

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密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-17-0029_改0
提出年月日	2021年4月2日

VI-2-別添 1-2 火災感知器の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	11
3.1 解析方法	11
3.2 固有値解析結果	11
3.3 設計用地震力	11
4. 構造強度評価	12
4.1 構造強度評価方法	12
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
5. 機能維持評価	16
5.1 電氣的機能維持評価方法	16
6. 評価結果	17

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-別添 1-1 火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「別添 1-1」という。）に示すとおり、火災感知器が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有しており、火災を早期に感知する機能を維持することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 構造計画

火災感知器の構造計画を表2-1に示す。

また、火災感知器における基礎ボルトの構造強度評価モデルの諸元を表2-2から表2-7に示す。

なお、火災感知器は、火災区域又は火災区画における放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件及び炎が生じる前に発煙する等の予想される火災の性質を考慮して選定された種類の火災感知器を発電所全体にわたって広範囲に設置する。

表2-1 構造計画 (1/4)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
<ul style="list-style-type: none"> ・熱感知器 ・煙感知器 ・防水型熱感知器 ・防爆型煙感知器① 	<p>各火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・熱感知器 ・煙感知器 ・防水型熱感知器 ・防爆型煙感知器① <p>(天井取付形)</p>	<p>平面図</p> <p>A～A 矢視図</p> <p>B～B 矢視図 (単位: mm)</p>

○ 2 ③ VI-2-別添 1-2 R 1

表2-1 構造計画 (2/4)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 防爆型熱感知器 ・ 防爆型煙感知器② 	<p>各火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防爆型熱感知器 ・ 防爆型煙感知器② <p>(天井取付形)</p>	<p>正面図</p> <p>側面図 (単位：mm)</p>
防湿型煙感知器	<p>火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取り付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。</p>	<p>防湿型煙感知器</p> <p>(壁掛型)</p>	<p>正面図</p> <p>側面図 (単位：mm)</p>

表2-1 構造計画 (3/4)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
炎感知器	<p>火災感知器は、取付ボルトにて固定金具に取付け、固定金具を基礎ボルトにより、建屋躯体に据え付ける。</p>	<p>炎感知器 (壁掛型)</p>	<p>正面図</p> <p>側面図</p>

(単位：mm)

表2-1 構造計画 (4/4)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
屋外仕様 炎感知器	火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を溶接により、建屋壁の躯体に据え付ける。	屋外仕様 炎感知器 (壁掛型)	<p>(単位：mm)</p>
熱感知カメラ	火災感知器は、取付ボルトにて支持架台に取付け、支持架台を溶接により、建屋壁の躯体に据え付ける。	熱感知カメラ (壁掛型)	<p>(単位：mm)</p>

表2-2 煙感知器, 熱感知器, 防水型熱感知器及び防爆型煙感知器①の
構造強度評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
ボルトの軸断面積	A_b	mm^2	
ボルトの呼び径	d	mm	
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
重心とボルト間の水平方向距離	ℓ_1	mm	
重心とボルト間の水平方向距離 ($\ell_1 \leq \ell_2$)	ℓ_2	mm	
機器の質量	m	kg	
ボルトの本数	n	—	12
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	n_f	—	2

表2-3 防爆型熱感知器及び防爆型煙感知器②の構造強度評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
ボルトの軸断面積	A_b	mm^2	
ボルトの呼び径	d	mm	
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
重心とボルト間の水平方向距離	ℓ_1	mm	
重心とボルト間の水平方向距離 ($\ell_1 \leq \ell_2$)	ℓ_2	mm	
機器の質量	m	kg	
ボルトの本数	n	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	n_f	—	2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-4 防湿型煙感知器の構造強度評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
ボルトの軸断面積	A_b	mm^2	
ボルトの呼び径	d	mm	
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
重心と転倒支点間の鉛直方向距離	l_1	mm	
左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	l_2	mm	
上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	l_3	mm	
機器の質量	m	kg	
ボルトの本数	n	—	4
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (水平方向)	n_{fH}	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (鉛直方向)	n_{fV}	—	2

O 2 ③ VI-2-別添 1-2 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-5 炎感知器の構造強度評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
ボルトの軸断面積	A_b	mm^2	
ボルトの呼び径	d	mm	
重力加速度	g	m/s^2	9.80665
取付面から重心までの距離	h_1	mm	
重心と転倒支点間の鉛直方向距離	l_1	mm	
左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	l_2	mm	
上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	l_3	mm	
機器の質量	m	kg	
ボルトの本数	n	—	4
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (水平方向)	n_{fH}	—	2
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (鉛直方向)	n_{fV}	—	2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-6 屋外仕様炎感知器の構造強度評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
機器の質量	m	kg	
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
取付面から重心までの距離	l_1	mm	
取付部材芯から重心までの距離	l_2	mm	
溶接脚長	S	mm	
溶接部の有効のど厚	a	mm	
溶接の有効長さ (Y方向)	b_w	mm	
溶接の有効長さ (Z方向)	h_w	mm	
溶接部の有効断面積	A_w	mm ²	
左右方向 (Y方向) 荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	A_{swY}	mm ²	
鉛直方向 (Z方向) 荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	A_{swZ}	mm ²	
溶接断面積における左右方向 (Y方向) 軸まわりの断面係数	Z_{wY}	mm ³	
溶接断面積における鉛直方向 (Z方向) 軸まわりの断面係数	Z_{wZ}	mm ³	

O 2 ③ VI-2-別添 1-2 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2-7 熱感知カメラの構造強度評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
機器の質量	m	kg	
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
取付面から重心までの距離	l_1	mm	
取付部材芯から重心までの距離	l_2	mm	
溶接脚長	S	mm	
溶接部の有効のど厚	a	mm	
溶接の有効長さ (Y方向)	b_w	mm	
溶接の有効長さ (Z方向)	h_w	mm	
溶接部の有効断面積	A_w	mm ²	
左右方向 (Y方向) 荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	A_{swY}	mm ²	
鉛直方向 (Z方向) 荷重により発生する部材せん断力に対する有効せん断断面積	A_{swZ}	mm ²	
溶接断面積における左右方向 (Y方向) 軸まわりの断面係数	Z_{wY}	mm ³	
溶接断面積における鉛直方向 (Z方向) 軸まわりの断面係数	Z_{wZ}	mm ³	

O 2 ③ VI-2-別添 1-2 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 固有周期

3.1 解析方法

火災感知器の固有周期は、添付書類「別添1-1 4. 固有周期」に示す算出方法に基づき、正弦波掃引試験により算出する。

3.2 固有値解析結果

火災感知器の固有値解析結果を表3-1に示す。

表3-1により、火災感知器の固有周期は、0.050秒以下であり剛であることを確認した。

表3-1 固有値解析結果 (単位：s)

機器名称		方向	固有周期
火災感知器	熱感知器 煙感知器	水平	0.050以下
	防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	鉛直	0.050以下
	防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	水平	0.050以下
		鉛直	0.050以下
	防湿型煙感知器	水平	0.050以下
		鉛直	0.050以下
	炎感知器	水平	0.050以下
		鉛直	0.050以下
	屋外仕様炎感知器	水平	0.050以下
		鉛直	0.050以下
	熱感知カメラ	水平	0.050以下
		鉛直	0.050以下

3.3 設計用地震力

火災感知器の耐震計算に用いる設計用地震力については、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

火災感知器は、添付書類「別添1-1 5. 構造強度評価」に示す評価方針に従い、構造強度評価を実施する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「別添1-1 5.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は、火災感知器の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表4-1に示す。

4.2.2 許容応力及び許容応力評価条件

火災感知器の基礎ボルト及び溶接部における許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表4-2に示す。

火災感知器における基礎ボルト及び溶接部の許容応力評価条件を表4-3に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設 火災防護設備	熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_A S$
	防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_A S$
	防湿型煙感知器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_A S$
	炎感知器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_A S$
	屋外仕様炎感知器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_A S$
	熱感知カメラ	C	—*	$D + P_D + M_D + S_S$	$IV_A S$

注記 * : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表4-2 許容応力 (その他の支持構造物)

許容応力状態	許容限界(溶接部)*1,*2	許容限界(ボルト等)*1,*2
	一次応力	一次応力
	せん断	引張り
IV _A S	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t^*$ $1.5 \cdot f_s^*$

注記 *1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表4-3 許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	40 (周囲環境温度)	215	400	—	258
溶接部	STKR400	40 (周囲環境温度)	245	400	245	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

火災感知器は、添付書類「別添 1-1 6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い、機能維持評価を実施する。

なお、機能確認済加速度には、対象機器の加振試験において電氣的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

6. 評価結果

火災感知器の構造強度評価結果及び機能維持評価結果を以下に示す。なお、発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【火災感知器の耐震性についての計算結果】

1.1 設計条件

機器名称	耐震 重要度 分類	設置場所及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	C	原子炉建屋 0. P. 50. 50*1	0. 050以下*3	0. 050以下*3	C _H =7. 28	C _V =2. 09	40
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	C	原子炉建屋 0. P. 50. 50*1	0. 050以下*3	0. 050以下*3	C _H =7. 28	C _V =2. 09	40
防湿型煙感知器	C	原子炉建屋 0. P. 50. 50*1	0. 050以下*3	0. 050以下*3	C _H =7. 28	C _V =2. 09	40
炎感知器	C	原子炉建屋 0. P. 50. 50*1	0. 050以下*3	0. 050以下*3	C _H =7. 28	C _V =2. 09	40
屋外仕様炎感知器	C	緊急用電気品建屋 0. P. 68. 90*2	0. 050以下*3	0. 050以下*3	C _H =3. 32	C _V =0. 99	40
熱感知カメラ	C	緊急用電気品建屋 0. P. 68. 90*2	0. 050以下*3	0. 050以下*3	C _H =3. 32	C _V =0. 99	40

注記 *1：最も設計震度が大きい階の設備評価用床応答曲線を用いる。

*2：建屋壁に固定しているため，設置フロア上階の設備評価用床応答曲線を用いる。

*3：固有値解析により 0. 050 秒以下であり，剛であることを確認した。

1.2 機器要目

1.2.1 基礎ボルトの機器要目

機器名称	部材	m (kg)	h ₁ (mm)	l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	l ₃ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f
熱感知器	基礎ボルト								12	2
煙感知器										
防水型熱感知器										
防爆型煙感知器①										
防爆型熱感知器	基礎ボルト								2	2
防爆型煙感知器②										
防湿型煙感知器	基礎ボルト								4	2
炎感知器	基礎ボルト								4	2

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	215	400	258

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2.2 溶接部の機器要目

機器名称	部材	m (mm)	ϕ_1 (mm)	ϕ_2 (mm)	S (mm)	a (mm)	b_w (mm)	h_w (mm)	A_w (mm^2)
屋外仕様炎感知器	溶接部								
熱感知カメラ	溶接部								

機器名称	部材	A_{swY} (mm^2)	A_{swZ} (mm^2)	Z_{wY} (mm^3)	A_{wZ} (mm^3)
屋外仕様炎感知器	溶接部				
熱感知カメラ	溶接部				

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)
溶接部	245	400	245

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力 (単位：N)

機器名称	部材	F _b	Q _b
熱感知器	基礎ボルト		
煙感知器			
防水型熱感知器			
防爆型煙感知器①			
防爆型熱感知器			
防爆型煙感知器②	基礎ボルト		
防湿型煙感知器	基礎ボルト		
炎感知器	基礎ボルト		

(2) 溶接部に作用する応力 (単位：N/mm²)

機器名称	部材	σ ₁	σ ₂
屋外仕様炎感知器	溶接部	9	12
熱感知カメラ	溶接部	11	15

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.4 構造強度評価結果

1.4.1 構造強度評価結果

(単位：MPa)

機器名称	部材	材料	応力分類	発生応力	許容応力
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 29$	$f_{ts} = 193^*$
			せん断	$\tau_b = 6$	$f_{sb} = 148$
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 8$	$f_{ts} = 193^*$
			せん断	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 148$
防湿型煙感知器	基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 25$	$f_{ts} = 193^*$
			せん断	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 148$
炎感知器	基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 6$	$f_{ts} = 193^*$
			せん断	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 148$
屋外仕様炎感知器	溶接部	STKR400	せん断	$\sigma = 12$	$f_s = 141$
熱感知カメラ	溶接部	STKR400	せん断	$\sigma = 15$	$f_s = 141$

すべて許容応力以下である。

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より採用

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

1.4.2 電氣的機能の評価結果

機器名称	据え付け場所及び 床面高さ (m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		評価用加速度	機能確認済加速度	評価用加速度	機能確認済加速度
熱感知器 煙感知器 防水型熱感知器 防爆型煙感知器①	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	6.07	10.00	1.74	5.00
防爆型熱感知器 防爆型煙感知器②	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	6.07	10.00	1.74	5.00
防湿型煙感知器	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	6.07	11.00	1.74	6.00
炎感知器	原子炉建屋 O.P. 50.50*1	6.07	9.00	1.74	5.00
屋外仕様感知器	緊急用電気品建屋 O.P. 68.90*2	2.77	7.74	0.82	2.55
熱感知カメラ	緊急用電気品建屋 O.P. 68.90*2	2.77	10.21	0.82	8.60

注記 *1：最も設計震度が大きい階の設備評価用床応答曲線を用いる。

*2：建屋壁に固定しているため、設置フロア上階の設備評価用床応答曲線を用いる。
評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。