

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密また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-463 改0
提出年月日	平成30年6月1日

V-2-9-5-3-3 可燃性ガス濃度制御系再結合装置の  
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
2.2 評価方針	3
2.3 適用基準	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と記号の丸め方	5
3. 評価部位	5
4. 固有周期	5
5. 構造強度評価	6
5.1 構造強度評価方法	6
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	6
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	6
5.2.2 許容応力	6
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	6
5.3 設計用地震力	9
5.4 計算方法	9
5.4.1 応力の計算方法	9
5.5 計算条件	13
5.5.1 ボルトの応力計算条件	13
5.6 応力の評価	13
5.6.1 ボルトの応力評価	13
6. 評価結果	14
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	14

## 1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、可燃性ガス濃度制御系再結合装置（以下「再結合装置」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

再結合装置は、設計基準対象施設においては既設のSクラス施設に分類される。以下、分類に応じた構造強度評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

再結合装置の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ブロウ、配管、再結合器及び加熱器を一体化し、スキッド内に組み込み取付ボルトで基礎架台に据え付ける。</p>	<p>熱反応式再結合装置</p>	

## 2.2 評価方針

再結合装置の構造強度評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す再結合装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく応力等が許容限界に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

再結合装置の耐震評価フローを図2-1に示す。

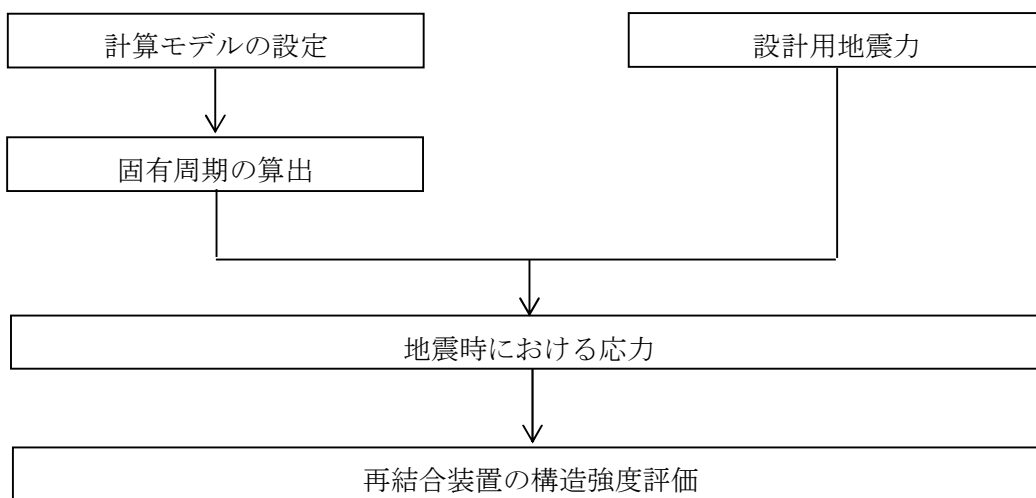


図 2-1 再結合装置の耐震評価フロー

## 2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 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 ・補一 1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月, 昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）
- (2) 発電用原子力設備規格（設計・建設規格(2005 年版 (2007 年追補版含む。)) J S M E S N C 1 -2005/2007）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

## 2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	取付ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	取付ボルトの呼び径	mm
$F$	設計・建設規格*1 SSB-3131に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格*1 SSB-3133に定める値	MPa
$F_b$	取付ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
$f_{sb}$	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{to}$	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{ts}$	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$h$	据付面から重心までの距離	mm
$l_1$	重心と取付ボルト間の水平方向距離*2	mm
	重心と取付ボルト間の水平方向距離*2	mm
$l_2$	再結合装置の質量	kg
	取付ボルトの本数	—
$m$	評価上引張力を受けるとして期待する取付ボルトの本数	—
$n$	取付ボルトに作用するせん断力	N
$n_f$	設計・建設規格*1 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$Q_b$	設計・建設規格*1 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_u$	固有周期	s
$S_y$	円周率	—
$T$	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
$\pi$	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\sigma_b$		
$\tau_b$		

注記 \*1:「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））J SME S NC 1-2005/2007）（日本機械学会 2007年9月）をいう。

\*2:  $l_1 \leq l_2$

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記 \*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

\*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

## 3. 評価部位

再結合装置の耐震評価は、取付ボルトについて実施する。再結合装置の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

## 4. 固有周期

再結合装置については、十分な剛性を有しており全体的に剛体とみなせるため、固有周期の計算は省略する。

## 5. 構造強度評価部位

### 5.1 構造強度評価方法

- (1) 再結合装置の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は再結合装置に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 再結合装置全体の構造強度評価に対するブロワの運転による影響は微小であるためブロワの質量は考慮してあるが、ブロワの運転は考慮しないものとする。
- (4) 再結合装置は取付ボルトで基礎架台に固定された固定端とする。ここで、基礎架台については剛となるように設計する。
- (5) 転倒方向は図5-1及び図5-2における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

再結合装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に示す。

#### 5.2.2 許容応力

再結合装置の許容応力を表5-2に示す。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

再結合装置の使用材料の許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-3に示す。



表5-1 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	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 格納施設	可燃性ガス濃 度制御設備	可燃性ガス濃度 制御系再結合装置	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^{*2}$	III <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S

注記 \*1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

\*2：S<sub>s</sub>と組合せ、III<sub>A</sub>Sの評価を実施する。

表5-2 許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許 容 限 界*1, *2 (ボ ル ト 等)	
	一 次 応 力	
	引張り	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^{* *2}$	$1.5 \cdot f_s^{* *2}$

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，規格基準等で省略可能とされている場合及びその他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-3 使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
取付ボルト	<input type="text"/>	周囲環境温度	<input type="text"/>	194	373	—

### 5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表5-4に示す。

「弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度」及び「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

耐震設計上の 重要度分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
S	原子炉建屋 EL. 20.30 <sup>*1</sup>	— <sup>*2</sup>	— <sup>*2</sup>	—	—	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$

注記 \*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

### 5.4 計算方法

#### 5.4.1 応力の計算方法

取付ボルトの応力は地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

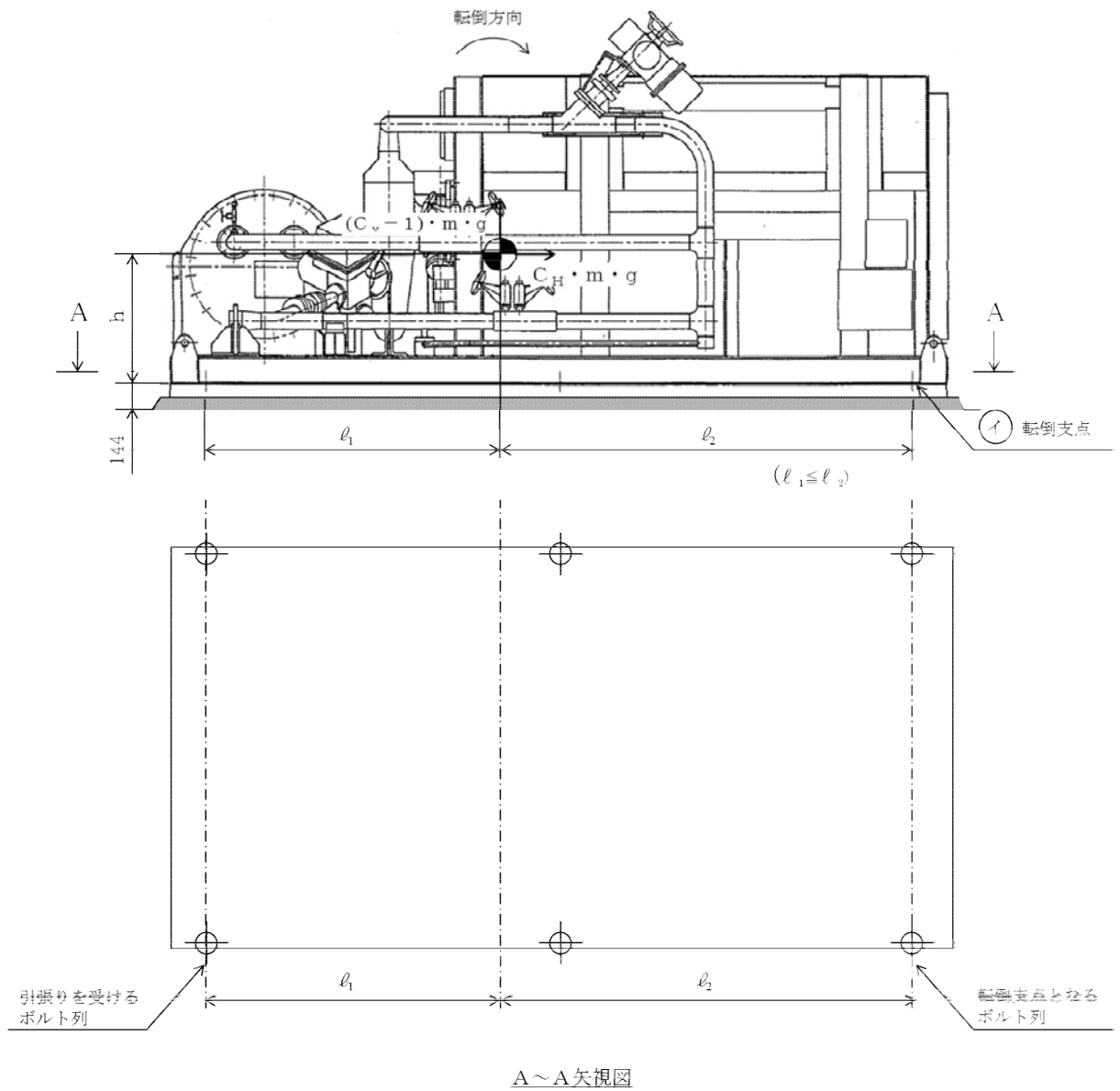


図 5-1 計算モデル（長辺方向転倒）（単位：mm）

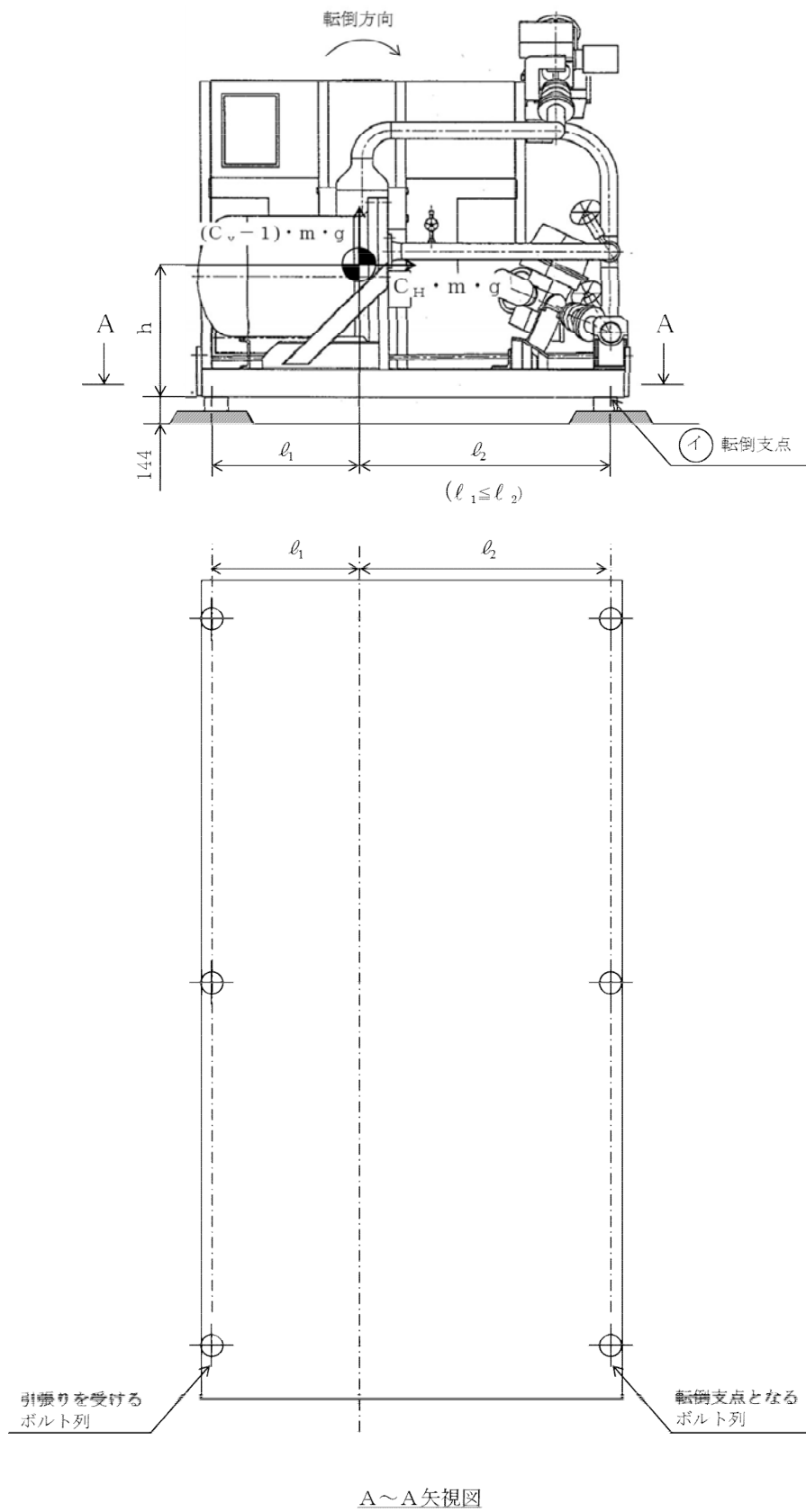


図 5-2 計算モデル (短辺方向転倒) (単位: mm)

## (1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図5-1及び図5-2に示すモデルにより (イ) 点を支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の取付ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$\text{(絶対値和)} \quad F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_V) \cdot m \cdot g \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \dots \quad (5.3.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots \quad (5.3.1.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots \quad (5.3.1.3)$$

## (2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \quad \dots \quad (5.3.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots \quad (5.3.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めた取付ボルトの引張応力  $\sigma_b$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。

せん断応力  $\tau_b$  はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力  $f_{sb}$  以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

かつ,

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots\dots\dots (5.6.1.2)$$

ただし、 $f_{to}$  及び  $f_{sb}$  は下表による。

	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 $S_s$ による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 $f_{to}$	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

再結合装置の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。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。

なお、弾性設計用地震動 $S_d$ 及び静的震度は基準地震動 $S_s$ を下回っており、基準地震動 $S_s$ による発生値が弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度による評価を省略した。




NT2 補③ V-2-9-5-3-3 R0

【可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設


1.1 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
可燃性ガス濃度制御系再結合装置	S	原子炉建屋 EL. 20.30*1	—*2	—	—	C <sub>H</sub> =1.34*3	C <sub>V</sub> =1.01*3	—	

注記 \*1: 基準床レベルを示す。

\*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n	n <sub>f</sub>	
							弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト								

部材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト	194 (40mm<径)	373 (40mm<径)	194	232	—	短辺

1.3 計算数値

ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト	—	□	—	□

1.4 結 論

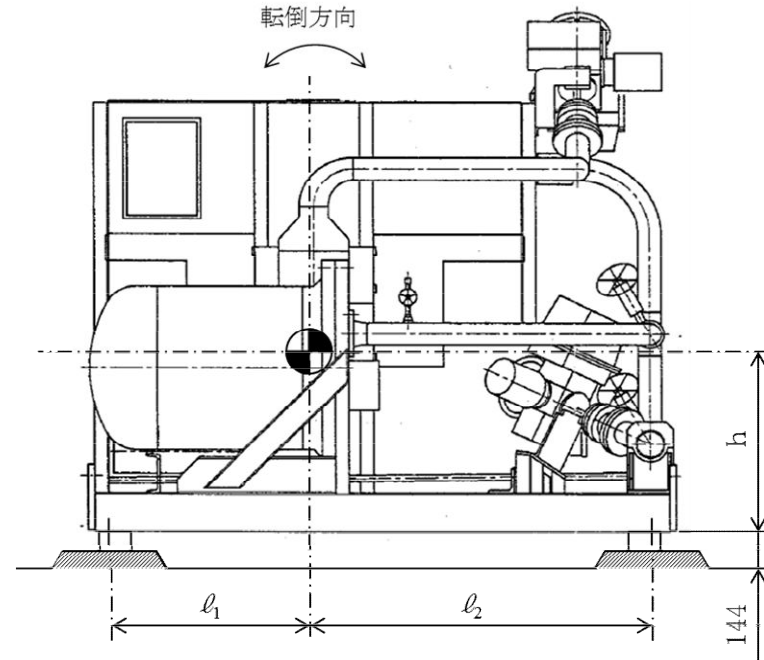
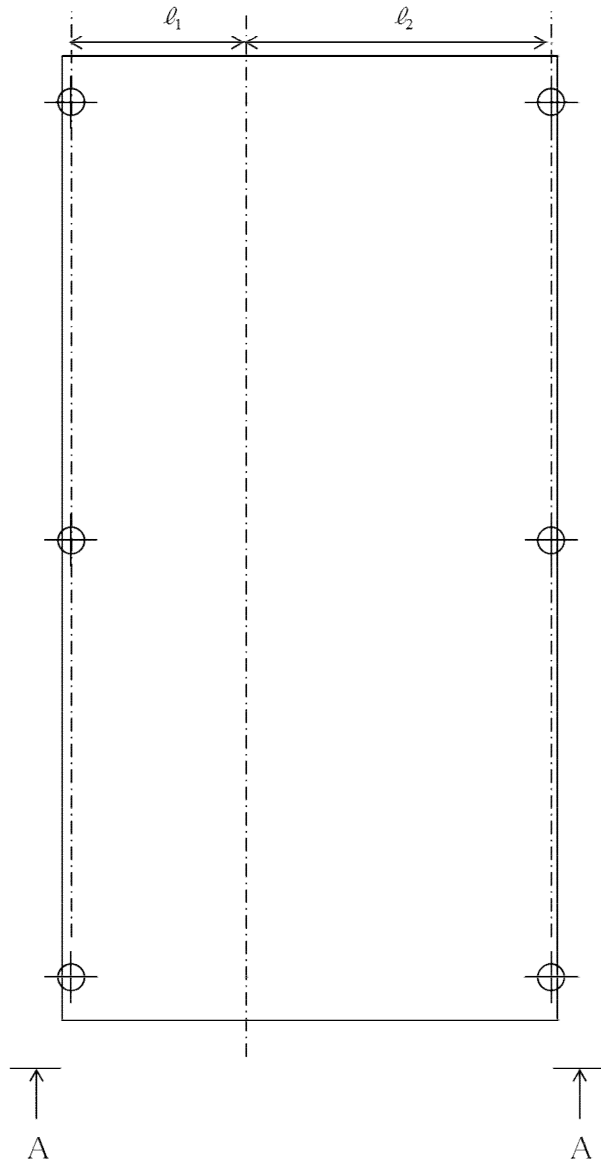
ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力	
						Ⅲ <sub>Δ</sub> S	Ⅳ <sub>Δ</sub> S
取付ボルト	□	引張り	—	—	σ <sub>b</sub> =31	f <sub>ts</sub> =142*	f <sub>ts</sub> =174*
		せん断	—	—	τ <sub>b</sub> =38	f <sub>sb</sub> =112	f <sub>sb</sub> =134

すべて許容応力以下である。

注記\*： Min[1.4・f<sub>tsi</sub> - 1.6・τ<sub>bi</sub>, f<sub>tsi</sub>]



A~A 矢視図  
(取付ボルト) 単位: mm