

東海第二発電所工事計画審査資料	
資料番号	工認-370 改1
提出年月日	平成30年6月6日

V-2-別添1-3 火災受信機盤の耐震計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	2
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格	4
3.	固有値解析	6
3.1	基本方針	6
3.2	解析方法	6
3.3	設計用地震力	6
3.4	固有値解析結果	7
4.	応力評価	8
4.1	基本方針	8
4.2	評価対象部位	8
4.3	荷重及び荷重の組合せ	8
4.4	評価方法	10
5.	機能維持評価	17
5.1	基本方針	17
5.2	評価対象部位	17
5.3	許容限界	17
5.4	評価方法	17
6.	評価条件	18
6.1	応力評価条件	18
6.2	機能維持評価条件	20
7.	耐震評価結果	21

1. 概要

本資料は、V-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、基準地震動 S_s による地震力に対し、火災受信機盤が、地震時及び地震後においても、火災を早期に感知する機能を保持するための耐震性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

別添 1-1 の「2.1 評価対象設備」に示す火災受信機盤の構造計画を「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」に示す。

2.1 位置

火災受信機盤は、火災感知器からの作動信号を常時監視できるよう、中央制御室に設置する。

2.2 構造概要

火災受信機盤の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
火災受信機盤	火災受信機盤	火災受信機盤は、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。	

2.3 評価方針

火災受信機盤は、別添 1-1 の「4.2 応力評価」に示す応力評価の方針に従い、応力評価を実施する。

火災受信機盤の応力評価は、「3. 固有値解析」及び「4. 応力評価」に示す方法により、「6. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「7. 耐震評価結果」において火災受信機盤の評価対象部位に発生する応力が許容限界に収まることを確認する。

火災受信機盤は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」に示す機能維持評価の方針に従い、電氣的機能維持評価を実施する。

火災受信機盤の電氣的機能維持評価は、「3. 固有値解析」及び「5. 機能維持評価」に示す方法により、「6. 評価条件」に示す評価条件を用い、「7. 耐震評価結果」において火災受信機盤の最大床加速度が機能確認済加速度を超えないことを確認する。

火災受信機盤の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

2.4 適用規格

適用する規格、基準等を以下に示す。

- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格(J S M E S N C 1 -2005/2007)
((社) 日本機械学会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針(J E A G 4 6 0 1 -1987) ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編(J E A G 4 6 0 1 ・補-1984)
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)
((社) 日本電気協会)

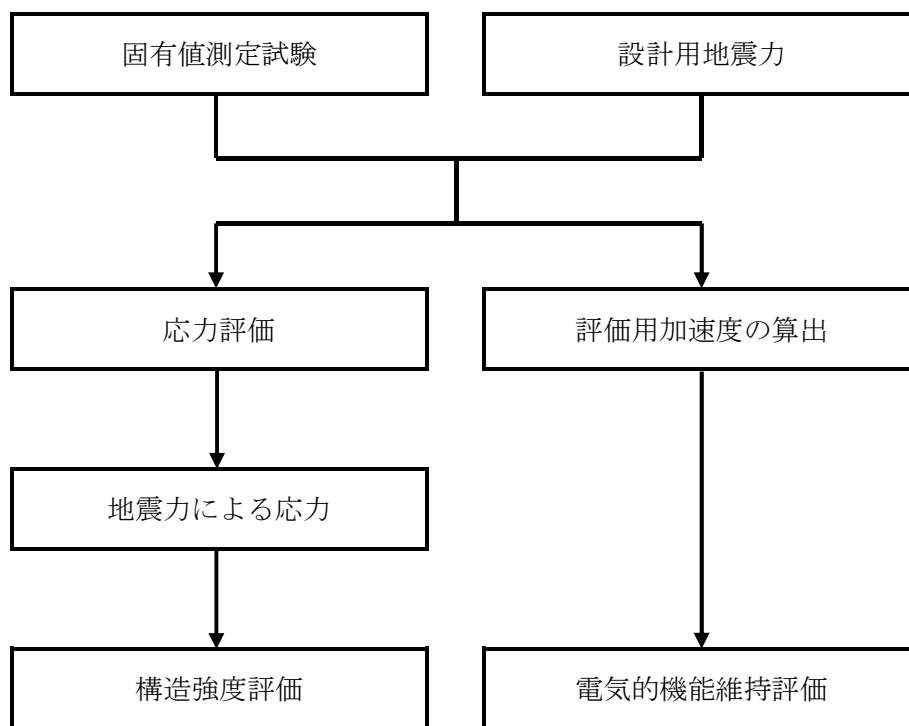


図 2-1 耐震評価フロー

3. 固有値解析

3.1 基本方針

火災受信機盤は、別添 1-1 の「4.1 地震応答解析」に示す評価方針に従い、「3.2 解析方法」に示す方法により、「3.4 固有値解析結果」において火災受信機盤の固有振動数を評価する。

3.2 解析方法

火災受信機盤は、火災受信機盤の設置状態を模擬し、正弦波掃引試験を実施する。

3.3 設計用地震力

火災受信機盤の耐震計算に用いる入力地震力には、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、表 3-1 に示す条件により作成した設計用床応答曲線を使用する。また、減衰定数はV-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 3-1 設計用地震力

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	設計用床応答曲線			備考
		建屋* 及び高さ (m)	方向	減衰 定数 (%)	
基準 地震動 S_s	原子炉 建屋 附属棟 EL. 18.0	原子炉 建屋 EL. 29.0	水平	1.0	水平方向，鉛 直方向ともに $S_s-1\sim 8$ の 包絡曲線を用 いる。
		原子炉 建屋 EL. 29.0	鉛直	1.0	

注記 *：火災受信機盤は、建屋床面及び壁面に固定しているため、設置フロア上階の設計用床応答曲線を用いる。

3.4 固有値解析結果

火災受信機盤の固有値解析結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 より、火災受信機盤の固有振動数は、20 Hz 以上であることを確認した。

表 3-2 固有値解析結果 (単位 : Hz)

機器名称	固有振動数
火災受信機盤	20 以上

4. 応力評価

4.1 基本方針

火災受信機盤は、別添 1-1 の「4.2 応力評価」に示す評価方針に従い、応力評価を実施する。

火災受信機盤の応力評価は、「4.2 評価対象部位」に示す評価対象部位が、「4.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せに対し「4.3.3 許容応力」に示す許容限界に収まることを、「4.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 評価対象部位

火災受信機盤の評価対象部位は、別添 1-1 の「3.2 許容限界」に示すとおり、評価対象部位である基礎ボルトとする。

4.3 荷重及び荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、別添 1-1 の「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを**使用する**。

4.3.1 荷重の種類

応力評価に用いる荷重は、以下の荷重を**使用する**。

(1) 死荷重(D)

死荷重は、固定金具等を含めた火災受信機盤の自重とする。

(2) 地震荷重(S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による地震力とする。

4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

応力評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は、火災受信機盤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。

4.3.3 許容応力

火災受信機盤の基礎ボルトの許容応力を**表 4-2** 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 付属施設	火災防護 設備	火災受信機盤	C (S _s 機能維持)	—*	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（ボルト等）*1, *2	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A 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。

4.4 評価方法

火災受信機盤の応力評価は、「4.4.2 応力評価モデル及び評価式」に示す評価式より評価対象部位である基礎ボルトの発生応力を計算し、許容応力以下となることを次のとおり確認する。

また、火災受信機盤は、建屋床面及び壁面に固定するが、火災受信機盤の形状及び固定面と重心位置の関係により、すべての荷重は、より保守的となる床面側の基礎ボルトに作用するものと考え、建屋床面固定における短辺方向及び長辺方向を個別に評価する。

- ・ 応力評価モデルは1質点系モデルとし、設備の重心位置に地震荷重が作用するものとする。
- ・ 許容応力について J S M E S N C 1 - 2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が図表記載温度の中間の値の場合は、比例法を**使用して**計算する。ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を**使用する**ものとする。
- ・ 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.4.1 記号の定義

基礎ボルトの応力評価に**用いる**記号の定義を**表 4-3**に示す。

表 4-3 応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F_b	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	取付面から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心とボルト間の水平方向距離*1	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*1	mm
m	盤の質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* 1 : $\ell_1 \leq \ell_2$

4.4.2 応力評価モデル及び評価式

応力評価モデルは、1質点系モデルであり、火災受信機盤の重心位置に地震荷重が作用するものとする。

火災受信機盤は、「2.2 構造概要」の表 2-1 に示すとおり、基礎ボルトにより据え付けるため、基礎ボルトの応力評価モデル及び評価式にて評価する。

(1) 垂直自立形 短辺方向の応力評価

「6. 評価条件」に示す評価条件を用いて、以下の式により垂直自立形 短辺方向における基礎ボルトの発生応力を算出する。

垂直自立形 短辺方向における基礎ボルトの応力評価モデルを図 4-1 に示す。

a. 引張応力計算

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 4-1 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

(a) 引張力

イ. 基礎ボルトに作用する引張力 (F_b)

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots \dots \dots (4.4.2.1)$$

(b) 引張応力

イ. 基礎ボルトに生じる引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (4.4.2.2)$$

ロ. ボルトの軸断面積 (A_b)

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (4.4.2.3)$$

b. せん断応力計算

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

(a) せん断力

イ. 基礎ボルトに作用するせん断力 (Q_b)

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \quad \dots \dots \dots (4.4.2.4)$$

(b) せん断応力

イ. 基礎ボルトに生じるせん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots \dots \dots (4.4.2.5)$$

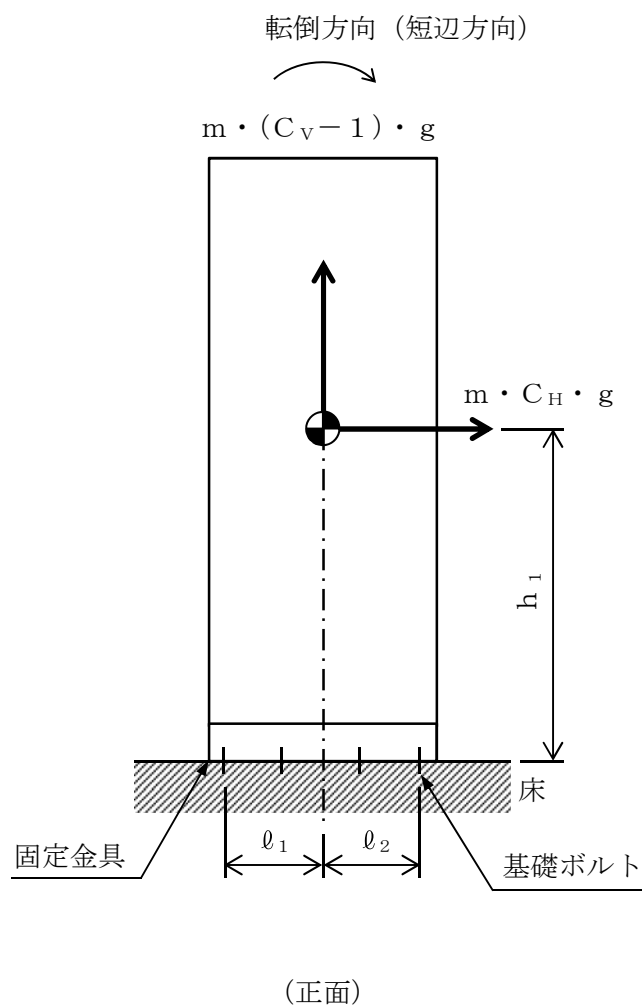


図 4-1 垂直自立形 短辺方向の応力評価モデル

(2) 垂直自立形 長辺方向の応力評価

「6. 評価条件」に示す評価条件を用いて、以下の式により垂直自立形 長辺方向における基礎ボルトの発生応力を算出する。

垂直自立形 長辺方向における基礎ボルトの応力評価モデルを図 4-2 に示す。

a. 引張応力計算

基礎ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として、図 4-2 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

(a) 引張力

イ. 基礎ボルトに作用する引張力 (F_b)

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_1 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_2 - \ell_1)} \dots \dots \dots (4.4.2.6)$$

(b) 引張応力

イ. 基礎ボルトに生じる引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (4.4.2.7)$$

ロ. ボルトの軸断面積 (A_b)

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (4.4.2.8)$$

b. せん断応力計算

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

(a) せん断力

イ. 基礎ボルトに作用するせん断力 (Q_b)

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \dots \dots \dots (4.4.2.9)$$

(b) せん断応力

イ. 基礎ボルトに生じるせん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (4.4.2.10)$$

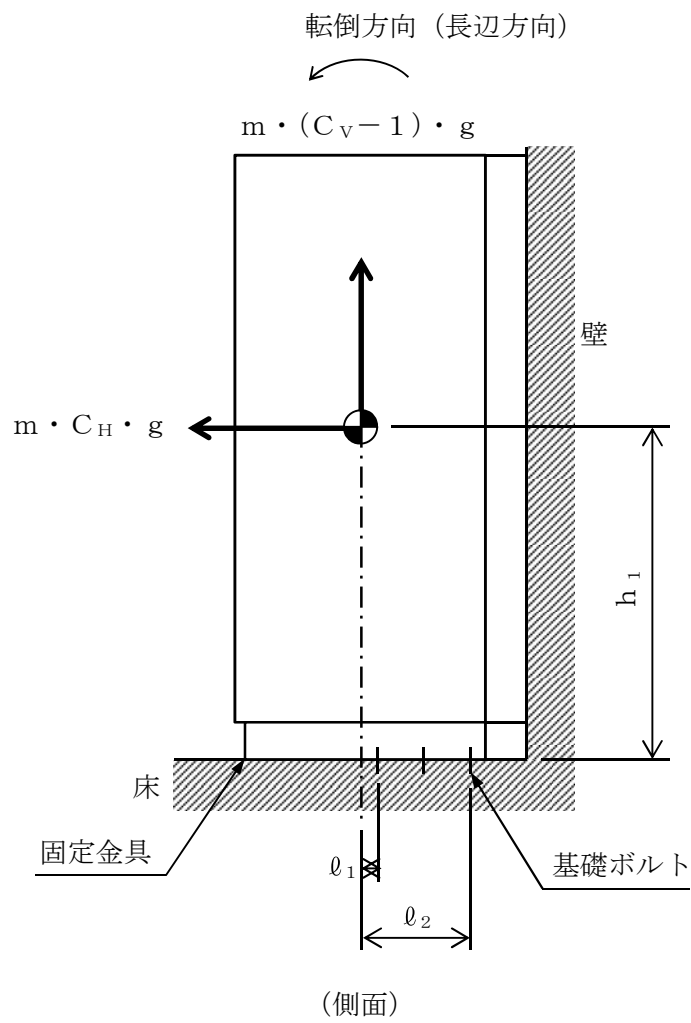


図 4-2 垂直自立形 長辺方向の応力評価モデル

5. 機能維持評価

5.1 基本方針

火災受信機盤は、別添 1-1 の「4.3 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。

火災受信機盤の機能維持評価は、「5.2 評価対象部位」に示す評価対象部位が「5.3 許容限界」に示す許容限界に収まることを「5.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 評価対象部位

火災受信機盤の評価対象部位は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」の評価方針に示すとおり、地震時及び地震後に電氣的機能の保持が必要な火災受信機盤本体とする。

5.3 許容限界

火災受信機盤の許容限界は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」に示す機能確認済加速度とする。

火災受信機盤の機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	方向	機能確認済加速度
火災受信機盤	水平	2.28
	鉛直	1.78

5.4 評価方法

火災受信機盤の機能維持評価は、別添 1-1 の「4.3 機能維持評価」に示す評価方針に従い、火災受信機盤の評価用加速度が機能確認済加速度以下となることを確認する。

6. 評価条件

「4. 応力評価」及び「5. 機能維持評価」に用いる評価条件を以下に示す。

6.1 応力評価条件

6.1.1 設計用地震力

火災受信機盤の耐震計算に用いる入力地震力には、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」にて設定した床応答の作成方針に基づき、表 3-1 に示す条件により作成した設計用床応答曲線を使用する。また、減衰定数はV-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

6.1.2 許容応力評価条件

火災受信機盤における基礎ボルトの許容応力評価条件を表 6-1 に示す。

表 6-1 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	40 (雰囲気温度)	245	400	—	280

6.1.3 応力評価モデルの諸元及び応力評価に用いる設計震度

火災受信機盤及び固定金具は、固有振動数が 20 Hz 以上で、剛構造であることを確認しているため、火災受信機盤における基礎ボルトの応力評価に用いる設計震度は、最大床加速度の 1.2 倍を使用する。

火災受信機盤における基礎ボルトの応力評価モデルの諸元を表 6-2 に、応力評価に用いる設計震度を表 6-3 に示す。

表 6-2 応力評価モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
ボルトの軸断面積	A_b	mm ²	201.1
ボルトの呼び径	d	mm	16
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	1100
重心とボルト間の水平方向距離（垂直自立形 短辺方向）	l_1	mm	265
重心とボルト間の水平方向距離（垂直自立形 短辺方向）	l_2	mm	265
重心とボルト間の水平方向距離（垂直自立形 長辺方向）	l_1	mm	5
重心とボルト間の水平方向距離（垂直自立形 長辺方向）	l_2	mm	295
盤の質量	m	kg	430
ボルトの本数	n	—	6
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （垂直自立形 短辺方向）	n_f	—	1
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 （垂直自立形 長辺方向）	n_f	—	2

表 6-3 応力評価に用いる設計震度

（単位：—）

項目	記号	設計震度
水平方向設計震度	C_H	1.55
鉛直方向設計震度	C_V	1.17

6.2 機能維持評価条件

6.2.1 設計用地震力

火災受信機盤の機能維持評価に用いる設計用地震力は、「6.1.1 設計用地震力」に示す。

6.2.2 評価用加速度

火災受信機盤の機能維持評価に用いる評価用加速度は、「6.2.1 設計用地震力」に示す設計用床応答曲線の最大床加速度を使用する。

火災受信機盤の評価用加速度を表 6-4 に示す。

表 6-4 評価用加速度 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

機器名称	方向	評価用加速度
火災受信機盤	水平	1.29
	鉛直	0.98

7. 耐震評価結果

火災受信機盤の応力評価結果及び電氣的機能維持評価結果を表 7-1 及び表 7-2 に示す。

基礎ボルトの発生応力は許容応力以下であり、火災受信機盤の評価用加速度は、機能確認済加速度以下である。

したがって、火災受信機盤は、地震時及び地震後においても、基準地震動 S_s による地震力に対し、火災を早期に感知する機能を保持するため、耐震性を有する。

表 7-1 応力評価結果

(単位: MPa)

機器名称	評価部位	応力分類	発生応力	許容応力
火災受信機盤	基礎ボルト (垂直自立形 短辺方向)	引張応力	70	210
		せん断応力	6	161
	基礎ボルト (垂直自立形 長辺方向)	引張応力	62	210
		せん断応力	6	161

表 7-2 電氣的機能維持評価結果

(単位：×9.8 m/s²)

機器名称	機能確認済加速度との比較				
	加速度確認箇所	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
火災受信機盤	加振台への取付位置	1.29	2.28	0.98	1.78