扉

平面図

第2-1図 原子炉建屋水密扉の設置位置

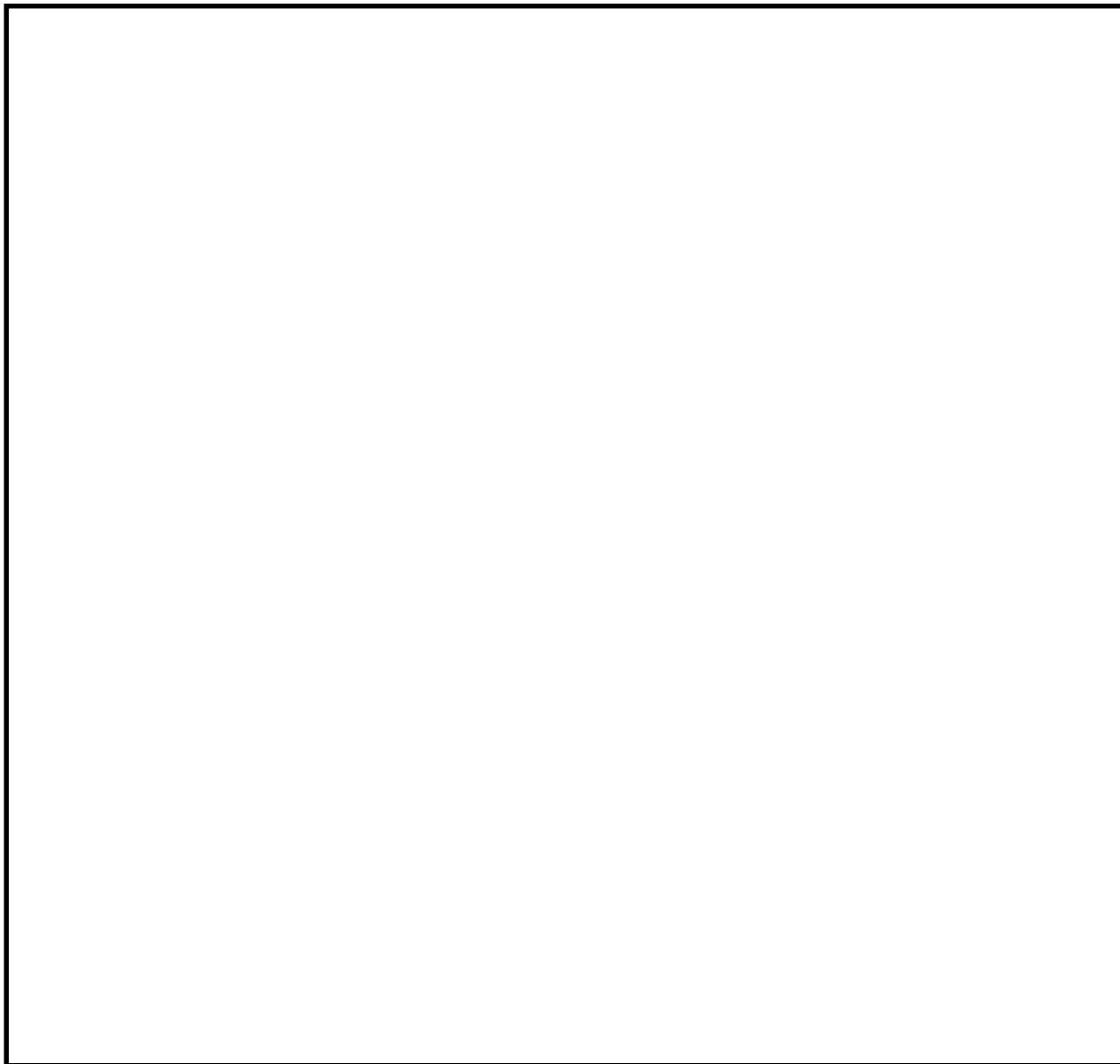
## 2.2 構造概要

水密扉の構造は、資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ詳細な構造を設定する。

水密扉は、片開型の鋼製扉とし、扉板の背面に芯材（主桁及び横桁）を配する構造である。扉は閉塞時には、カンヌキにより固定され、水密性を確保している。

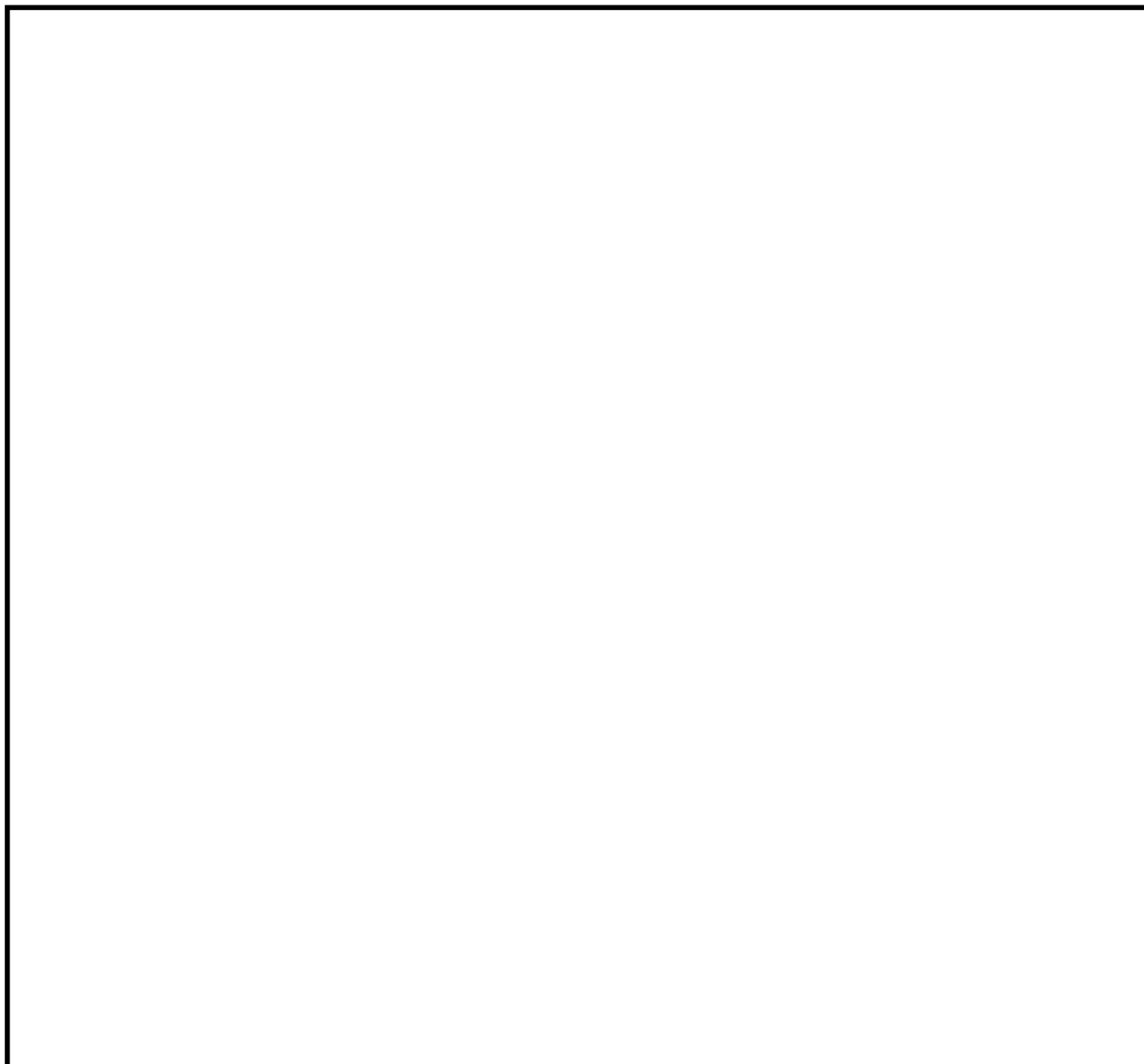
原子炉建屋地下2階水密扉は、扉枠を介して建屋の壁の開口部にアンカー等で固定し、支持する構造とする。

原子炉建屋残留熱除去系A系ポンプ室水密扉，原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉，原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉，原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉の構造図を第2-2図，第2-3図，第2-4図，第2-5図に示す。



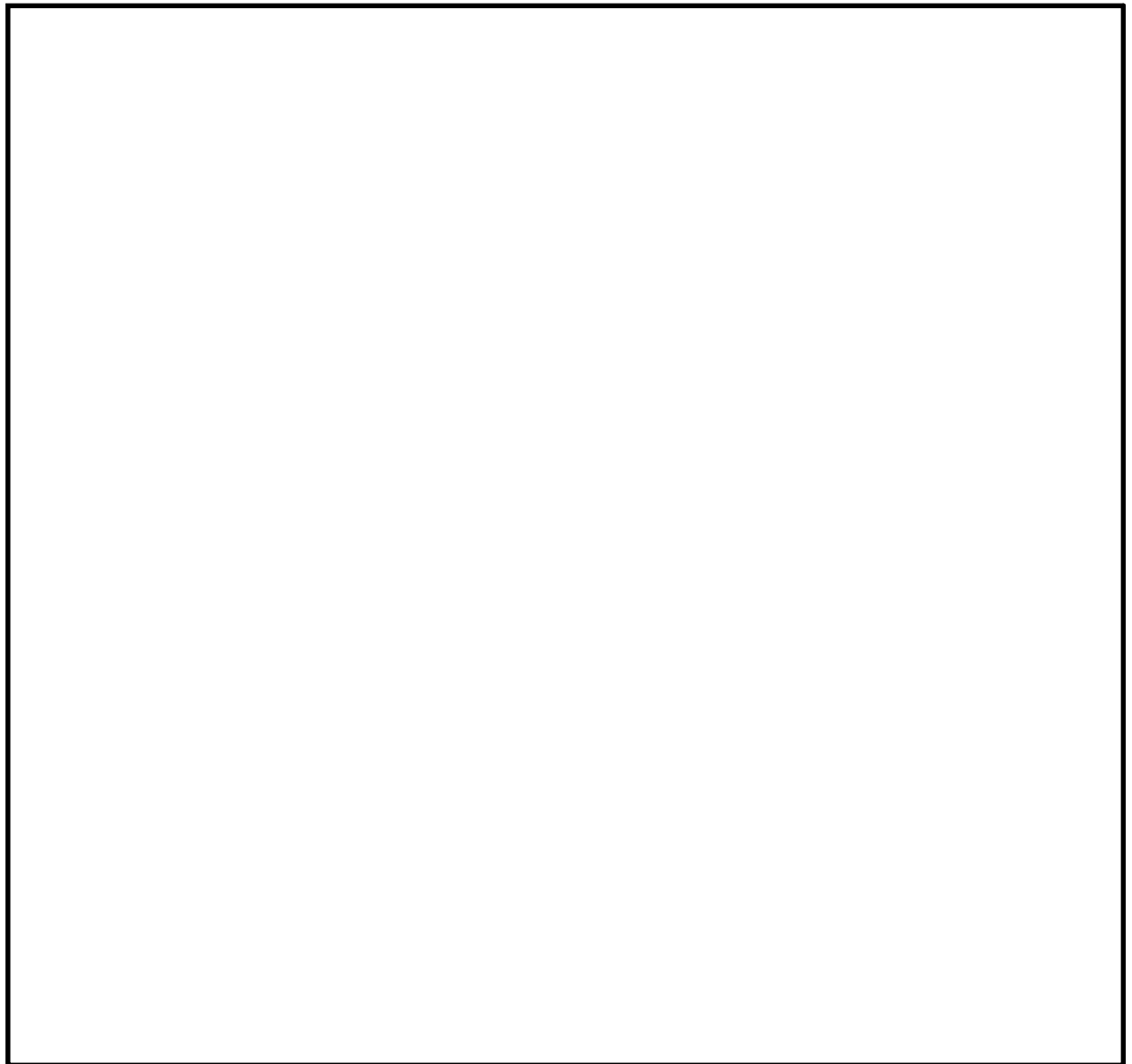
原子炉建屋残留熱除去系A系ポンプ室水密扉

第2-2図 原子炉建屋残留熱除去系A系ポンプ室水密扉の構造図



原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉

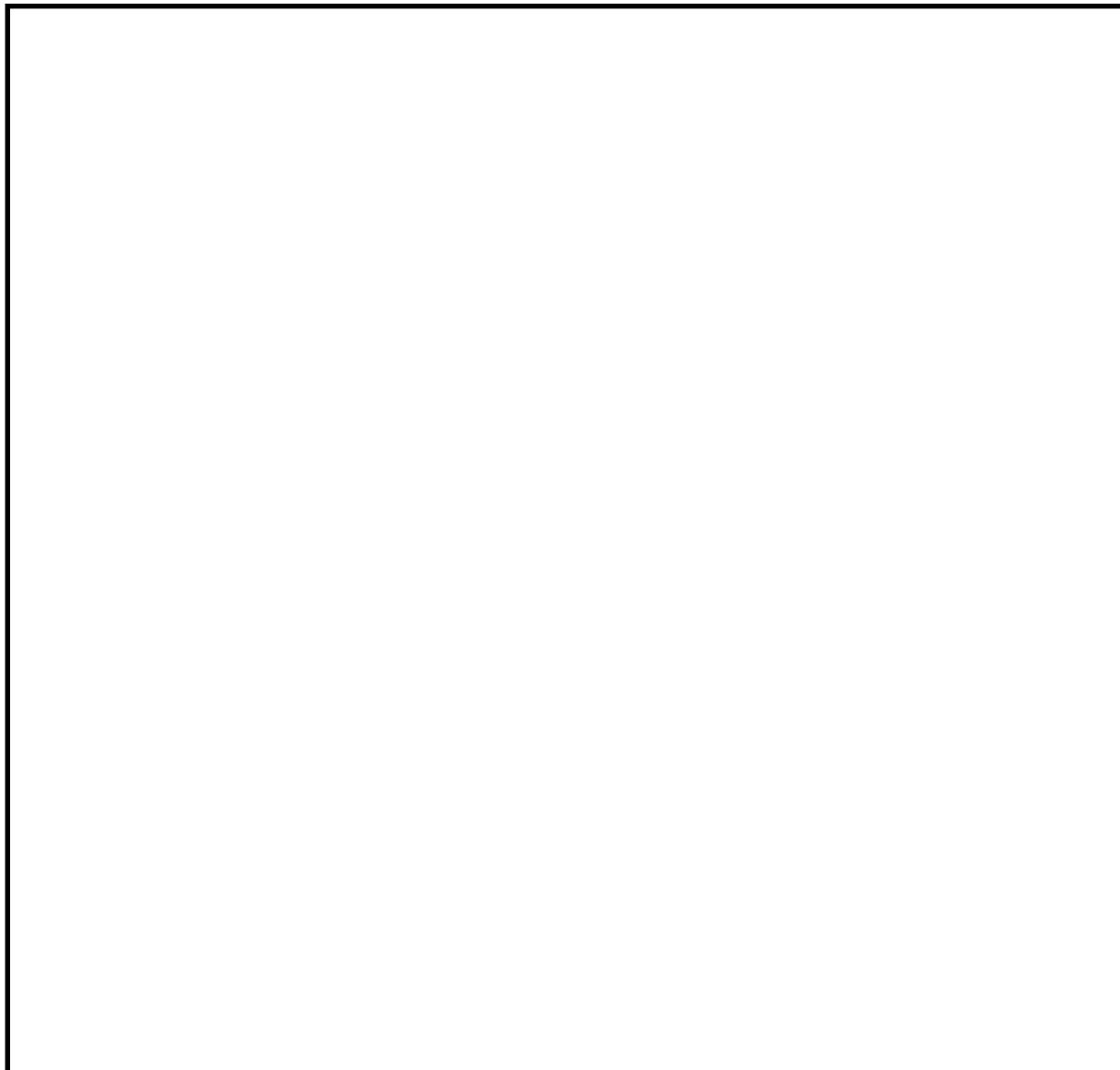
第2-3図 原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉の構造図



原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉

第2-4図 原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉の構造図





原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉

第2-5図 原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉の構造図

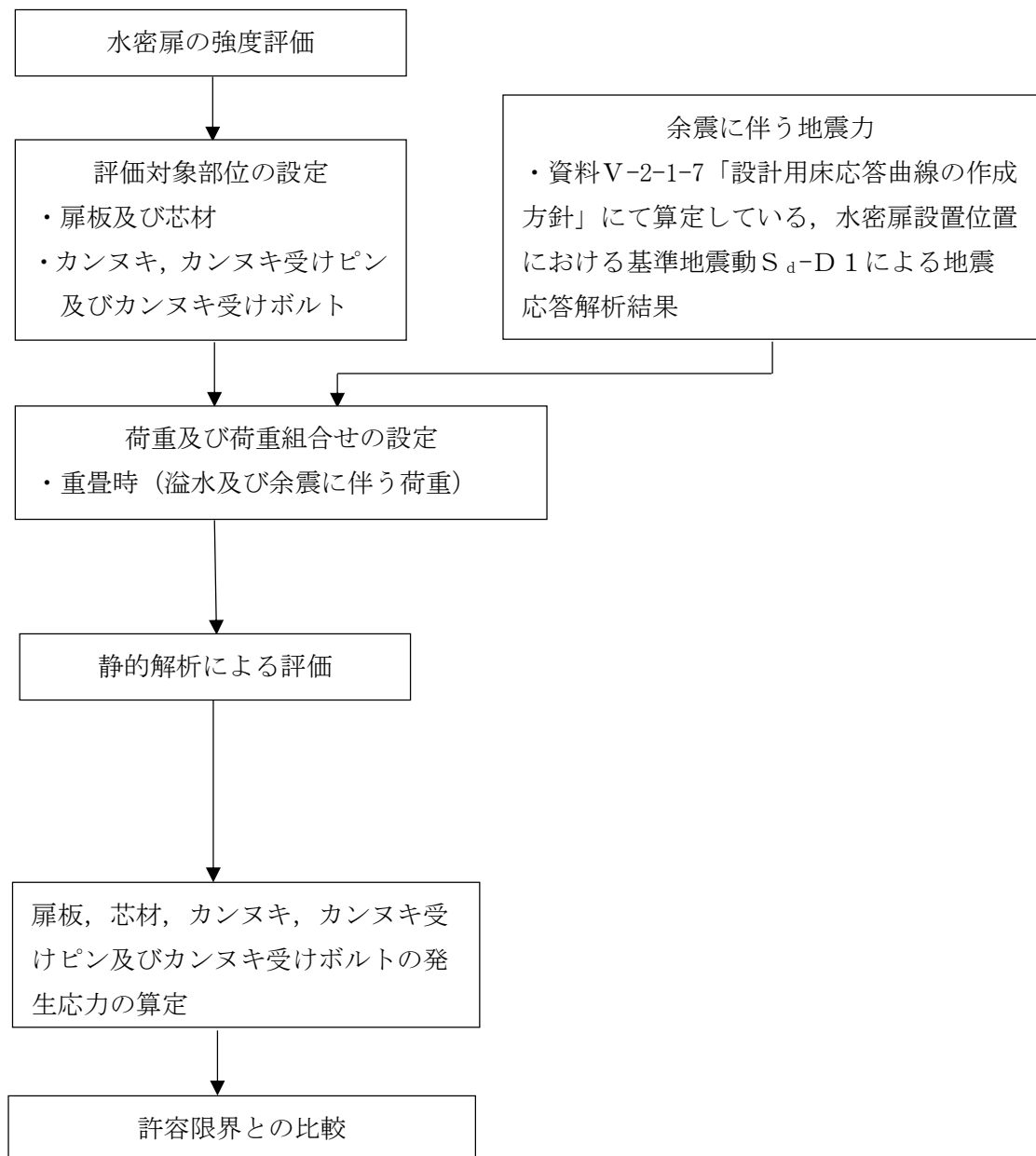
### 2.3 評価方針

水密扉の強度評価は、資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」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などが許容限界に収まることを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

水密扉の強度評価フローを第2-6図に示す。水密扉の強度評価においては、その構造を踏まえ、溢水に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、溢水に伴う荷重と津波による溢水と組み合わせる余震に伴う荷重作用時（以下「重畳時」という。）を考慮し、設定する。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、評価対象部位の発生応力又は荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

重畳時の評価における余震に伴う地震力は、資料V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて算定している、水密扉設置位置における弾性設計用地震動  $S_d-D 1$  による地震応答解析結果を用いて設定する。

なお、重畳時荷重は津波防護対策に必要な浸水防護施設にて考慮する。



第2-6図 水密扉の強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 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）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）
- ・ 水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会，2009年版）

## 3. 強度評価方法

## 3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を第3-1表に示す。

第3-1表 強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	mm <sup>2</sup>	断面積
A <sub>a</sub>	mm <sup>2</sup>	1本当たりの表面積
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	1本当たりの断面積
a <sub>n</sub>	m	横桁ピッチ
B	m	受圧幅
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
G	kN	扉体自重
h	m	当該部分の浸水深
H	m	水深
h <sub>c</sub>	m	水圧中心位置
H <sub>g</sub>	m	受圧高
K <sub>H</sub>	-	水平震度
K <sub>S</sub>	kN	余震による地震荷重
L	m	区画短辺の長さ
L <sub>b</sub>	mm	軸支持間距離 (カンヌキ)
L <sub>p</sub>	m	軸支持間距離 (カンヌキ受けピン)
L <sub>k</sub>	m	カンヌキ中心間距離
M	kN・m	曲げモーメント
M <sub>X1</sub>	-	等分布荷重による曲げ応力算定用の係数
M <sub>X2</sub>	-	等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数
n	本	ボルトの本数
P <sub>0</sub>	kN	設計水圧荷重
P <sub>a</sub>	kN	扉板全体に作用する合計荷重
P <sub>b</sub>	kN	水密扉から伝達される荷重
P <sub>d</sub>	kN/m <sup>2</sup>	余震による動水圧荷重
P <sub>h</sub>	kN/m <sup>2</sup>	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重
P <sub>hd</sub>	kN/m <sup>2</sup>	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重 (下部)
P <sub>hu</sub>	kN/m <sup>2</sup>	浸水津波荷重又は溢水による静水圧荷重 (上部)
P <sub>T</sub>	kN	許容引張力
p <sub>n</sub>	kN/m <sup>2</sup>	溢水時荷重

第3-1表 強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
Q	kN	せん断力
$R_p$	kN	溢水に伴う荷重による反力
T	kN	引張力
$W_d$	kN/m	区画下端の単位長さ当たりの作用荷重
$W_u$	kN/m	区画上端の単位長さ当たりの作用荷重
Y	m	主桁ピッチ
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
$\beta$	-	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数
$\rho$	t/m <sup>3</sup>	水の密度
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	曲げ応力度
$\sigma_T$	N/mm <sup>2</sup>	引張応力度
$\sigma_x$	N/mm <sup>2</sup>	組合せ応力度
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	せん断応力度

### 3.2 評価対象部位

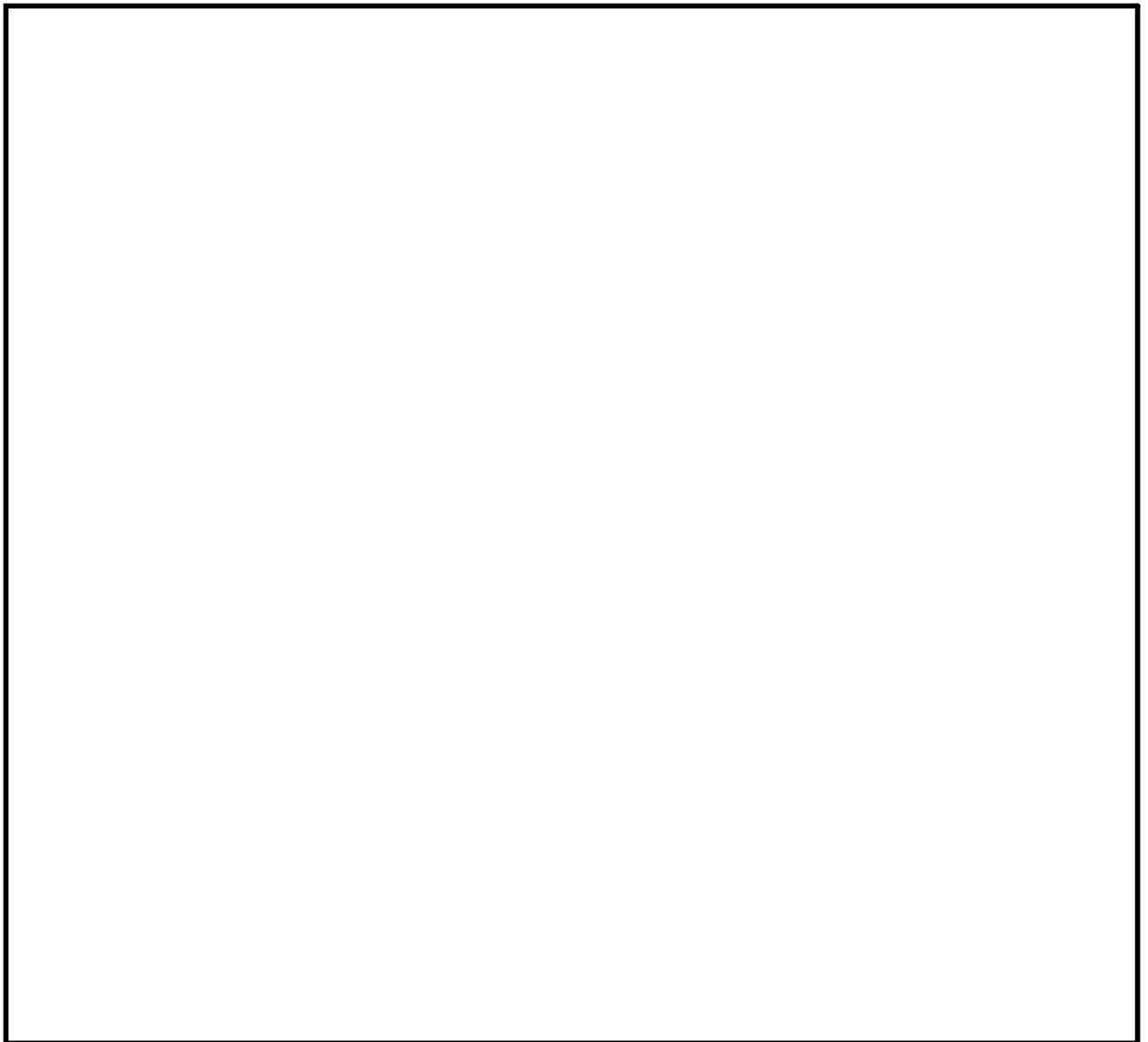
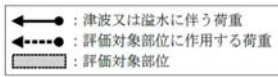
水密扉の評価対象部位は、資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて設定する。

水密扉に生じる外部からの溢水に伴う荷重は、扉板から芯材に伝わり、壁と一体化した扉枠を介し、躯体に伝達されることから、評価対象部位は、扉板及び芯材とする。

水密扉に生じる建屋内部からの溢水に伴う荷重は、扉板から芯材、芯材からカンヌキ、カンヌキからカンヌキ受けピン、カンヌキ受けピンからカンヌキ受けボルトへと伝達され、アンカーを介し躯体に伝達されることから、評価対象部位は、扉板、芯材、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトとする。

なお、ヒンジ側にもカンヌキを配しているため、建屋内部からの溢水に伴う荷重はヒンジ部に作用しない。

水密扉に作用する荷重の作用図を第3-1図に示す。



第3-1図 水密扉に作用する荷重の作用図

### 3.3 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、資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」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。

資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重の組合せを以下に示す。

$$P_h \text{ (溢水時)}$$

$$P_h + K_s + P_d \text{ (重畳時)}$$

なお、本資料において、余震荷重のうち、余震による地震荷重を $K_s$ 、余震による動水圧荷重を $P_d$ とする。

#### (1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### a. 溢水に伴う荷重 ( $P_h$ )

溢水に伴う荷重として、溢水に伴う水位までの静水圧を考慮する。溢水による静水圧荷重 $P_h$ は、対象とする水の密度に当該部分の浸水深 $h$ を乗じた次式により算出する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

溢水に伴う荷重の算定に用いる、水圧作用高さ及び水の密度を第3-2表に示す。

第3-2表 水圧作用高さ及び水の密度

扉名称	水圧作用高さ	水の密度 ( $t/m^3$ )	
		正圧	逆圧
原子炉建屋残留熱除去系A系ポンプ室水密扉		正圧	1.00
		逆圧	1.00
原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉		正圧	1.00
		逆圧	1.00
原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉		正圧	1.00
		逆圧	1.00
原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉		正圧	1.00
		逆圧	1.00



b. 余震荷重（地震荷重 $K_S$ 、動水圧荷重 $P_d$ ）

余震荷重として、弾性設計用地震動 $S_d-D1$ による地震荷重 $K_S$ 及び動水圧荷重 $P_d$ を考慮する。余震荷重は、水密扉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。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、水密扉設置位置よりも上部の節点の値とし、原子炉建屋については、水密扉設置階の上階（上層）の値とする。

原子炉建屋水密扉の震度の設定に用いる最大応答加速度は資料V-2-1「耐震設計の基本方針」のうち資料V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」の地震応答解析結果を用いる。

各扉の水平震度 $K_H$ を第3-3表に示す。

地震荷重 $K_S$ は、水密扉の固定荷重に水平震度 $K_H$ を乗じた次式により算出する。

$$K_S = G \cdot K_H$$

動水圧荷重 $P_d$ は、「水道施設耐震工法指針・解説（（社）日本水道協会，2009年 版）」に基づき、次式により算出する。

$$P_d = \beta \cdot \frac{7}{8} \cdot K_H \cdot \rho \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$$

第3-3表 各扉の水平震度 $K_H$

扉名称	水平震度 $K_H$
原子炉建屋残留熱除去系A系ポンプ室水密扉	—*
原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉	—*
原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉	—*
原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉	—*

\*：津波防護対策に必要な浸水防護施設でない為、考慮不要。

(1) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、溢水時及び重畳時に区分して設定し、評価される最大荷重を用いる。

a. 原子炉建屋水密扉

原子炉建屋水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せを第3-4表に示す。

原子炉建屋残留熱除去系A系ポンプ室水密扉、原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉、原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉、原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉は、津波防護対策に必要な浸水防護施設でない為、強度評価に用いる荷重の組合せは溢水時と重畳時は同じとする。

第3-4表 原子炉建屋水密扉の強度評価に用いる荷重の組合せ

扉名称	事象	荷重の組合せ
原子炉建屋残留熱除去系A系ポンプ室水密扉	溢水時	$G + P_h$
	重畳時	$G + P_H + K_S + P_d$
原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉	溢水時	$G + P_h$
	重畳時	$G + P_H + K_S + P_d$
原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉	溢水時	$G + P_h$
	重畳時	$G + P_H + K_S + P_d$
原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉	溢水時	$G + P_h$
	重畳時	$G + P_H + K_S + P_d$

### 3.4 許容限界

水密扉の許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮し、資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ設定する。

#### (1) 使用材料

水密扉を構成する、扉板、芯材、カンヌキ部の使用材料を第3-5表に示す。

第3-5表 使用材料

部位		材質	仕様
扉板			
芯材			
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		

(2) 許容限界

a. 扉板, 芯材, カンヌキ部

扉板, 芯材, カンヌキ部の許容限界は, 「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)」を踏まえて第3-6表の値とする。

第3-6表 扉板, 芯材, カンヌキ部の許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	
	曲げ	せん断

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の値は, 「JIS G 4053:2008 機械構造用合金鋼鋼材」に基づく

\*3: 引張りの短期許容応力度も同様

b. アンカー

アンカーの許容限界は, 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社)日本建築学会, 2010改定)」に基づき算定した, 第3-7表の値とする。

第3-7表 アンカーの許容限界

コンクリート設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容付着応力度 f <sub>a</sub> (N/mm <sup>2</sup> )

### 3.5 評価方法

水密扉の強度評価は、資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

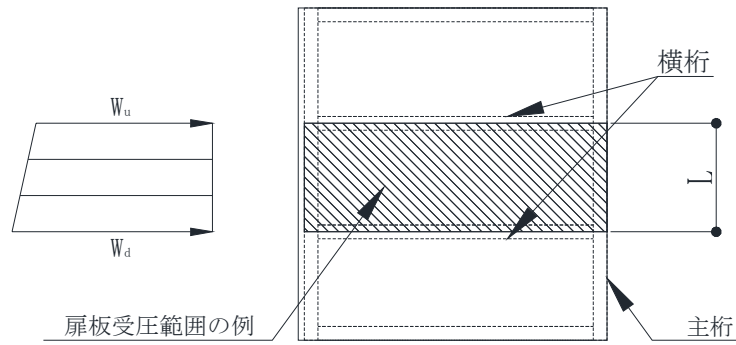
#### (1) 応力算定

##### a. 扉板

扉板に生じる荷重は、溢水に伴う荷重に余震荷重を考慮し、等変分布荷重及び等分布荷重を受ける周辺固定支持の矩形板として、次式により算定する。

扉板に生じる荷重の例を第3-2図に示す。

$$M = M_{X1} \cdot W_U \cdot L^2 + M_{X2} \cdot (W_d - W_U) \cdot L^2$$



第3-2図 扉板に生じる荷重の図

## b. 芯材

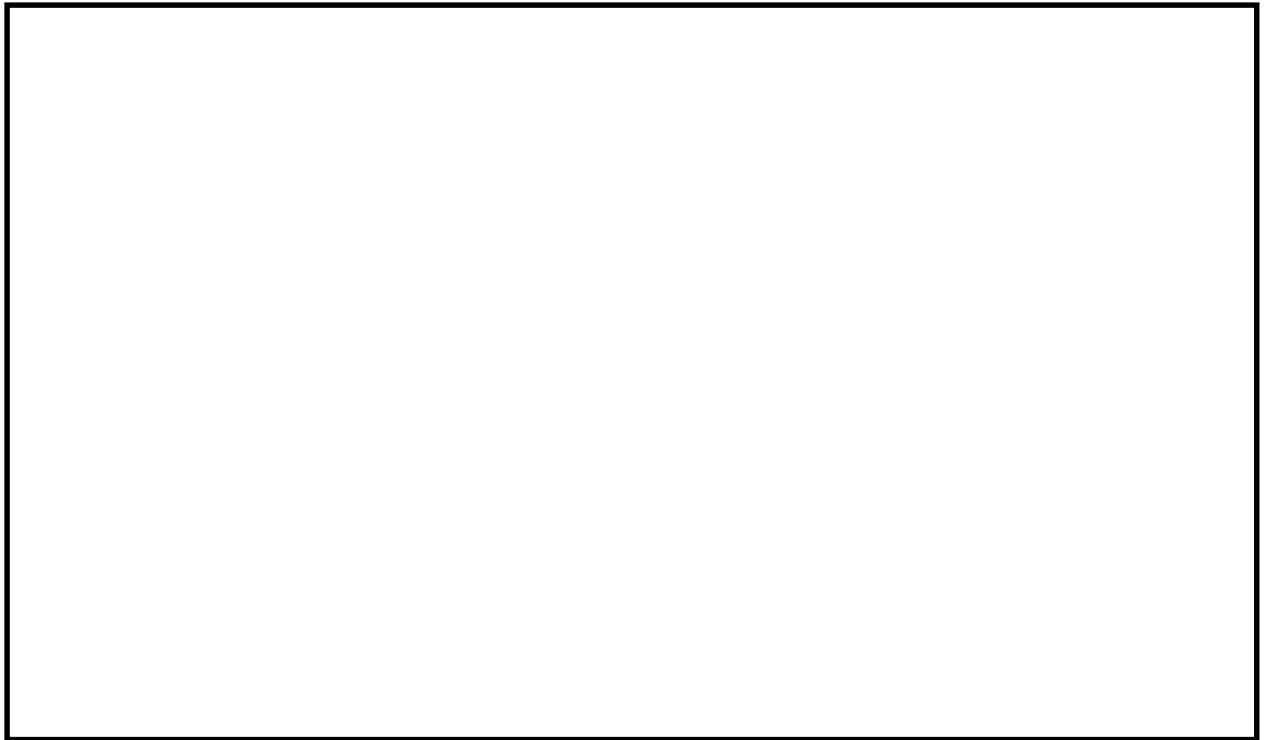
芯材に生じる荷重は、溢水に伴う荷重に余震荷重を考慮し、荷重を負担する芯材の取付方向（鉛直又は水平）に応じて、それぞれ算定する。正圧時は鉛直方向に取付く、主桁については、扉枠で全長を支持されるために評価外とし、逆圧時のカンヌキ部の中で評価を行う。水平方向に取付く、横桁については、等分布荷重を受ける両端支持の単純梁として、次式により算定する。

芯材に生じる荷重の例を第3-3図に示す。

## (a) 横桁

$$M = \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \cdot \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot \frac{Y^2}{8}$$

$$Q = \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \cdot \frac{a_n + a_{n+1}}{2} \cdot \frac{Y}{2}$$



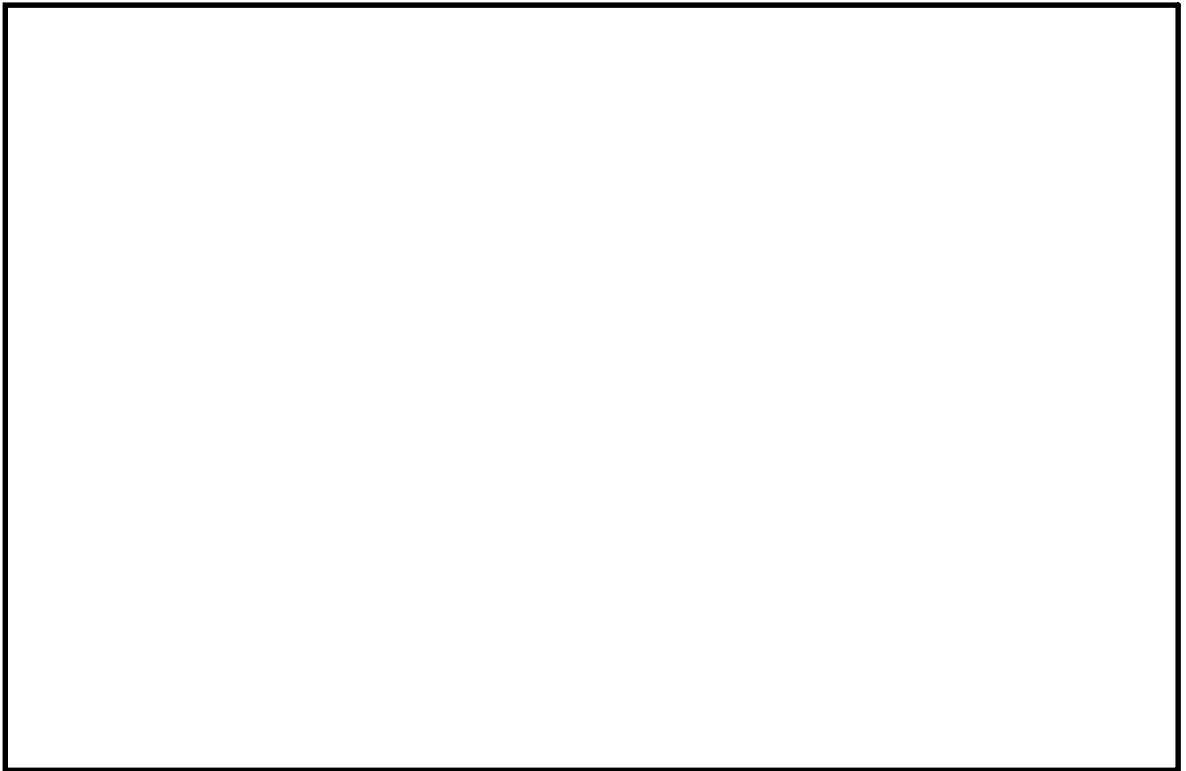
第3-3図 芯材（横桁）に生じる荷重の例

## c. 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、次式により算定する重畳時に伴う荷重による反力から、各部材に発生する荷重を算定する。カンヌキ部に生じる荷重の例を第3-4図に示す。

$$R_p = (P_o + K_s + P_D) \cdot \frac{h'}{2 \cdot L_k}$$

$$h' = L_2 - h_c$$



第3-4図 カンヌキ部に生じる荷重の例

## (a) カンヌキ

カンヌキに生じる荷重は，次式により算定する。

カンヌキに生じる荷重の例を第3-5図に示す。

$$M = R_p \cdot L_b$$

$$Q = R_p$$



第3-5図 カンヌキに生じる荷重の例

## (b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる荷重は，次式により算定する。

カンヌキ受けピンに生じる荷重の例を第3-6図に示す。

$$M = R_p \cdot \frac{L_p}{4}$$

$$Q = R_p$$



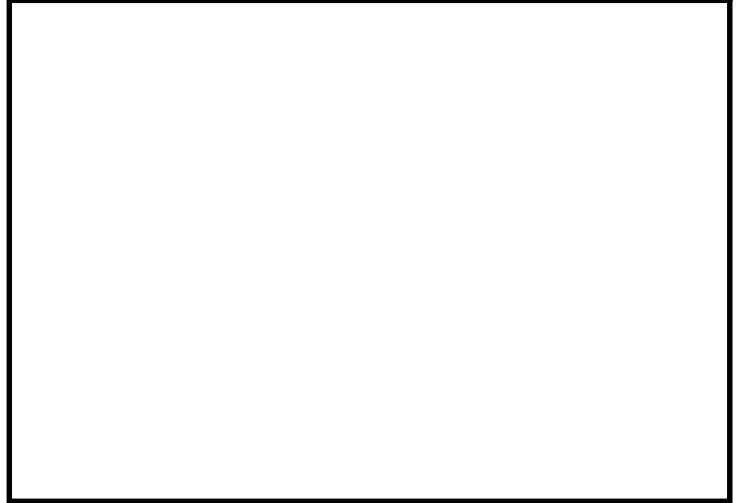
第3-6図 カンヌキ受けピンに生じる荷重の例

(c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる荷重は、次式により算定する。

カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例を第3-7図に示す。

$$T = R_p$$



第3-7図 カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

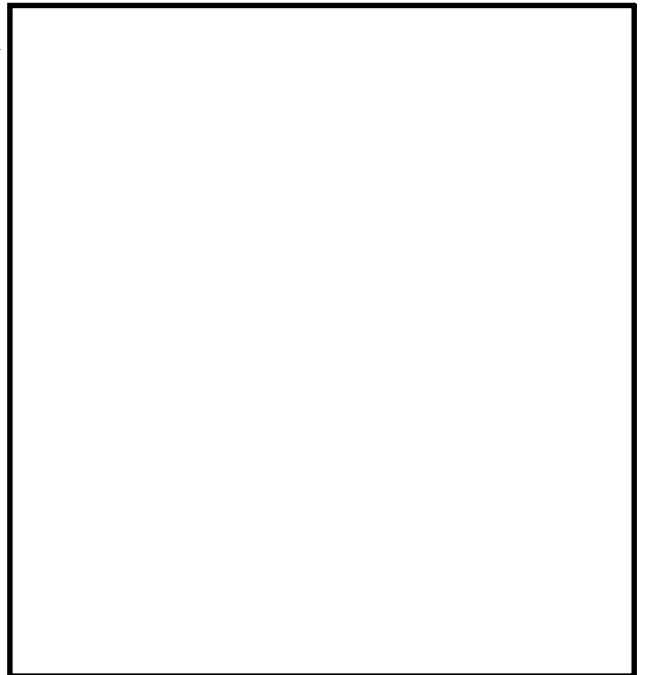
(d) 主桁

主桁に生じる荷重は、次式より、上下カンヌキ部を支点とする両端支持の集中荷重とみなし算定する。

主桁に生じる荷重の例を第3-8図に示す。

$$M = (P_O + K_S + P_D) \cdot \frac{h' \cdot (L_k - h')}{2 \cdot L_k}$$

$$Q = (P_O + K_S + P_D) \cdot \frac{h'}{2 \cdot L_k}$$



第3-8図 主桁（端桁）に生じる荷重の例



## (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、許容限界値以下であることを確認する。  
 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。

## a. 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。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

## b. 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、カンヌキ受けピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

## c. 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、組合せ応力度を次式により算定し、カンヌキの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{M}{Z}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q}{A}\right)^2}$$

## (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。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$\tau = \frac{Q}{2 \cdot A}$$

(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算定し、ボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_T = \frac{T}{n \cdot A_b}$$

4. 評価条件

「3.5 評価方法」に用いる評価条件を第4-1表に示す。

第4-1表 強度評価に用いる条件 (1/4)

対象部位	記号	単位	定義	数値			
				原子炉建屋地下2階水密扉			
				原子炉建屋残留熱 除去系A系ポンプ室 水密扉	原子炉建屋原子炉 隔離時冷却系室 北側水密扉	原子炉建屋原子炉隔 離時冷却系室 南側水密扉	原子炉建屋高圧炉心 スプレイポンプ室 水密扉
共通	G	kN	水密扉の自重				
扉板	L	m	区画短辺の長さ				
	$W_u$	kN/m	区画上端の単位長さ当 たりの作用荷重				
	$W_d$	kN/m	区画下端の単位長さ当 たりの作用荷重				
	$M_{X1}$	-	等分布荷重による曲げ 応力算定用の係数				
	$M_{X2}$	-	等変分布荷重による曲 げ応力算定用の係数				
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数				

第4-1表 強度評価に用いる条件 (2/4)

対象部位	記号	単位	定義	数値			
				原子炉建屋地下2階水密扉			
				原子炉建屋残留熱 除去系A系ポンプ室 水密扉	原子炉建屋原子炉 隔離時冷却系室 北側水密扉	原子炉建屋原子炉 隔離時冷却系室 南側水密扉	原子炉建屋高圧炉心 スプレイポンプ室 水密扉
芯材 (主桁)	H <sub>g</sub>	m	受圧高				
	B	m	受圧幅				
	P <sub>hu</sub>	kN/m <sup>2</sup>	浸水津波荷重又は 溢水による静水圧 荷重 (上部)				
	P <sub>hd</sub>	kN/m <sup>2</sup>	浸水津波荷重又は 溢水による静水圧 荷重 (下部)				
	K <sub>s</sub>	kN	地震荷重				
	P <sub>d</sub>	kN/m <sup>2</sup>	動水圧荷重				
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数				
	A	mm <sup>2</sup>	断面積				
芯材 (横桁)	Y	m	主桁ピッチ				
	a <sub>1</sub>	m	横桁ピッチ				
	a <sub>2</sub>	m	横桁ピッチ				
	a <sub>3</sub>	m	横桁ピッチ				
	a <sub>4</sub>	m	横桁ピッチ				
	a <sub>5</sub>	m	横桁ピッチ				

第4-1表 強度評価に用いる条件 (3/4)

対象部位	記号	単位	定義	数値			
				原子炉建屋地下2階水密扉			
				原子炉建屋残留熱 除去系A系ポンプ室 水密扉	原子炉建屋原子炉 隔離時冷却系室 北側水密扉	原子炉建屋原子炉 隔離時冷却系室 南側水密扉	原子炉建屋高圧炉心 スプレイポンプ室 水密扉
芯材 (横桁)	a <sub>6</sub>	m	横桁ピッチ	[Blank area for numerical values]			
	a <sub>7</sub>	m	横桁ピッチ				
	a <sub>8</sub>	m	横桁ピッチ				
	a <sub>9</sub>	m	横桁ピッチ				
	P <sub>1</sub>	kN/m <sup>2</sup>	重畳荷重				
	P <sub>2</sub>	kN/m <sup>2</sup>	重畳荷重				
	P <sub>3</sub>	kN/m <sup>2</sup>	重畳荷重				
	P <sub>4</sub>	kN/m <sup>2</sup>	重畳荷重				
	P <sub>5</sub>	kN/m <sup>2</sup>	重畳荷重				
	P <sub>6</sub>	kN/m <sup>2</sup>	重畳荷重				
	P <sub>7</sub>	kN/m <sup>2</sup>	重畳荷重				
	P <sub>8</sub>	kN/m <sup>2</sup>	重畳荷重				
	P <sub>9</sub>	kN/m <sup>2</sup>	重畳荷重				
	Z	mm <sup>3</sup>	断面係数				
A	mm <sup>2</sup>	断面積					

第4-1表 強度評価に用いる条件 (4/4)

対象部位	記号	単位	定義	数値				
				原子炉建屋地下2階水密扉				
				原子炉建屋残留熱除去系A系ポンプ室水密扉	原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉	原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉	原子炉建屋高压炉心スプレイポンプ室水密扉	
カンヌキ部	$R_p$	kN	設計水圧荷重					
	$h_c$	m	水圧中心位置					
	$H_g$	m	受圧高					
カンヌキ部	カンヌキ	$L_b$	mm					軸支持間距離
		$n$	本					本数
		$Z$	mm <sup>3</sup>					断面係数
		$A$	mm <sup>2</sup>					断面積
	カンヌキ受けピン	$L_p$	mm					軸支持間距離
		$n$	本					本数
		$Z$	mm <sup>3</sup>					断面係数
		$A$	mm <sup>2</sup>					断面積
	カンヌキ受けボルト	$n$	本					本数
		$A_b$	mm <sup>2</sup>					1本当たりの断面積

5. 強度評価結果

原子炉建屋地下2階水密扉の強度評価結果を第5-1表に示す。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値以下である。

第5-1表 原子炉建屋地下2階水密扉の強度評価結果

名称	評価対象部位		発生応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容限界値 (N/mm <sup>2</sup> )	発生応力度 /許容限界
原子炉建屋 残留熱除去 系A系ポンプ 室水密扉	扉板				
	芯材*1				
	カン ヌキ 部	カンヌキ*2			
		カンヌキ受けピン			
		カンヌキ受けボルト			
原子炉建屋 原子炉隔離 時冷却系室 北側水密扉	扉板				
	芯材*1				
	カン ヌキ 部	カンヌキ*2			
		カンヌキ受けピン			
		カンヌキ受けボルト			
原子炉建屋 原子炉隔離 時冷却系室 南側水密扉	扉板				
	芯材*1				
	カン ヌキ 部	カンヌキ*2			
		カンヌキ受けピン			
		カンヌキ受けボルト			
原子炉建屋 高压炉心ス プレイポン プ室水密扉	扉板				
	芯材*1				
	カン ヌキ 部	カンヌキ*2			
		カンヌキ受けピン			
		カンヌキ受けボルト			

注記 \*1：横桁のせん断及び曲げのうち評価結果が厳しくなる曲げによる値を記載

\*2：曲げ応力度及びせん断応力度の組合せ応力度値を記載

## 外郭防護

### 1. 概要

本資料は、資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示すとおり、浸水防護施設のうち原子炉建屋1階に設置する水密扉（以下「原子炉建屋1階水密扉」という。）について評価するものである。原子炉建屋1階水密扉は、基準津波を超え敷地に遡上する津波に伴う荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することを確認する。



## 2. 基本方針

資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示す「3. 構造強度設計」を踏まえ、水密扉の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

水密扉は、資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「3.2 機能維持の方針」のうち構造計画に示すとおり、原子炉建屋1階水密扉は、原子炉建屋原子炉棟開口部、原子炉建屋附属棟北側開口部、原子炉建屋附属棟東側開口部、原子炉建屋附属棟南側開口部、原子炉建屋附属棟西側開口部に設置する。

## 内郭防護

### 1. 概要

本資料は、資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示すとおり、浸水防護施設のうち原子炉建屋1階に設置する水密扉（以下「原子炉建屋1階水密扉」という。）について評価するものである。原子炉建屋1階水密扉は、地震により低耐震クラス設備である屋外タンクが損傷した場合の溢水等に伴う荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を維持することを確認する。

## 2. 基本方針

資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示す「3. 構造強度設計」を踏まえ、水密扉の「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

水密扉は、資料V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「3.2 機能維持の方針」のうち構造計画に示すとおり、原子炉建屋1階水密扉は、原子炉建屋原子炉棟開口部、原子炉建屋附属棟北側開口部、原子炉建屋附属棟東側開口部、原子炉建屋附属棟南側開口部、原子炉建屋附属棟西側開口部に設置する。

## 水密扉の設計に関する補足資料

## 1. 水密扉の設計に関する補足資料

本資料は、東海第二発電所の水密扉の評価方法について説明するものである。

本資料は、以下の添付の補足説明をするものである。

- ・資料V-2-10-2-8「水密扉の耐震性についての計算書」
- ・資料V-3-別添3-8「水密扉の強度計算書」

## 2. 基本方針

### 2.1 荷重組合せについて

#### (1) 風荷重及び積雪荷重の取り扱い

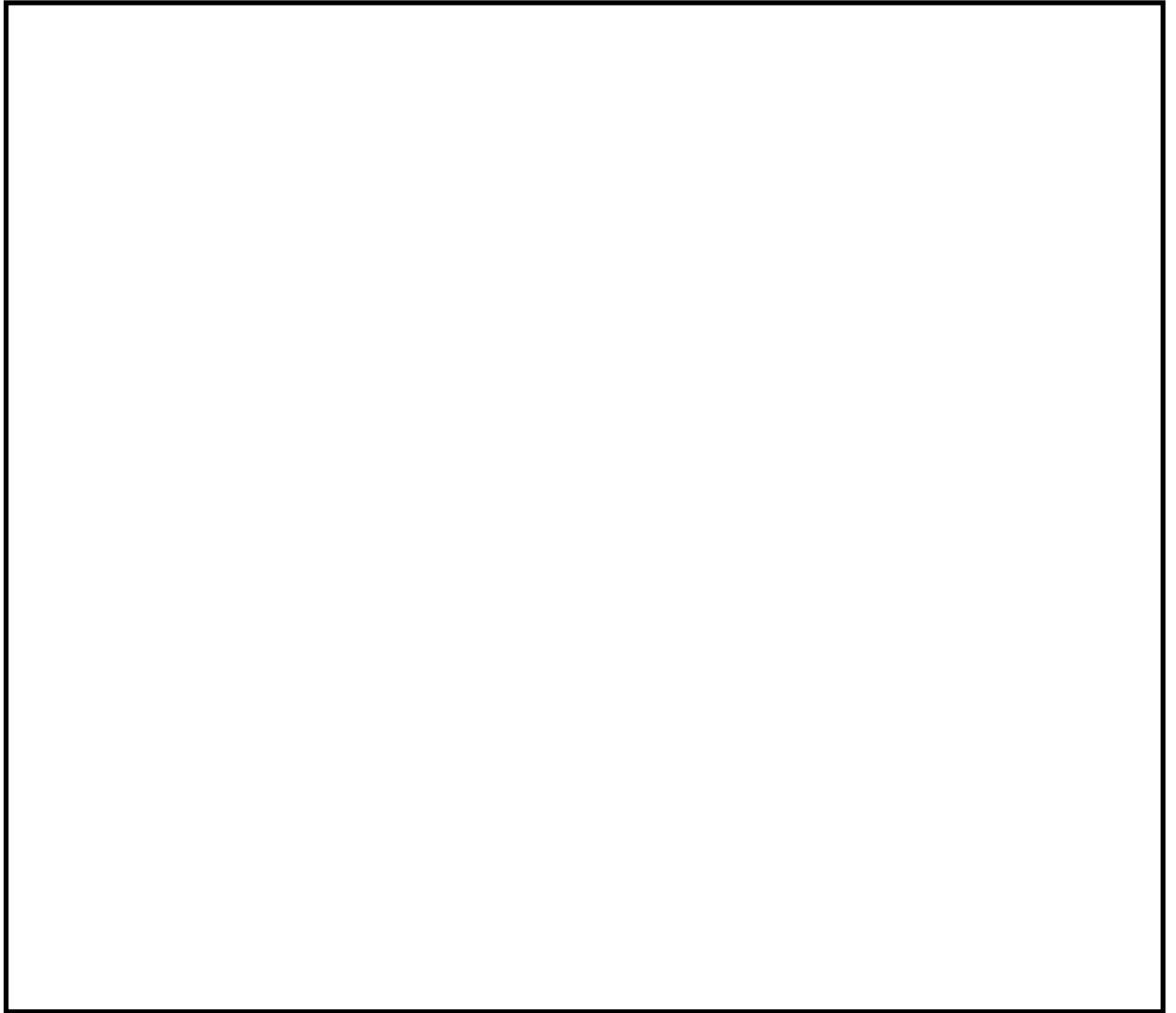
水密扉の評価における風荷重及び積雪荷重について、扉は建屋内に設置されていることから考慮しない。

### 2.2 設計震度の設定について

#### (1) 原子炉建屋地下2階水密扉

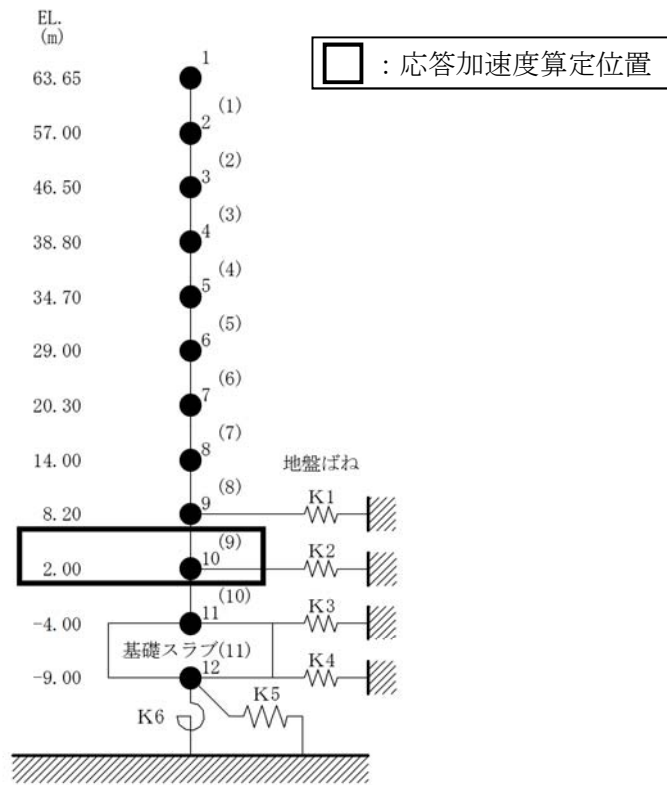
原子炉建屋地下2階水密扉設置位置における応答加速度の算出に係る応答解析は、原子炉建屋地下2階水密扉については資料V-2-7「設計用床応答曲線の作成方針」の地震応答解析結果に基づく。第2-1図に水密扉設置位置を、第2-2図に応答加速度算定位置を示す。

原子炉建屋水密扉の設計震度は、水密扉設置位置の加速度からの増幅の影響を考慮し、水密扉設置位置の上層の応答加速度を基に算出している。第2-1表に水密扉の評価個所における最大応答加速度を、第2-2表に水密扉の設計に使用した震度を示す。

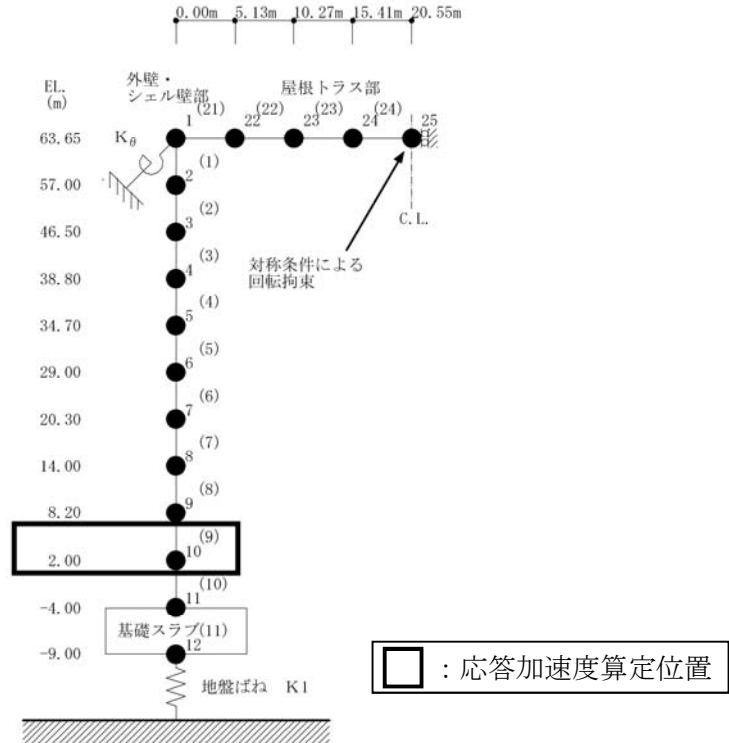


平面図

第2-1図 原子炉建屋地下2階水密扉の設置位置



原子炉建屋地震応答解析モデル（水平方向）



原子炉建屋地震応答解析モデル（鉛直方向）

第 2-2 図 原子炉建屋水密扉の設計に使用する応答加速度算定位置

第2-1表 水密扉の加速度評価個所における最大応答加速度 (1/2)

設計用最大床加速度 (原子炉建屋) 1/3

構築物	質点番号	EL. (m)	最大床加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )								
			S <sub>s</sub> -D 1			S <sub>s</sub> -1 1			S <sub>s</sub> -1 2		
			NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 方向	鉛直 方向
原子炉建屋	1	63.65	1.19	1.22	0.75	0.82	0.79	0.92	0.96	0.62	0.74
	2	57.00	1.05	1.08	0.72	0.64	0.64	0.86	0.77	0.50	0.70
	3	46.50	0.86	0.86	0.67	0.33	0.35	0.71	0.39	0.36	0.60
	4	38.80	0.79	0.78	0.64	0.26	0.32	0.66	0.33	0.33	0.59
	5	34.70	0.75	0.73	0.60	0.23	0.30	0.61	0.30	0.32	0.57
	6	29.00	0.67	0.69	0.55	0.25	0.27	0.54	0.28	0.32	0.52
	7	20.30	0.59	0.59	0.53	0.25	0.29	0.45	0.27	0.32	0.45
	8	14.00	0.54	0.54	0.52	0.27	0.30	0.42	0.28	0.29	0.44
	9	8.20	0.46	0.47	0.51	0.28	0.30	0.42	0.29	0.27	0.43
	10	2.00	0.44	0.44	0.49	0.27	0.28	0.43	0.29	0.24	0.42
	11	-4.00	0.43	0.43	0.47	0.26	0.27	0.42	0.29	0.22	0.41

設計用最大床加速度 (原子炉建屋) 1/2

構築物	質点番号	EL. (m)	最大床加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )								
			S <sub>s</sub> -1 3			S <sub>s</sub> -1 4			S <sub>s</sub> -2 1		
			NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 方向	鉛直 方向
原子炉建屋	1	63.65	0.94	0.63	0.74	0.55	0.61	0.60	1.33	1.11	1.04
	2	57.00	0.75	0.51	0.71	0.47	0.50	0.54	1.16	0.88	0.98
	3	46.50	0.40	0.36	0.61	0.32	0.28	0.44	0.89	0.42	0.84
	4	38.80	0.33	0.33	0.59	0.27	0.26	0.42	0.76	0.35	0.80
	5	34.70	0.30	0.33	0.56	0.25	0.25	0.40	0.65	0.33	0.74
	6	29.00	0.28	0.33	0.51	0.24	0.25	0.39	0.59	0.29	0.65
	7	20.30	0.30	0.32	0.44	0.25	0.24	0.38	0.49	0.31	0.56
	8	14.00	0.31	0.30	0.42	0.25	0.23	0.36	0.49	0.31	0.52
	9	8.20	0.31	0.27	0.40	0.25	0.22	0.34	0.47	0.30	0.48
	10	2.00	0.32	0.24	0.39	0.24	0.20	0.34	0.44	0.29	0.45
	11	-4.00	0.32	0.23	0.39	0.23	0.20	0.33	0.40	0.28	0.42



第 2-1 表 水密扉の加速度評価個所における最大応答加速度 (2/2)

設計用最大床加速度 (原子炉建屋) 3/3

構 築 物	質 点 番 号	EL. (m)	最大床加速度 ( $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )					
			S <sub>s</sub> -2 2			S <sub>s</sub> -3 1		
			NS 方向	EW 方向	鉛直 方向	NS 方向	EW 方向	鉛直 方向
原 子 炉 建 屋	1	63.65	1.30	1.36	1.01	1.16	1.29	0.38
	2	57.00	1.12	1.15	0.95	1.08	1.14	0.37
	3	46.50	0.87	0.72	0.77	0.97	0.95	0.32
	4	38.80	0.73	0.58	0.72	0.90	0.93	0.30
	5	34.70	0.71	0.53	0.66	0.90	0.91	0.28
	6	29.00	0.59	0.45	0.60	0.86	0.85	0.25
	7	20.30	0.49	0.42	0.56	0.70	0.74	0.21
	8	14.00	0.41	0.37	0.55	0.61	0.63	0.20
	9	8.20	0.36	0.34	0.53	0.56	0.61	0.18
	10	2.00	0.38	0.33	0.51	0.52	0.53	0.18
	11	-4.00	0.37	0.31	0.50	0.48	0.46	0.18

: 最大値

第2-2表 水密扉の設計震度

扉名称	水平震度	鉛直震度
原子炉建屋残留熱除去系 A 系ポンプ室水密扉	0.96 (941 gal)	0.92 (902 gal)
原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉	0.96 (941 gal)	0.92 (902 gal)
原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉	0.96 (941 gal)	0.92 (902 gal)
原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉	0.96 (941 gal)	0.92 (902 gal)

### 3. 耐震計算における評価

#### 3.1 評価部位

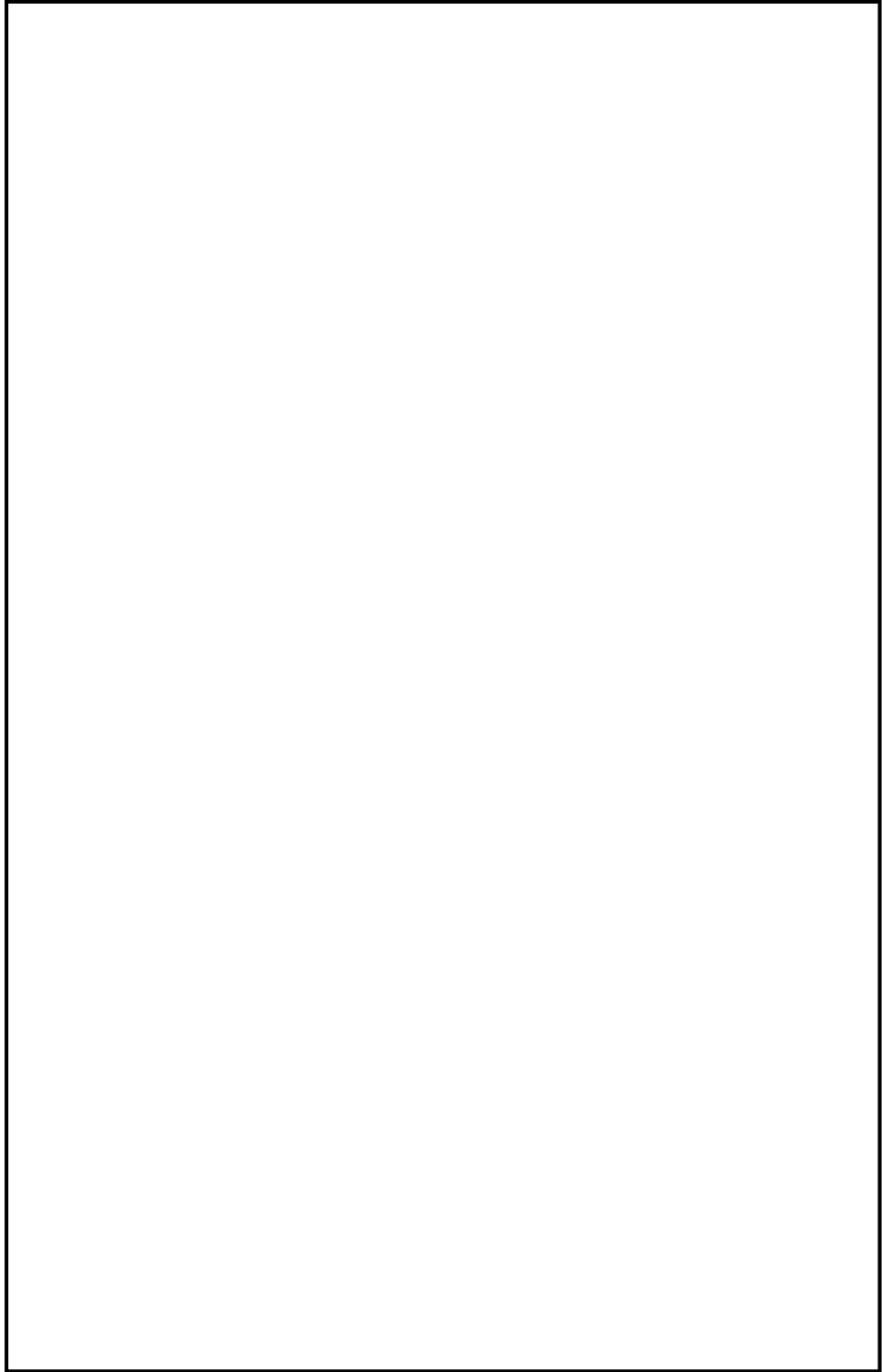
水密扉に作用する地震力の伝達について、扉種別の違いにより荷重の伝達の過程が異なる。各水密扉の扉種別及び対応フローについて第3-1表に、荷重の伝達フローを第3-1図に示す。また、扉の評価対象部位の詳細図を第3-2図に示す。

なお、いずれの扉においても、扉板及び芯材については、強度計算における応力状態が厳しいことから、強度計算における評価で代表させる。

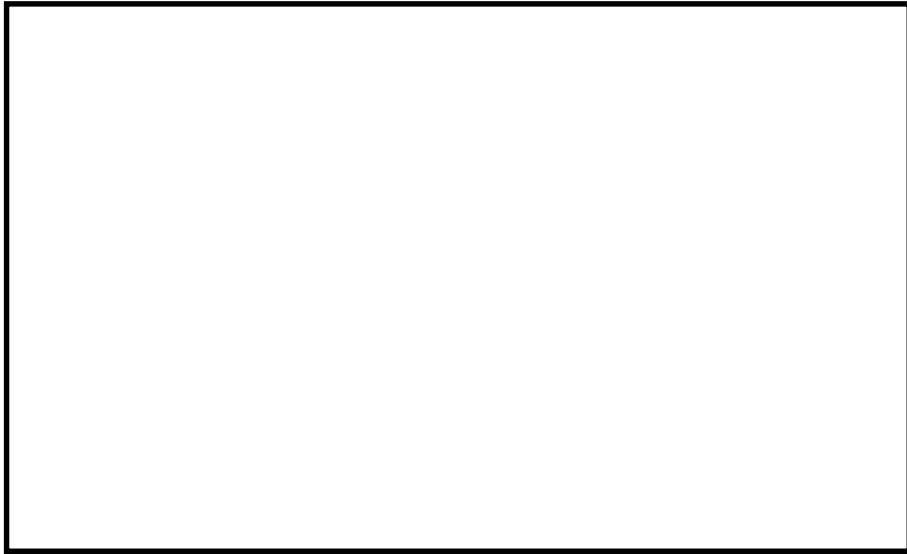
扉種別ごとの構造解析手法は以下の通りである。

第3-1表 各水密扉の扉種別及び対応

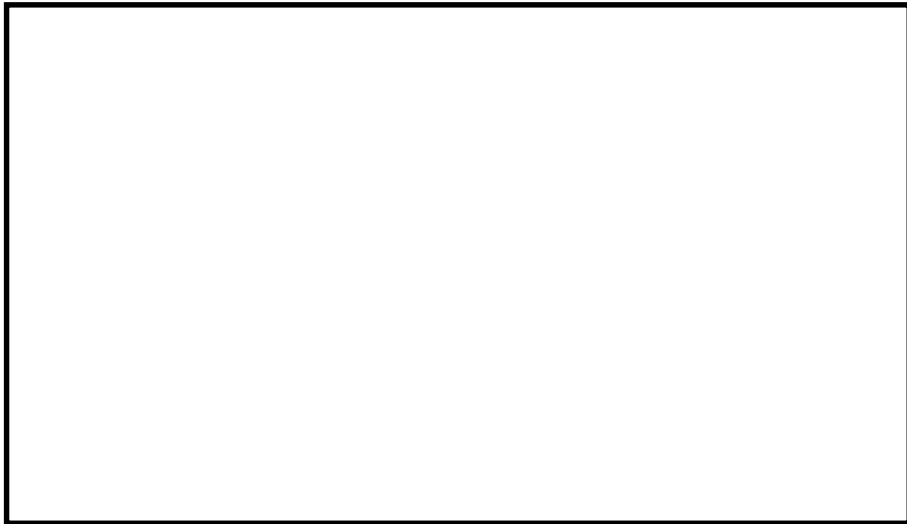
名称		扉種類	フロー図
内部 溢水	原子炉建屋残留熱除去系A系ポンプ室水密扉	片開型	①
	原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉		
	原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉		
	原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉		



フロー図①  
第3-1図 荷重の伝達フロー



アンカー詳細図 (1)



アンカー詳細図 (2)

第3-2図 評価対象部位の詳細図

(1) 片開型（フロー図①）

片開型水密扉に生じる，地震力（水平，鉛直）に伴う扉本体に作用する慣性力は，芯材からヒンジ及びカンヌキに伝達される。

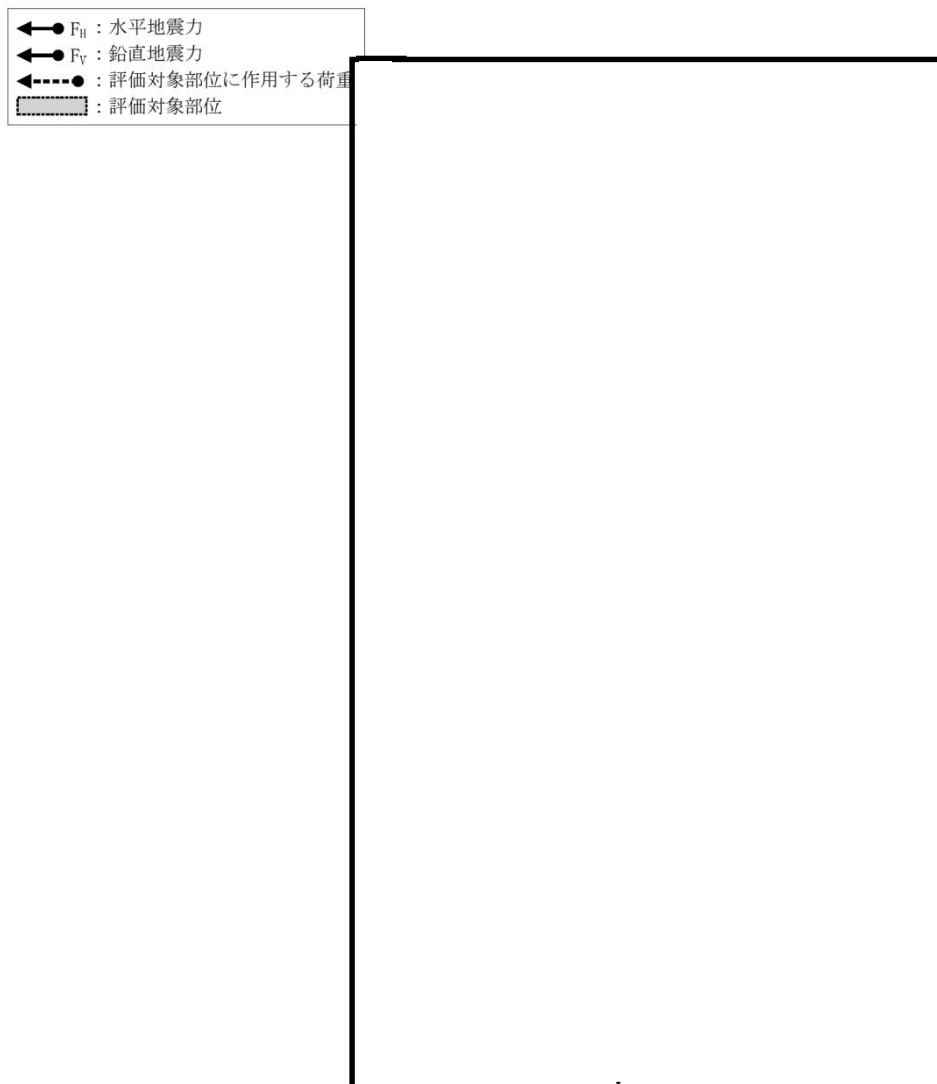
ヒンジに伝達された力は，ヒンジアームからヒンジピン，ヒンジボルトに伝わり，アンカーを介して既存躯体に伝達される。カンヌキに伝達された力は，カンヌキからカンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルトに伝わり，アンカーを介して既存躯体に伝達される。

以上のことから評価対象部位をフロー図①に示す部位とした。

また，扉の開閉状況（扉が90° 開いた状態と0° 又は180° 開いた状態）で発生応力が異なるボルト等については，それぞれの開閉状況を踏まえた評価を行っている。

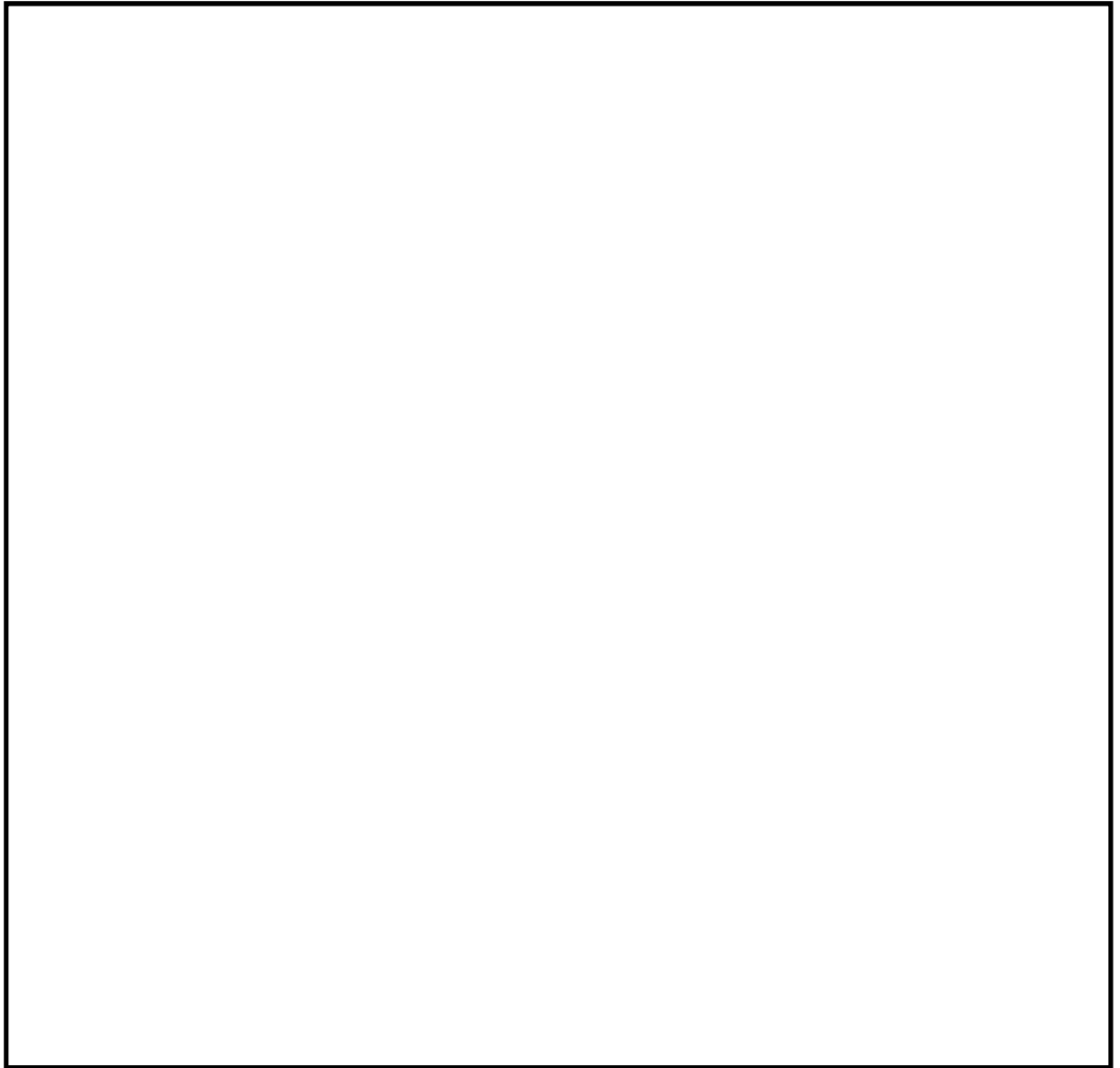
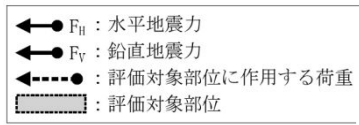
なお，扉開放時に，カンヌキは力を負担しないため評価を行わない。

第3-3図に水密扉閉塞時の荷重の作用イメージと評価部位を，第3-4図に水密扉開放時の荷重の作用イメージと評価部位を示す。



※図中の矢印は，具体的な荷重の作用位置や作用方向を示すものではない。

第3-3図 水密扉閉塞時の荷重の作用イメージと評価部位



※図中の矢印は、具体的な荷重の作用位置や作用方向を示すものではない。

第3-4図 水密扉開放時の荷重の作用イメージと評価部位

### 3.2 耐震評価方法

水密扉の耐震評価について、各部材ごとに評価方法を記す。

なお、資料V-2-10-2-8「水密扉の耐震性についての計算書」にて評価を行っているものについては省略する。

#### (1) 荷重算定

##### a. アンカー

アンカー（1本当たり）に生じる荷重は、次式により算定する。アンカーに生じる荷重の例を第3-5図に示す

$$Q = \frac{F_H}{n}$$

ここで、

Q : せん断力 (kN)

F<sub>H</sub> : 水平地震力 (kN)

n : アンカー本数 (本)



第3-5図 アンカーに生じる荷重の例



(2) 断面算定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が，許容限界値以下であることを確認する。

a. アンカー

アンカーに生じるせん断力が，次式により算定したアンカーの短期許容せん断力以下であることを確認する。

$$Q_{al}=0.7 \cdot s \sigma_y \cdot A_b$$

ここで，

$Q_a$  : アンカーの短期許容せん断力 (kN)

$s \sigma_y$  : 鋼材の降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_b$  : 1本当たりの断面積 (mm<sup>2</sup>)

### 3.3 耐震評価結果

水密扉の耐震評価結果のうち、評価対象部位ごとに最も結果が厳しい値を第3-2表に示す。  
水密扉の各部材の断面検定を行った結果、発生荷重又は応力度は許容限界値以下である。

第3-2表 水密扉の耐震評価結果

名称	評価対象部位	発生荷重 (kN)	許容限界値 (kN)	発生荷重/ 許容限界値
原子炉建屋残留 熱除去系A系ポン プ室水密扉	アンカー	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>
原子炉建屋原子 炉隔離時冷却系 室北側水密扉	アンカー			
原子炉建屋原子 炉隔離時冷却系 室南側水密扉	アンカー			
原子炉建屋高圧 炉心スプレイポ ンプ室水密扉	アンカー			

#### 4. 強度計算における評価

##### 4.1 評価部位

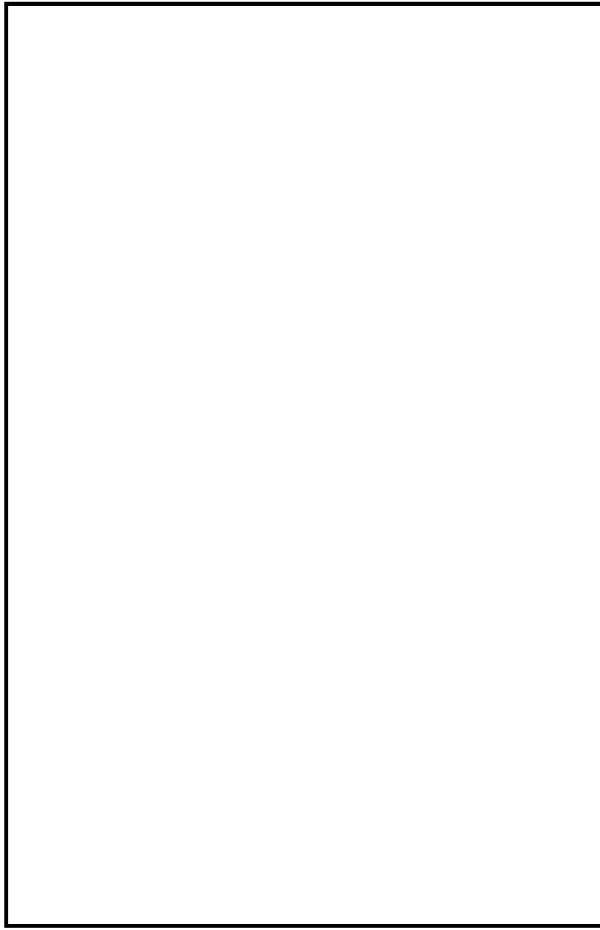
水密扉に作用する溢水による荷重（余震荷重を含む）の伝達について、荷重の作用方向の違いにより、荷重の伝達の過程が異なる。各水密扉の荷重の作用方向、扉種別及び対応フローについて第4-1表に、荷重の作用方向ごとの荷重の伝達フローを第4-1図に示す。

なお、原子炉建屋残留熱除去系A系ポンプ室水密扉、原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉、原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉、原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉に作用する荷重は、建屋内部からの溢水による荷重のため、余震荷重を考慮しない。

荷重作用方向ごとの構造解析手法は以下の通りである。

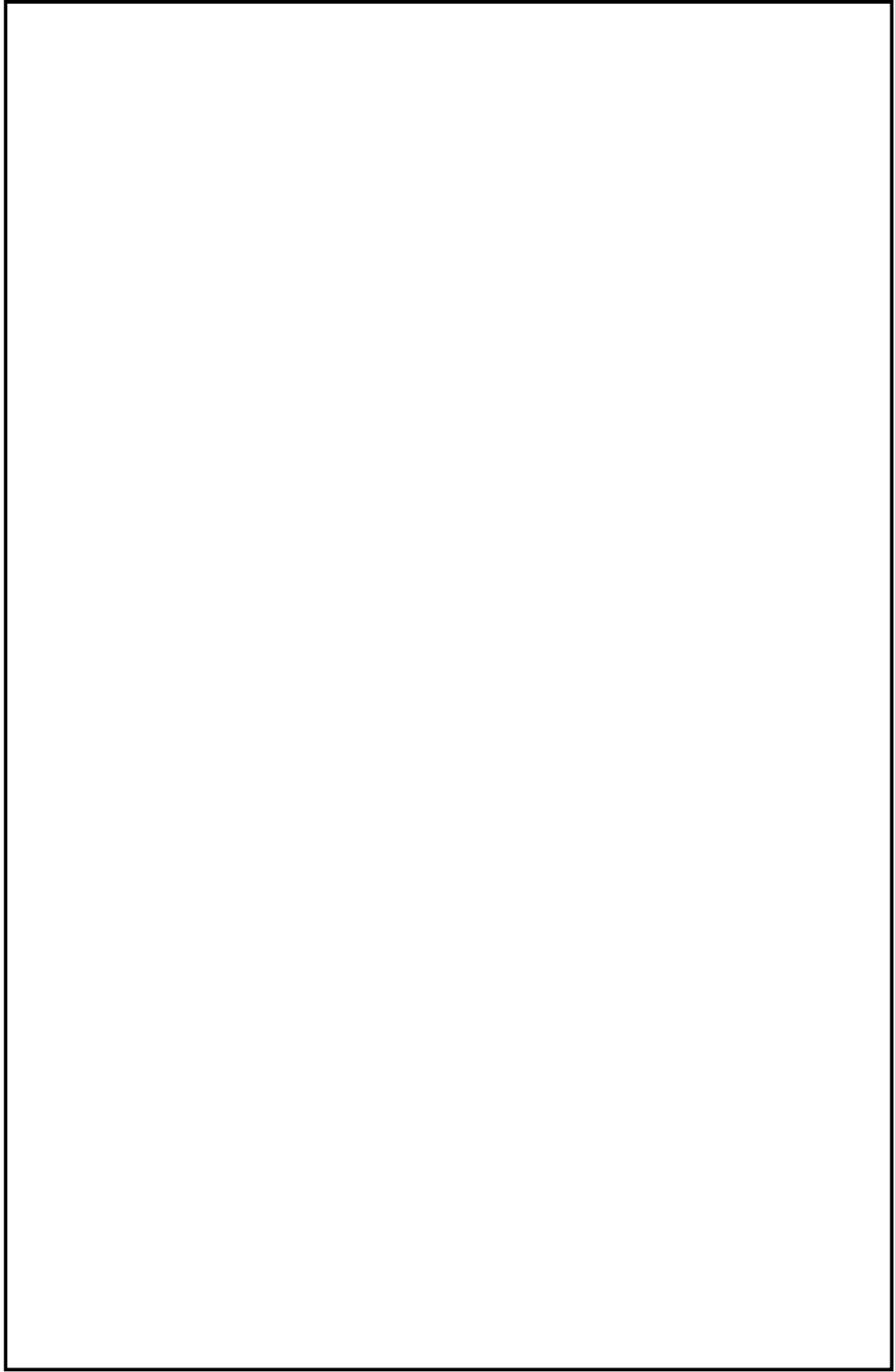
第4-1表 各水密扉の荷重の作用方向、扉種別及び対応フロー

名称		扉種類	荷重の作用方向	フロー図
内部溢水	原子炉建屋残留熱除去系 A 系ポンプ室水密扉	片開型	正圧・逆圧	① , ②
	原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉			
	原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉			
	原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉			



フロー図①

第4-1図 荷重の伝達フロー図 (1/2)



フロー図②

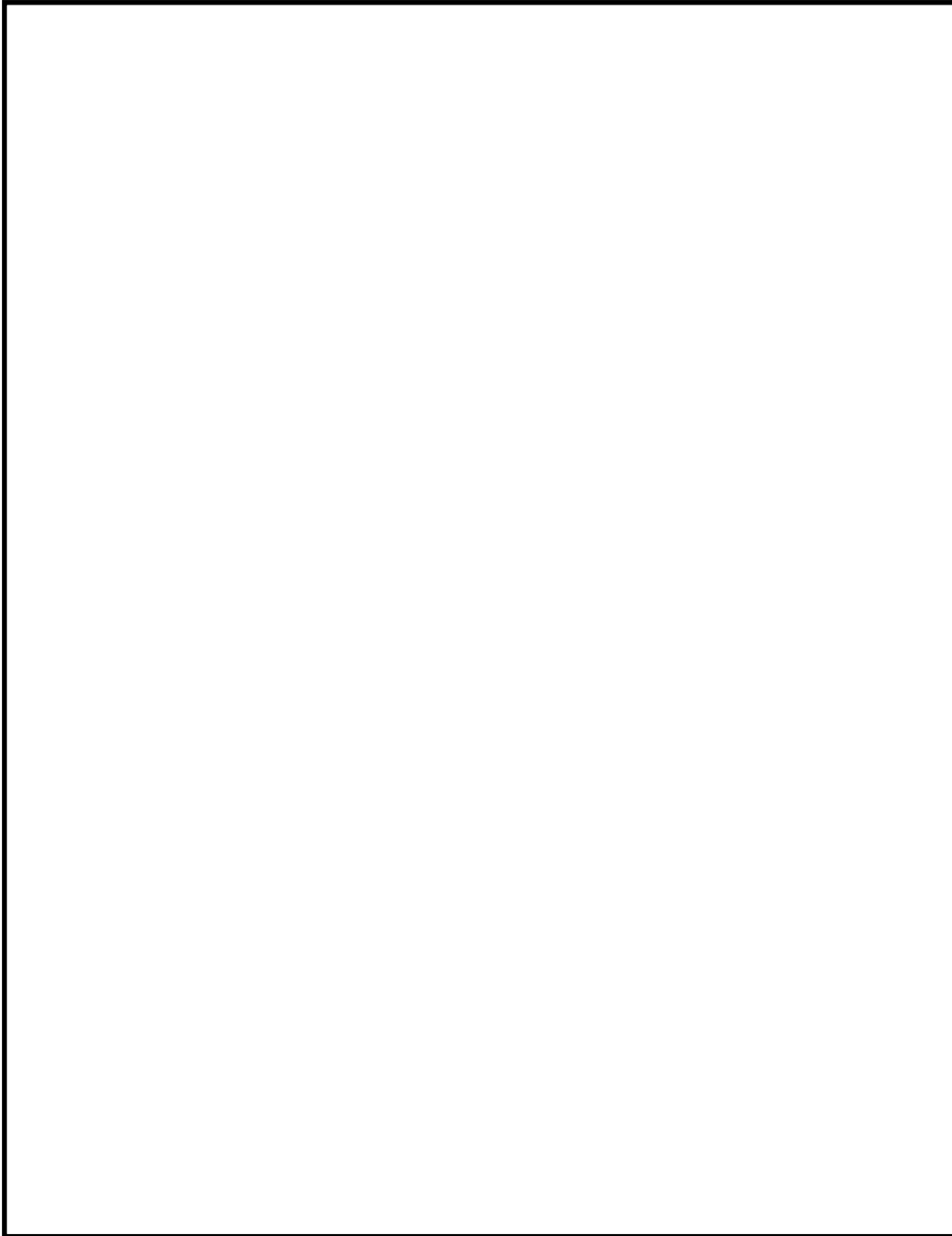
第4-1図 荷重の伝達フロー図 (2/2)

(1) 正圧の条件下（フロー図①）

水密扉に生じる外部からの溢水に伴う荷重（余震荷重を含まない）は、扉板から芯材に伝わり、アンカーを介して既存躯体に伝達される。

以上のことから評価対象部位をフロー図①に示す部位とした。

第4-2図に荷重の作用イメージと評価部位を示す。



※図中の矢印は、具体的な荷重の作用位置や作用方向を示すものではない。

第4-2図 荷重の作用イメージと評価部位

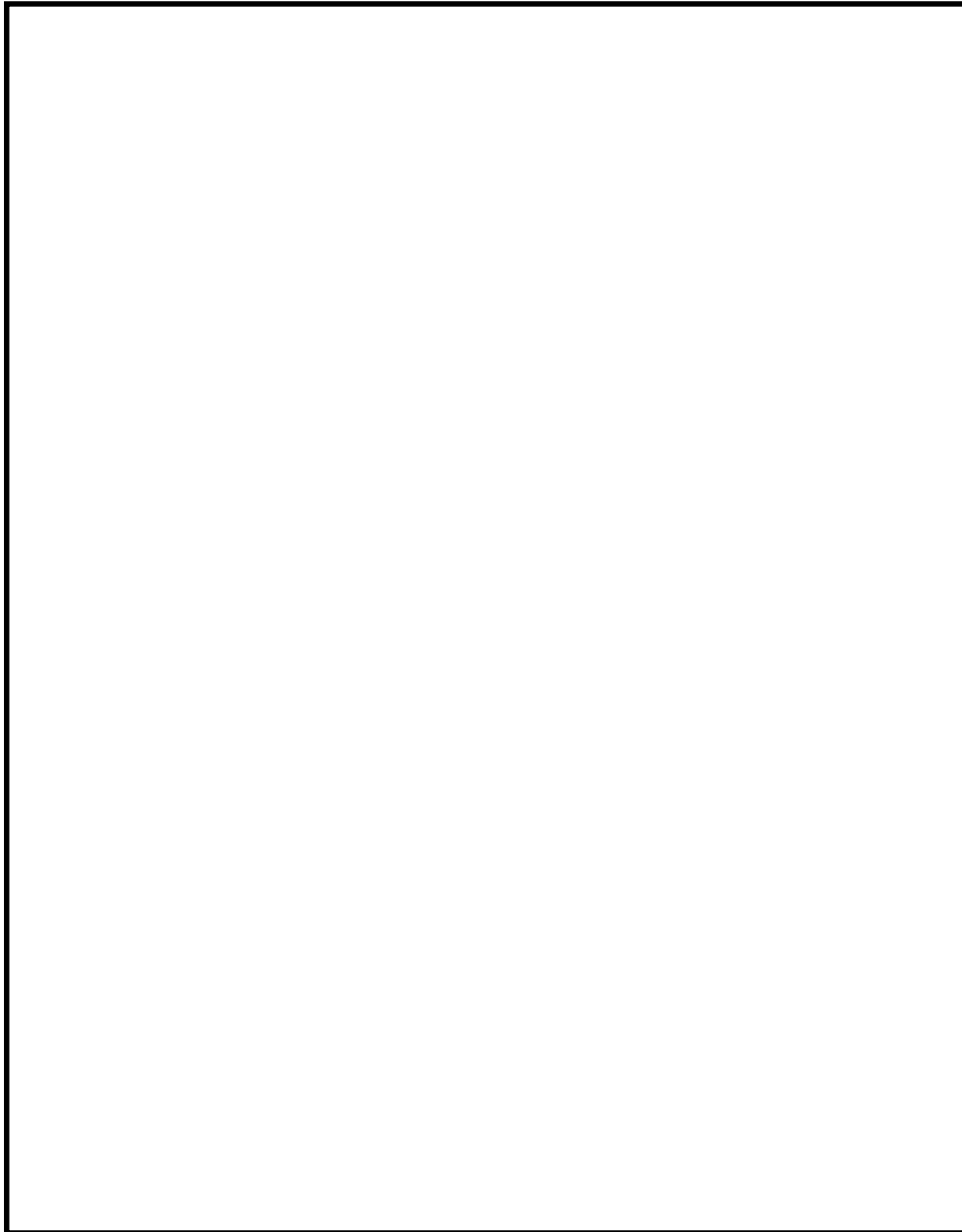
(2) 逆圧の条件下（フロー図②）

水密扉に生じる建屋内部からの溢水に伴う荷重は、扉板から芯材、芯材からカンヌキに伝達される。

カンヌキに伝達された力は、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルトに伝わり、アンカーを介して既存躯体に伝達される。

以上のことから評価対象部位をフロー図②に示す部位とした。

第4-3図の荷重の作用イメージと評価部位を示す。



※図中の矢印は、具体的な荷重の作用位置や作用方向を示すものではない。

第4-3図 荷重の作用イメージと評価部位

## 4.2 強度評価方法

水密扉の強度評価について、各部材ごとに評価方法を記す。

なお、資料V-3-別添3-8「水密扉の強度計算書」にて評価を行っているものについては省略する。

### (1) 荷重算定

#### a. アンカー

アンカー（1本当たり）に生じる荷重は、正圧又は逆圧の条件下において、それぞれ次式により算定する。正圧時にアンカーに生じる荷重の例を第4-4図に、逆圧時にアンカーに生じる荷重の例を第4-5図に示す。

（正圧の条件下）

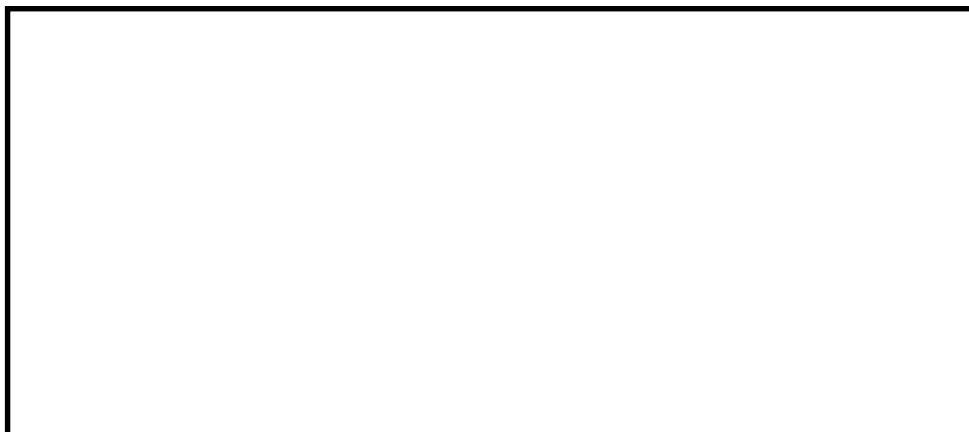
$$Q = \frac{p}{n}$$

ここで、

Q：せん断力（kN）

p：重畳荷重（kN）

n：アンカー本数（本）



第4-4図 正圧時にアンカーに生じる荷重の例



(逆圧の条件下)

$$Q = \frac{R_p}{n}$$

ここで、

Q : せん断力 (kN)

$R_p$  : 溢水圧による荷重 (kN)

n : アンカー本数 (本)

なお、内外からの溢水高さが同一のため  $p = R_p$  となる。



第4-5図 逆圧時にアンカーに生じる荷重の例

(2) 断面算定

a. アンカー

アンカーに生じるせん断力又は引張力が，次式により算定したアンカーの短期許容せん断力以下であることを確認する。

$$Q_a = 0.7 \cdot \sigma_y \cdot A_b$$

ここで，

$Q_a$  : アンカーの短期許容せん断力 (kN)




$\sigma_y$  : 鋼材の降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_b$  : 1本当たりの断面積 (mm<sup>2</sup>)

#### 4.3 強度評価結果

水密扉の強度評価結果のうち、評価対象部位ごとに、正圧及び逆圧の条件下のそれぞれで最も結果が厳しい値を第4-2表に示す。水密扉の各部材の断面検定を行った結果、発生荷重は許容限界値以下である。

第4-2表 水密扉の強度評価結果

名称	評価対象部位	発生荷重 (kN)	許容限界値 (kN)	発生荷重/ 許容限界値
原子炉建屋残留熱 除去系A系ポンプ室 水密扉	アンカー			
原子炉建屋原子炉 隔離時冷却系室北 側水密扉	アンカー			
原子炉建屋原子炉 隔離時冷却系室南 側水密扉	アンカー			
原子炉建屋高压炉 心スプレイポンプ 室水密扉	アンカー			