本資料のうち，枠囲みの内容は，
営業秘密又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 2
提出年月日	平成 30 年 6 月 27 日

Ⅴ-3-別添 3-4-2　水密扉の強度計算書

NT2 補② Ⅴ-3-別添-3-4-2 R2

目次

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 15
3.4　許容限界 16
3.5　評価方法 18
4.　評価条件 25
5.　強度評価結果 30

NT2 補② V-3-別添-3-4-2 R2

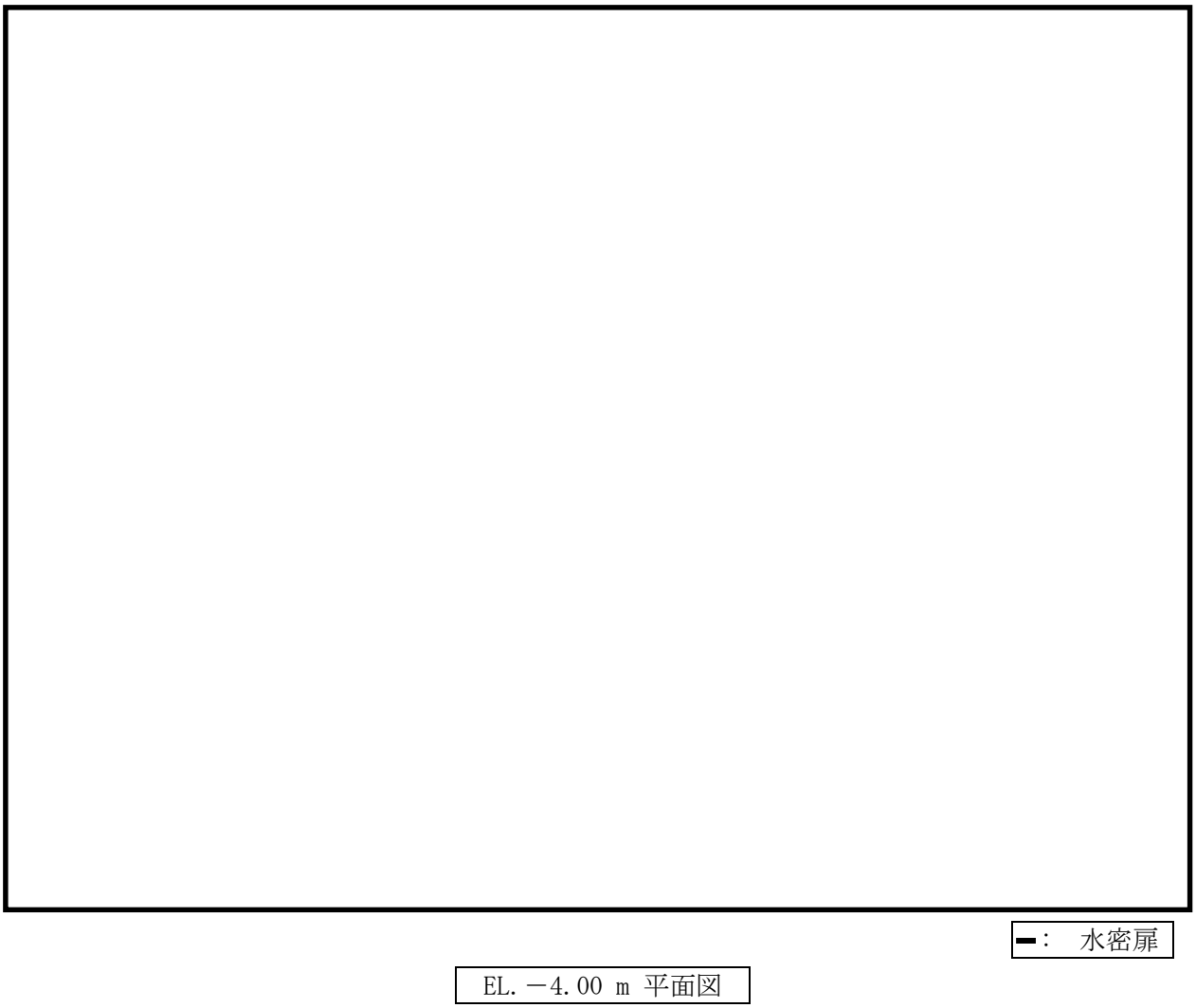
1.　概要

本資料は，資料Ｖ-3-別添3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，原子炉建屋地下2階に設置する水密扉（以下「水密扉」という。）が，溢水に伴う静水圧荷重を考慮した場合において，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ものである。

2.　基本方針

2.1　位置

水密扉は，資料Ⅴ-3-別添3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す「2.1 評価対象施設」のうち構造計画に示すとおり，原子炉建屋原子炉棟の開口部に設置する。水密扉の設置位置図を第2－1図に示す。

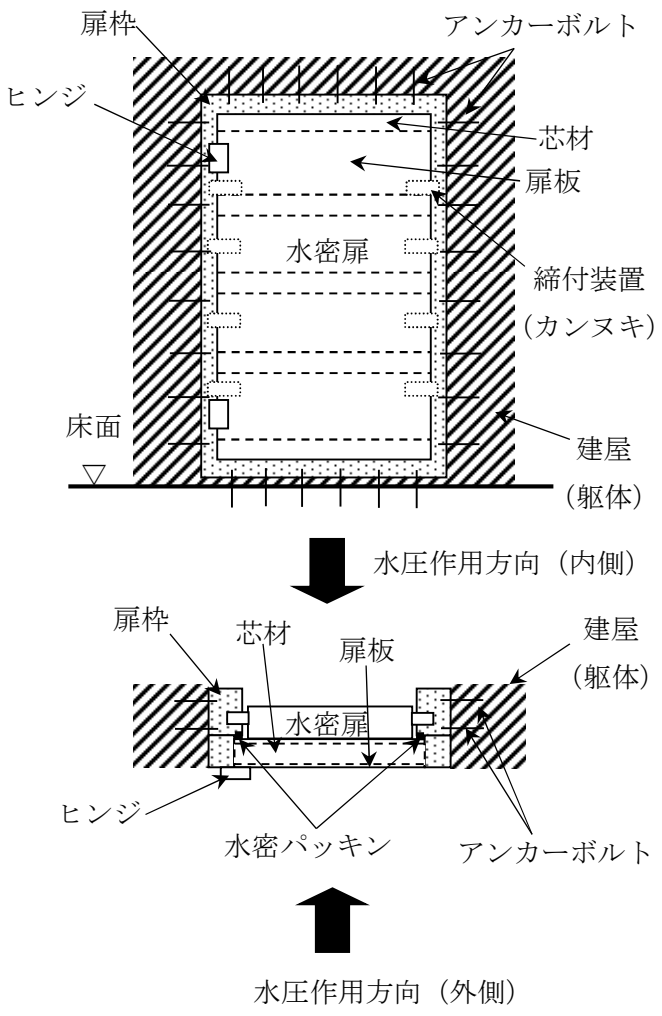


第2－1図　水密扉の設置位置図

2.2　構造概要

資料Ｖ-3-別添3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」で設定している荷重を踏まえて設計した水密扉の構造計画を第2－1表に，構造図を第2－2図，第2－3図，第2－4図，第2－5図に示す。

第2－1表　水密扉の構造計画

設備名称	計画構造		説明図
	主体構造	支持構造	
水密扉	片開型の鋼製扉とし，鋼製の扉板に芯材を取付，扉に設置された締付装置（カンヌキ）を鋼製の扉枠に，差し込み，扉と扉枠を一体化させる構造とする。 また，扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。	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，締付装置（カンヌキ）により扉が扉枠に固定される構造とする。 また，扉枠を建屋の開口部周辺に，アンカーボルトにより固定する構造とする。	

残留熱除去系A系ポンプ室水密扉

第2－2図　残留熱除去系A系ポンプ室水密扉の構造図

原子炉隔離時冷却系室北側水密扉

第2－3図　原子炉隔離時冷却系室北側水密扉の構造図

原子炉隔離時冷却系室南側水密扉

第2－4図　原子炉隔離時冷却系室南側水密扉の構造図

高圧炉心スプレイ系ポンプ室水密扉

第2－5図　高圧炉心スプレイ系ポンプ室水密扉の構造図

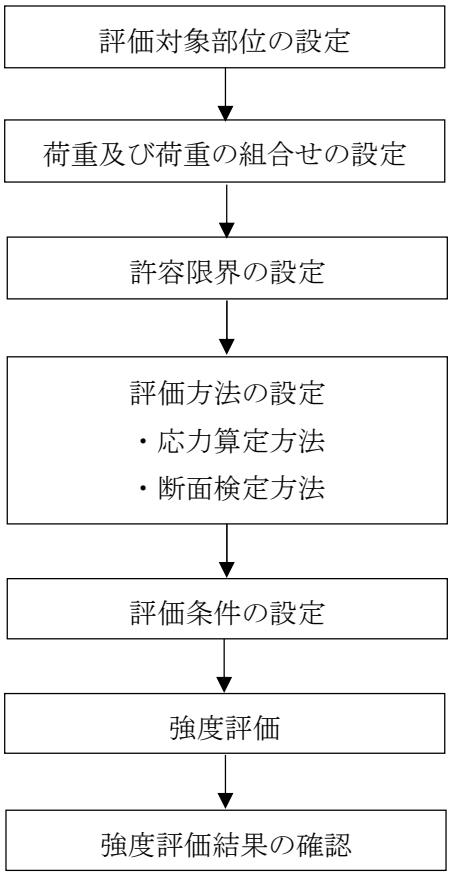
2.3　評価方針

水密扉の強度評価は，資料Ｖ-3-別添3-3「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」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，溢水に伴う静水圧荷重により，原子炉建屋原子炉棟に設置する水密扉へ作用する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，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，芯材及び締付装置（カンヌキ）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。



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）
- 各種合成構造指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）
- JIS　G　3101－2015　一般構造用圧延鋼材
- JIS　G　4053－2012　機械構造用　合金鋼鋼材

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^2	断面積
A_a	mm^2	1本当たりの表面積
A_b	mm^2	1本当たりの断面積
a_n	m	横桁ピッチ
g	m/s^2	重力加速度
h	m	当該部分の浸水深
H	m	水深
h_c	m	水圧中心位置
h ‘	m	水圧中心位置からカンヌキ間距離
H_g	m	受圧高
L	m	区画短辺の長さ
L_b	mm	軸支持間距離　（カンヌキ）
L_p	m	軸支持間距離　（カンヌキ受けピン）
L_k	m	カンヌキ中心間距離
M	kN･m	曲げモーメント
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
n	本	ボルトの本数
P_0	kN	設計水圧荷重
P_h	kN/m^2	溢水による静水圧荷重
P_T	kN	許容引張力
P_n	kN/m^2	横桁負担溢水時荷重
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^3	断面係数
ρ	t/m^3	水の密度

第3－1表　強度評価に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
σ	N/mm^2	曲げ応力度
σ_T	N/mm^2	引張応力度
σ_x	N/mm^2	組合せ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度
Q_a	kN	アンカーボルトの短期許容せん断力

3.2　評価対象部位

水密扉の評価対象部位は，「2.2　構造概要」の構造計画に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえて選定する。

外部からの荷重作用時は，扉板から芯材に伝わり，壁と一体化した扉枠を介し，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。内部からの荷重作用時は，内部の扉本体から芯材に伝わり，締付装置（以下「カンヌキ部」という。）に伝達されることからカンヌキ部を評価対象部位とする。

水密扉に作用する荷重の作用図を第3－1図に示す。

：溢水に伴う荷重
：評価対象部位に作用する荷重
：評価対象部位

第3－1図　水密扉に作用する荷重の作用図（1/2）

：溢水に伴う荷重
：評価対象部位に作用する荷重
：評価対象部位

第3－1図　水密扉に作用する荷重の作用図（2/2）

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3-3「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。

(1)　荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下の荷重を用いる。

a.　溢水による静水圧荷重（P_h）

溢水に伴う荷重として，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。

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

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	水密扉の設置階	床面からの溢水の高さ(m)	溢水の密度(t/m³)	溢水の性状
残留熱除去系A系ポンプ室水密扉					
原子炉隔離時冷却系室北側水密扉					
原子炉隔離時冷却系室南側水密扉					
高圧炉心スプレイ系ポンプ室水密扉					

(1)　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，Ｖ-3-別添3-3「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」にて設定している荷重を踏まえて水密扉の設置位置ごとに設定する。

荷重の組合せを第3－3表に示す。

第3－3表　荷重の組合せ

扉名称	荷重の組合せ
残留熱除去系A系ポンプ室水密扉	P_h
原子炉隔離時冷却系室北側水密扉	P_h
原子炉隔離時冷却系室南側水密扉	P_h
高圧炉心スプレイ系ポンプ室水密扉	P_h

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3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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，カンヌキ部及びアンカーボルトの使用材料を第3－4表に示す。

第3－4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		
アンカーボルト			

(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3－5表の値とする。

第3－5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^2）		
	曲げ*3	引張	せん断
[redacted]			

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　3101：2015　一般構造用圧延鋼材」，「JIS　G　4053：2012　機械構造用　合金鋼鋼材」に基づく

＊3：組合せの短期許容応力度は，引張と同じ。

b.　アンカーボルト

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）」に基づき算定した第3－6表の値とする。

アンカーボルトがせん断力を受けるため，アンカーボルトのせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

第3－6表　アンカーボルトの許容限界

扉名称	評価対象となるアンカーボルトの部位	仕様	短期許容荷重（kN/本）
			せん断
残留熱除去系A系ポンプ室水密扉	躯体全周	[redacted]	
原子炉隔離時冷却系室北側水密扉			
原子炉隔離時冷却系室南側水密扉			
高圧炉心スプレイ系ポンプ室水密扉			

3.5　評価方法

水密扉の強度評価は，資料Ⅴ-3-別添3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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

扉板に生じる応力は，等分布荷重を受ける周辺固定支持の矩形板として，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説―許容応力度設計法―（(社) 日本建築学会，1999改定）」に基づく次式により算定する。なお，算定に当たっては，水圧作用高さにより台形分布状の荷重形態を考慮する。

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例

b.　芯材

芯材に生じる応力は，荷重を負担する芯材の取付方向（鉛直又は水平方向）に応じ，等分布荷重又は集中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。

なお，鉛直方向に取付く主桁については，正圧時扉枠で支持されるため，逆圧時の評価とする。

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

NT2 補② V-3-別添-3-4-2 R2

(b)　主桁

主桁に生じる荷重は，扉上端高さH_1及び扉下端高さH_0より算定される台形状の分布荷重を集中荷重に置換した設計水圧荷重P_Oが，上下カンヌキ部を支点とする両端支持へ集中荷重として作用するものとみなす。

主桁に生じる荷重の例を第3－4図に示す。

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

$$Q = P_O \cdot \frac{h'}{2 \cdot L_k}$$

第３－４図　芯材（主桁）に生じる荷重の例

NT2 補② V－3－別添－3－4－2 R2

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，カンヌキ部に生じる荷重R_pは，扉上端高さH_1及び扉下端高さH_0より算定される台形状の分布荷重を集中荷重に置換した設計水圧荷重P_Oにより算定し，各構成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3－5図に示す。

$$R_P = P_O \cdot \frac{h'}{2 \cdot L_k}$$

$$h' = L_2 - h_C$$

第3－5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3－6図に示す。

$M = R_P \cdot L_b$

$Q = R_P$

第3－6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3－7図に示す。

$$M = R_P \cdot \frac{L_P}{4}$$

$$Q = \frac{R_P}{2}$$

第3－7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3－8図に示す。

$$T = R_P$$

第3－8図　カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

d．　アンカーボルト

アンカーボルトに生じる荷重は，正圧又は逆圧の条件下が同じであることから，次式により算定する。アンカーボルトに生じる荷重の例を第3－9図に示す。

ここで，

$Q = P_o$

Q　：せん断力（kN）

P_o：設計水圧荷重（kN）

第3－9図　アンカーボルトに生じる荷重の例

(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。

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

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

(c)　カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルト1本当たり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。

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

d.　アンカーボルト

アンカーボルト１本当たりに生じるせん断力が，アンカーボルトの許容短期せん断力以下であることを確認する。

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

ここで，

Q_a　：アンカーボルト1本当たりせん断力（kN）

n　：荷重を負担するアンカーボルトの本数（本）

Q　：アンカーボルトに生じるせん断力（kN）

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）

記号	単位	定義	数値			
			原子炉建屋地下2階水密扉			
			残留熱除去系A系ポンプ室水密扉	原子炉隔離時冷却系室北側水密扉	原子炉隔離時冷却系室南側水密扉	高圧炉心スプレイ系ポンプ室水密扉
a_1	m	芯材（横桁）の横桁ピッチ				
a_2	m	芯材（横桁）の横桁ピッチ				
a_3	m	芯材（横桁）の横桁ピッチ				
a_4	m	芯材（横桁）の横桁ピッチ				
a_5	m	芯材（横桁）の横桁ピッチ				
a_6	m	芯材（横桁）の横桁ピッチ				
a_7	m	芯材（横桁）の横桁ピッチ				
a_8	m	芯材（横桁）の横桁ピッチ				
a_9	m	芯材（横桁）の横桁ピッチ				
A	mm^2	芯材（主桁）の断面積				
A	mm^2	芯材（横桁）の断面積				
A	mm^2	カンヌキの断面積				
A	mm^2	カンヌキ受けピンの断面積				
A_b	mm^2	カンヌキ受けボルト1本当たりの断面積				
h_c	m	カンヌキ部に作用する水圧中心位置				
h’	m	水圧中心位置からカンヌキ間距離				
H_g	m	芯材（主桁）の受圧高				
H_g	m	カンヌキ部の受圧高				

第4－1表　強度評価に用いる条件（2/4）

記号	単位	定義	数値			
			原子炉建屋地下2階水密扉			
			残留熱除去系A系ポンプ室水密扉	原子炉隔離時冷却系室北側水密扉	原子炉隔離時冷却系室南側水密扉	高圧炉心スプレイ系ポンプ室水密扉
L	m	扉板の区画短辺の長さ				
L_k	m	カンヌキ間距離				
L_b	mm	カンヌキの軸支持間距離				
L_p	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離				
M	kN･m	扉板に作用する曲げモーメント				
M	kN･m	芯材（横桁）に作用する曲げモーメント				
M	kN･m	芯材（主桁）に作用する曲げモーメント				
M	kN･m	カンヌキに作用する曲げモーメント				
M	kN･m	カンヌキ受けピンに作用する曲げモーメント				
M_{X1}	－	扉板の等分布荷重による曲げ応力算定用の係数				
M_{X2}	－	扉板の等変分布荷重による曲げ応力算定用の係数				
n	本	カンヌキ本数				
n	本	カンヌキ受けピンの本数				

第4－1表　強度評価に用いる条件（3/4）

記号	単位	定義	数値			
			原子炉建屋地下2階水密扉			
			残留熱除去系A系ポンプ室水密扉	原子炉隔離時冷却系室北側水密扉	原子炉隔離時冷却系室南側水密扉	高圧炉心スプレイ系ポンプ室水密扉
n	本	カンヌキ受けボルトの本数				
n	本	アンカーボルト本数				
P_{hu}	kN/m^2	芯材（主桁）の溢水による静水圧荷重（上部）				
P_{hd}	kN/m^2	芯材（主桁）の溢水による静水圧荷重（下部）				
P_1	kN/m^2	芯材（横桁）のピッチ荷重				
P_2	kN/m^2	芯材（横桁）のピッチ荷重				
P_3	kN/m^2	芯材（横桁）のピッチ荷重				
P_4	kN/m^2	芯材（横桁）のピッチ荷重				
P_5	kN/m^2	芯材（横桁）のピッチ荷重				
P_6	kN/m^2	芯材（横桁）のピッチ荷重				
P_7	kN/m^2	芯材（横桁）のピッチ荷重				
P_8	kN/m^2	芯材（横桁）のピッチ荷重				
P_9	kN/m^2	芯材（横桁）のピッチ荷重				
Q	kN	芯材（横桁）に作用するせん断力				
Q	kN	芯材（主桁）に作用するせん断力				

第4－1表　強度評価に用いる条件（4/4）

記号	単位	定義	数値			
			原子炉建屋地下2階水密扉			
			残留熱除去系A系ポンプ室水密扉	原子炉隔離時冷却系室北側水密扉	原子炉隔離時冷却系室南側水密扉	高圧炉心スプレイ系ポンプ室水密扉
Q	kN	カンヌキに作用するせん断力				
Q	kN	カンヌキ受けピンに作用するせん断力				
Q	kN	アンカーボルトに作用するせん断力				
Q_a	kN	アンカーボルト1本当たりに作用するせん断力				
P_0	kN	設計水圧荷重				
R_P	kN	カンヌキ部に作用する設計水圧荷重				
T	kN	カンヌキ受けボルトに作用する引張力				
W_u	kN/m	扉板の区画上端の単位長さ当たりの作用荷重				
W_d	kN/m	扉板の区画下端の単位長さ当たりの作用荷重				
Y	m	芯材（横桁）の主桁ピッチ				
Z	mm^3	扉板の断面係数				
Z	mm^3	芯材（主桁）の断面係数				
Z	mm^3	芯材（横桁）の断面係数				
Z	mm^3	カンヌキの断面係数				
Z	mm^3	カンヌキ受けピンの断面係数				

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(1/2)

名称	評価対象部位			発生応力度又は応力 (N/mm²)	短期許容限界値 (N/mm²)	発生応力度／許容限界値 (－)
残留熱除去系A系ポンプ室水密扉	扉板					
	芯材（横桁）		曲げ			
			せん断			
	芯材（主桁）		曲げ			
			せん断			
	カンヌキ部	カンヌキ	曲げ			
			せん断			
			組合せ			
		カンヌキ受けピン	曲げ			
			せん断			
		カンヌキ受けボルト				
	アンカーボルト					
原子炉隔離時冷却系室北側水密扉	扉板					
	芯材（横桁）		曲げ			
			せん断			
	芯材（主桁）		曲げ			
			せん断			
	カンヌキ部	カンヌキ	曲げ			
			せん断			
			組合せ			
		カンヌキ受けピン	曲げ			
			せん断			
		カンヌキ受けボルト				
	アンカーボルト					

第5－1表　原子炉建屋地下2階水密扉の強度評価結果(2/2)

名称	評価対象部位			発生応力度又は応力 (N/mm^2)	短期許容限界値 (N/mm^2)	発生応力度／許容限界値 (－)
原子炉隔離時冷却系室南側水密扉	扉板					
	芯材（横桁）		曲げ			
			せん断			
	芯材（主桁）		曲げ			
			せん断			
	カンヌキ部	カンヌキ	曲げ			
			せん断			
			組合せ			
		カンヌキ受けピン	曲げ			
			せん断			
		カンヌキ受けボルト				
	アンカーボルト					
高圧炉心スプレイ系ポンプ室水密扉	扉板					
	芯材（横桁）		曲げ			
			せん断			
	芯材（主桁）		曲げ			
			せん断			
	カンヌキ部	カンヌキ	曲げ			
			せん断			
			組合せ			
		カンヌキ受けピン	曲げ			
			せん断			
		カンヌキ受けボルト				
	アンカーボルト					