

資料番号	工認-151 改0
提出年月日	平成30年2月20日

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

V-2-10-2-8 水密扉の耐震性についての計算書

(コメント回答資料)

1. 概要

本資料は、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」の構造強度及び機能維持の設計方針に準じて、原子炉建屋原子炉棟地下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。）が基準地震動に対して十分な構造強度及び止水性を有していることを説明するものである。

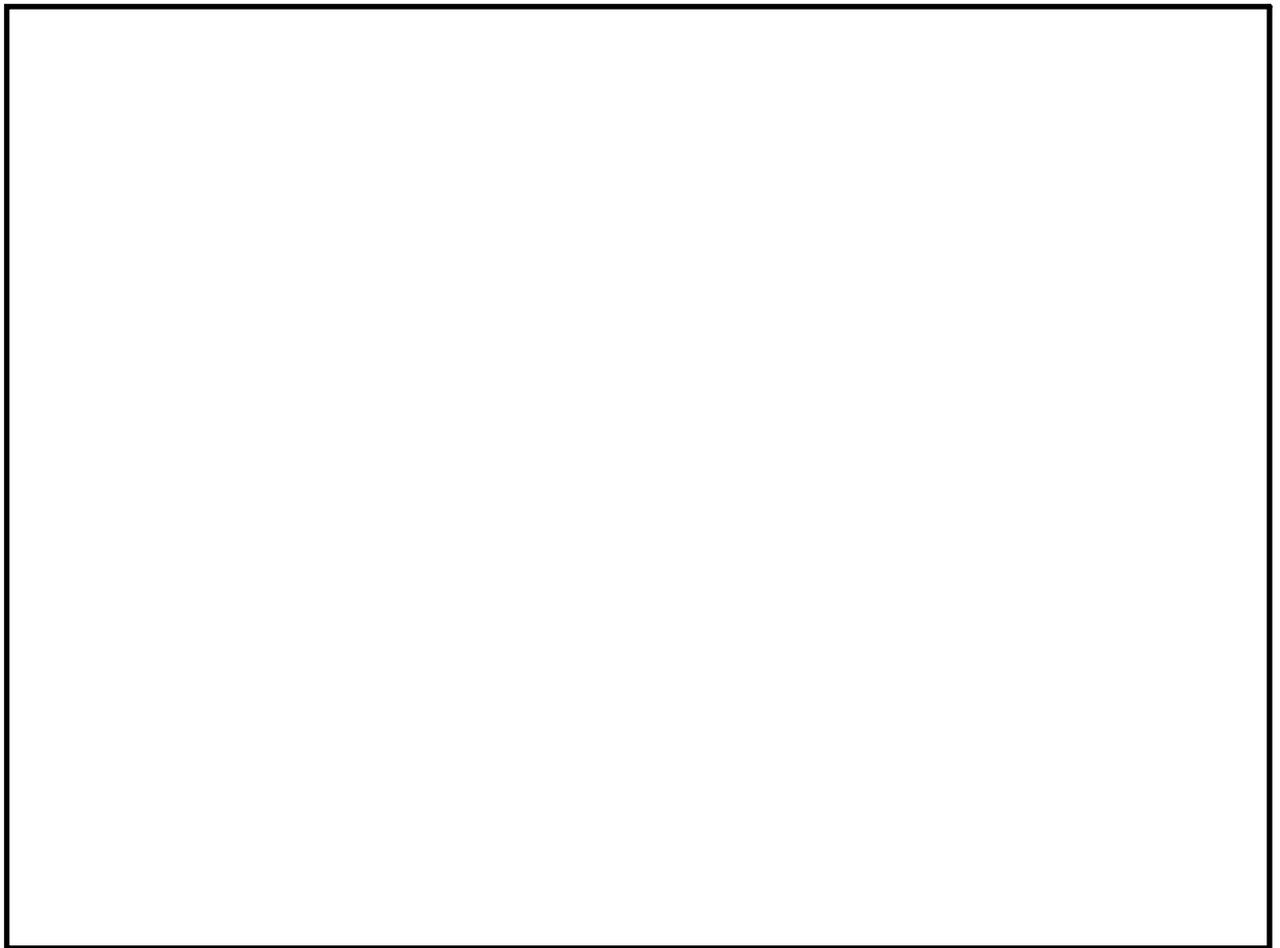
原子炉建屋地下2階水密扉の原子炉建屋残留熱除去系A系ポンプ室水密扉，原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉，原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉，原子炉建屋高压炉心スプレイポンプ室水密扉は、溢水のみを対象とした浸水防護施設に分類される。

以下，分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉建屋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 原子炉建屋地下2階水密扉の設置位置

2.2 構造概要

資料「V-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設定」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、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の構造図を第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	<p>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。</p> <p>また、扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	<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、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。</p> <p>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。</p>	

2.3 評価方針

水密扉の耐震評価は、設計基準対象施設として、第2-2表に示すとおり構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価については、水密扉設置位置の地震応答解析から得られる応答加速度を用いた応力解析を行い、評価対象部位に発生する応力又は荷重が許容限界内にあることを「4.4 評価方法」に示す方法により、「5. 耐震評価結果」にて確認する。

水密扉の耐震評価フローを第2-6図に示す。

第2-2表 水密扉の評価項目

評価方針	評価項目	地震力	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること 止水性を損なわないこと	構造部材の健全性	基準地震動 S_s	「4.1 評価対象部位」にて設定する部位	発生応力又は荷重が許容限界を超えないことを確認	概ね弾性

3. 地震応答解析

3.1 基本方針

地震応答解析は、資料V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて示す水密扉設置位置における地震応答解析結果を用いる。

地震応答解析に基づいて算定された、水密扉設置位置における最大応答加速度から各扉の設計震度Kを設定する。最大応答加速度は、加速度を保守的に評価するために、その抽出位置は、原子炉建屋水密扉設置階の上階（上層）の値とする。

各扉の設置位置における最大応答加速度から算出した設計震度Kを第3-1表に示す。

第3-1表 各扉の設計震度K

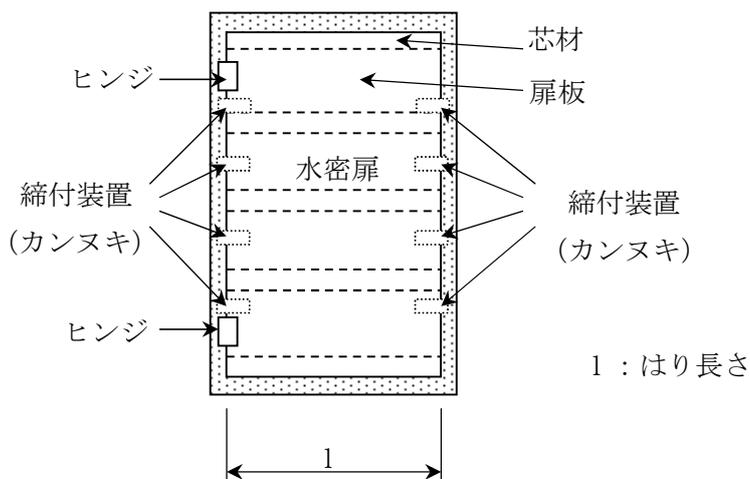
扉名称	設計震度K	
	水平	鉛直
原子炉建屋残留熱除去系 A 系ポンプ室水密扉	0.96	0.92
原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉	0.96	0.92
原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉	0.96	0.92
原子炉建屋高圧炉心スプレイポンプ室水密扉	0.96	0.92

3.2 固有振動数の計算方法

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。

3.2.1 解析モデルの設定

水密扉は、扉板及び芯材の組合せ又は板材単体により剛な断面を有しているとともに、ヒンジ及び締付装置（カンヌキ）により扉と扉枠を固定する構造であることから、両端固定はりに単純化したモデルとし、はり長さは扉幅とする。解析モデル図を第3-1図に示す。



第3-1図 水密扉の固有値解析モデル

3.2.2 記号の説明

水密扉の固有振動数算出に用いる記号を第3-2表に示す。

第3-2表 水密扉の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	水密扉の1次固有振動数
l	mm	はり長さ
E	MPa	ヤング率
I	mm ⁴	断面2次モーメント
m	kgf/mm	質量分布

3.2.3 固有振動数の算出方法

1次固有振動数 f を「土木学会 鋼構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

$$f = \frac{4.73^2}{2\pi l} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

3.2.4 固有振動数の計算条件

水密扉の固有振動数の計算条件を第3-3表に示す。

第3-3表 水密扉の固有振動数の算出条件

水密扉名称	はり長さ l (mm)	ヤング率 E (Mpa)	断面2次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 (kgf/mm)
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				

3.2.5 固有振動数の計算結果

水密扉の固有振動数の計算結果を第3-4表に示す。各水密扉の固有振動数は20Hz以上であることを確認した。

第3-4表 固有振動数の算出結果

水密扉名称	固有振動数 f (Hz)
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	

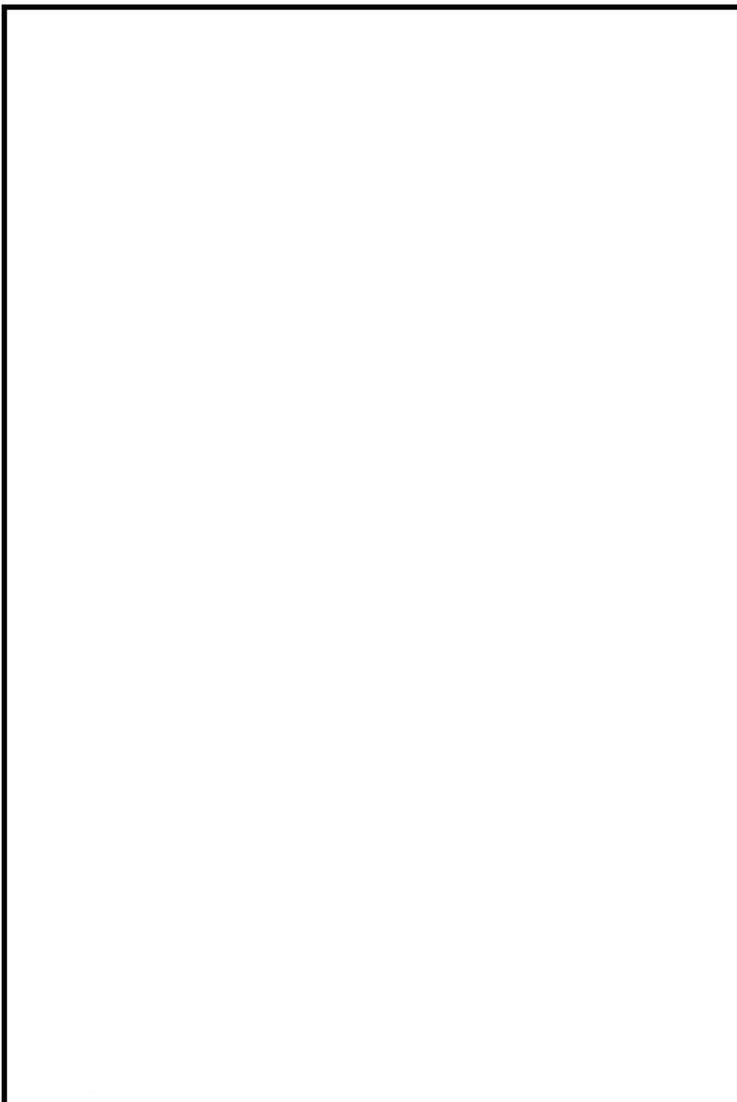
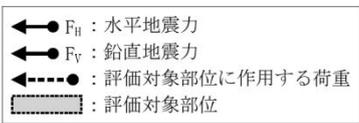
4. 耐震評価方法

4.1 評価対象部位

評価対象部位は、水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。なお、評価対象部位ごとに、扉の開閉状況を考慮のうえ、地震荷重を設定する。

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、ヒンジ及び締付装置（以下「カンヌキ」という。）から、扉枠を開口部周囲に固定するアンカーボルトを介して、開口部周囲の躯体に伝達しているため、評価対象部位をヒンジ、カンヌキ及びアンカーボルトとする。また、アンカーボルトは、扉の開閉状況（扉が90°開いた状態と0°又は180°開いた状態）を踏まえた評価を行う。

水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位を第4-1図に、水密扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位を第4-2図に示す。



第4-1図 水密扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価対象部位

(2) 荷重の設定

a. 固定荷重 (G)

水密扉の自重を第4-1表に示す。

* : 最大寸法重量で安全側に代表させる。

第4-1表 水密扉の自重

扉名称	固定荷重 (kN)
原子炉建屋残留熱除去系 A 系ポンプ室水密扉	9.32*
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	

b. 地震荷重 (K_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、水密扉の固定荷重に設計震度 K を乗じた次式により算出する。

$$K_s = G \cdot K$$

ここで、

K_s : 地震荷重 (kN)

G : 水密扉の固定荷重 (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、絶対和法により評価する。

(3) 荷重の組合せ

原子炉建屋水密扉の荷重の組合せを第4-2表に示す。

第4-2表 原子炉建屋水密扉の荷重の組合せ

扉名称	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	$G + K_s$
原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室北側水密扉	$G + K_s$
原子炉建屋原子炉隔離時冷却系室南側水密扉	$G + K_s$
原子炉建屋高压炉心スプレイポンプ室水密扉	$G + K_s$

G : 固定荷重

K_s : 地震荷重

(2) 許容限界

a. 扉板, 芯材, ヒンジ部, カンヌキ部

扉板, 芯材, ヒンジ部, 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4-4表の値とする。

第4-4表 扉板, 芯材, ヒンジ部, カンヌキ部の許容限界

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)		
	曲げ	引張	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 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: ヒンジアーム, ヒンジピン, ヒンジボルト, カンヌキ及びカンヌキ受けボルトについては, 引張りの短期許容応力度を示す。

b. アンカーボルト

4.3 許容限界

許容限界は、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界に準じて設定する。

(1) 使用材料

水密扉を構成する扉板、芯材、ヒンジ部、カンヌキ部の使用材料を第4-3表に示す。

第4-3表 使用材料

部位		材質	仕様
扉板			
芯材			
ヒンジ部	ヒンジアーム		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
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			

(b) ヒンジピン

ヒンジピンに生じる荷重は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を第4-5図に示す。

$$M = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2} \cdot \frac{1}{2} \cdot L$$

ここで、

M : 曲げモーメント (kN・mm)

F_H : 水平地震力 (kN)

R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)

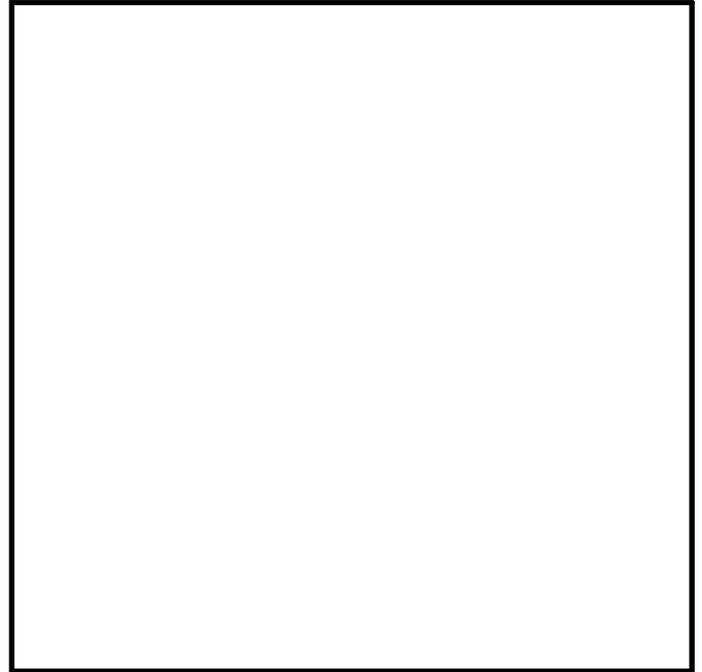
R_t : 扉体厚方向自重反力 (kN)

L : 軸支持間距離 (mm)

$$Q = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2} \cdot \frac{1}{2}$$

ここで、

Q : せん断力 (kN)



第4-5図 ヒンジピンに生じる荷重の例

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる荷重は、扉90° 開放時には引張力として作用し、扉180° 開放時にはせん断力がとして作用することから次式により算定する。ヒンジボルトに生じる荷重の例を第4-6図に示す。

$$T = Q = \sqrt{\left(\frac{R_r + \frac{F_H}{2}}{2}\right)^2 + (W_x + F_v)^2}$$

ここで、

T : 引張力 (kN)

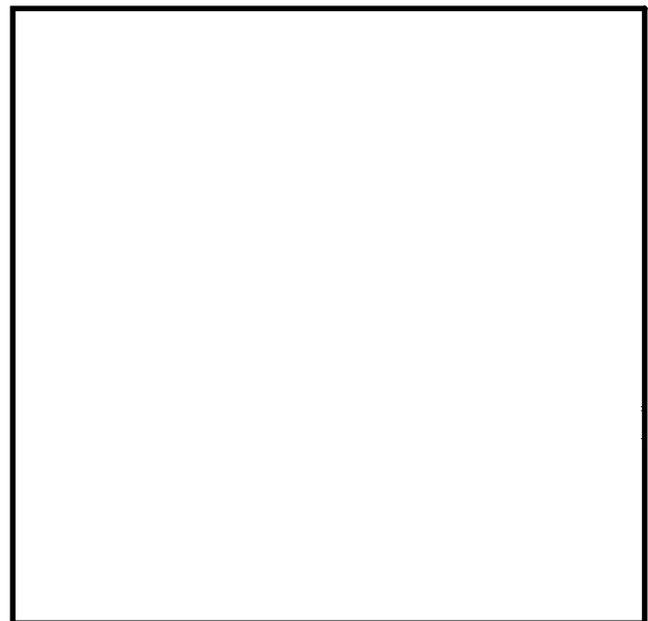
Q : せん断力 (kN)

W_x : 扉体自重 (kN)

F_H : 水平地震力 (kN)

F_v : 鉛直地震力 (kN)

R_r : 扉体幅方向自重反力 (kN)



第4-6図 ヒンジボルトに生じる荷重の例

第4-5表 耐震評価に用いる条件 (3/3)

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
カンヌキ部	カンヌキ受けボルト	n	本	本数				
		A _b	mm ²	断面積				
アンカーボルト		n	本	本数				
		L	mm	埋込長				
		A _b	mm ²	断面積				