

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-14 改0
提出年月日	平成30年6月15日

機電分耐震計算書作成の基本方針について

本資料は、機電分耐震計算書の作成方針のうち、

- ・ V-2-1-14-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針
- ・ V-2-1-14-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針
- ・ V-2-1-14-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針

について説明するものです。

説明用

V-2-1-14-4 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	4
3. 評価部位	5
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 設計用地震力	6
4.3 計算方法	6
4.4 応力の評価	14
5. 機能維持評価	15
5.1 動的機能維持評価方法	15
6. 耐震計算書のフォーマット	15

## 1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている横軸ポンプ（耐震重要度分類Sクラス又はS s 機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

なお、本基本方針は横軸ブロワ及びファンにも適用する。（その場合は、ポンプをブロワ又はファンと読み替える。）

ただし、本基本方針が適用できない横軸ポンプにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

横軸ポンプの応力評価は、「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、「3. 評価部位」にて設定する箇所作用する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 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。また、横軸ポンプの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持 (2) 回転機器及び弁」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」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. 耐震計算書のフォーマット」にて示す。

横軸ポンプの耐震評価フローを図2-1に示す。

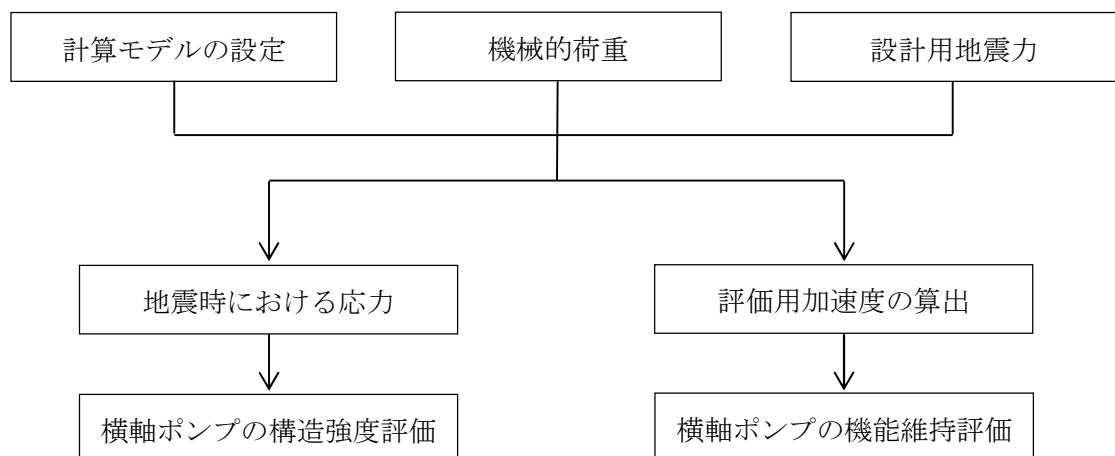


図2-1 横軸ポンプの耐震評価フロー

## 2.2 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—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。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_p$	ポンプ振動による震度	—
$C_v$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$F_i$	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_i^*$	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) * <sup>1</sup>	N
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$H_p$	予想最大両振幅	μm
$h_i$	据付面又は取付面から重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
$l_{1i}$	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1, *3</sup>	mm
$l_{2i}$	重心とボルト間の水平方向距離* <sup>1, *3</sup>	mm
$M_p$	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
$m_i$	運転時質量* <sup>2</sup>	kg
$N$	回転速度 (原動機の同期回転速度)	min <sup>-1</sup>
$n_i$	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$P$	原動機出力	kW
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* <sup>1</sup>	MPa
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa

注記 \*<sup>1</sup>:  $A_{bi}$ ,  $d_i$ ,  $F_i$ ,  $F_i^*$ ,  $F_{bi}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $l_{1i}$ ,  $l_{2i}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$ : 基礎ボルト
- $i = 2$ : ポンプ取付ボルト
- $i = 3$ : 原動機取付ボルト

なお、ポンプと原動機間に減速機がある場合は、次のように定義する。

- $i = 4$ : 減速機取付ボルト

\*2:  $h_i$  及び  $m_i$  の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 据付面

$i = 2$ : ポンプ取付面

$i = 3$ : 原動機取付面

なお、ポンプと原動機間に減速機がある場合は、次のように定義する。

$i = 4$ : 減速機取付面

\*3:  $l_{1i} \leq l_{2i}$

## 2.4 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2-1に示すとおりである。

表2-1 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
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
モーメント	N・mm	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の場合は、小数点以下表示とする。

\*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

横軸ポンプの耐震評価は「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて評価を実施する。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 横軸ポンプは構造的に 1 個の大きなブロック状をしており、重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり、かつ、下面が基礎ボルトにて固定されている。  
したがって、全体的に一つの剛体と見なせるため、固有周期は十分に小さく、固有周期の計算は省略する。
- (2) ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (3) 地震力はポンプ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。
- (4) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- (5) 転倒方向は図 4-1 概要図における軸直角方向及び軸方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (6) 設計用地震力は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。  
なお、横軸ポンプは剛として扱うため、設置床面の最大応答加速度の 1.2 倍の値を用いて評価する。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

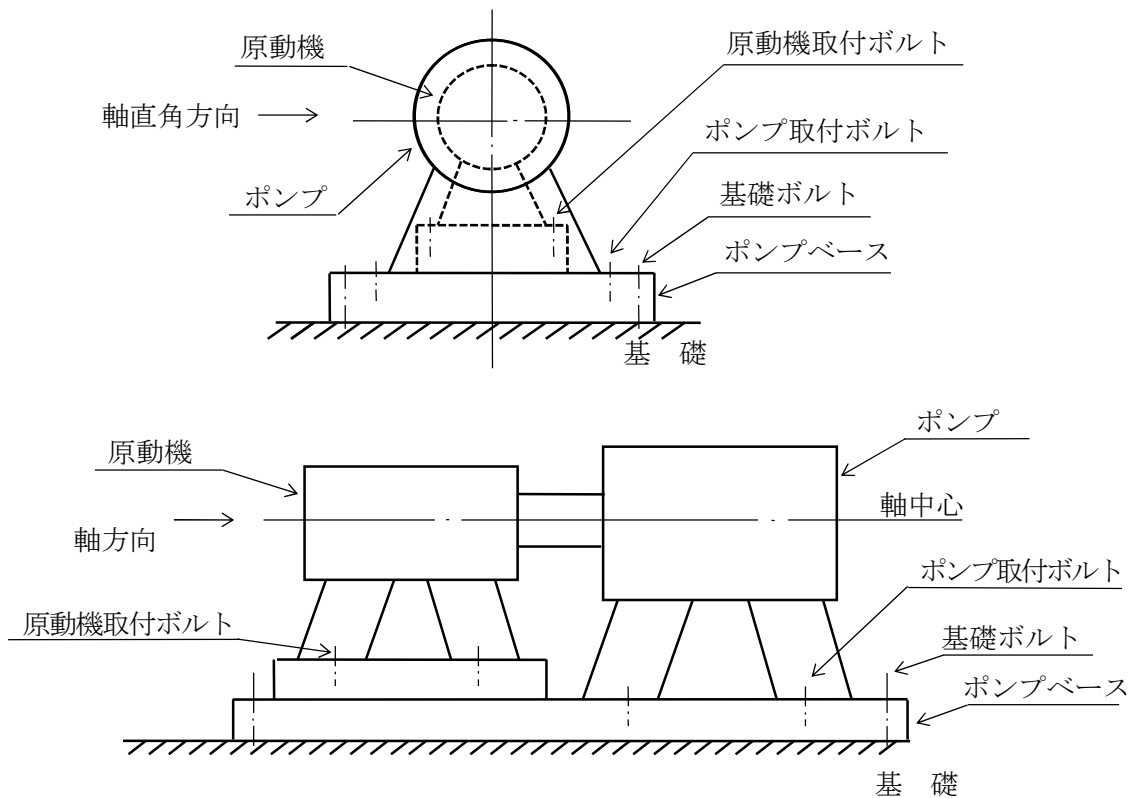


図 4-1 概要図

4.2 設計用地震力

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。

4.3 計算方法

4.3.1 応力の計算方法

4.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は地震による震度，ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

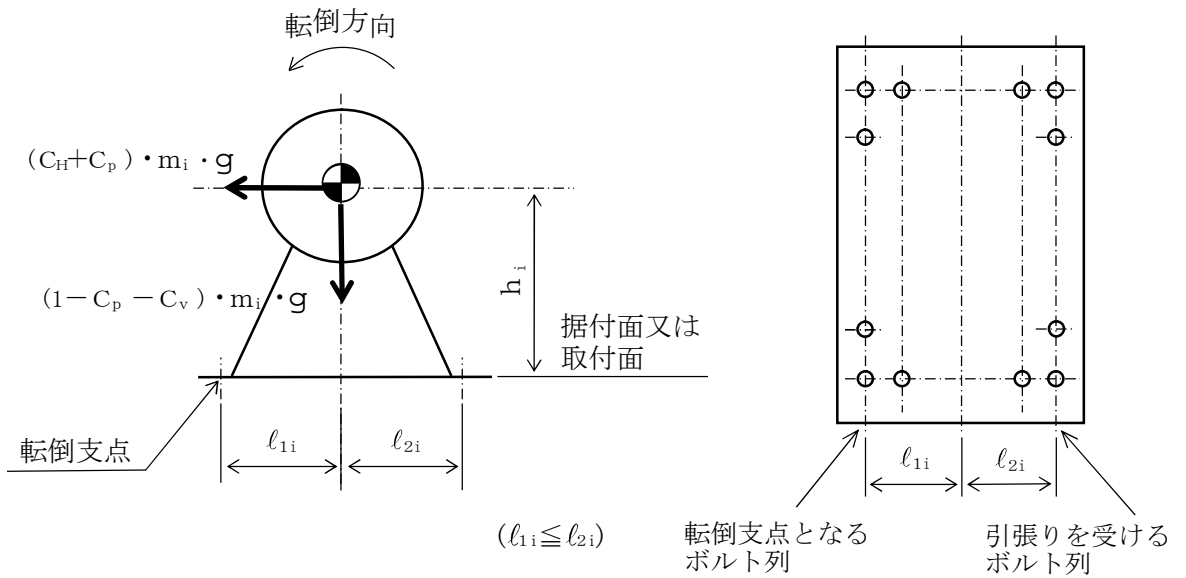


図 4-2(1) 計算モデル

(軸直角方向転倒-1  $(1 - C_p - C_v) \geq 0$  の場合)

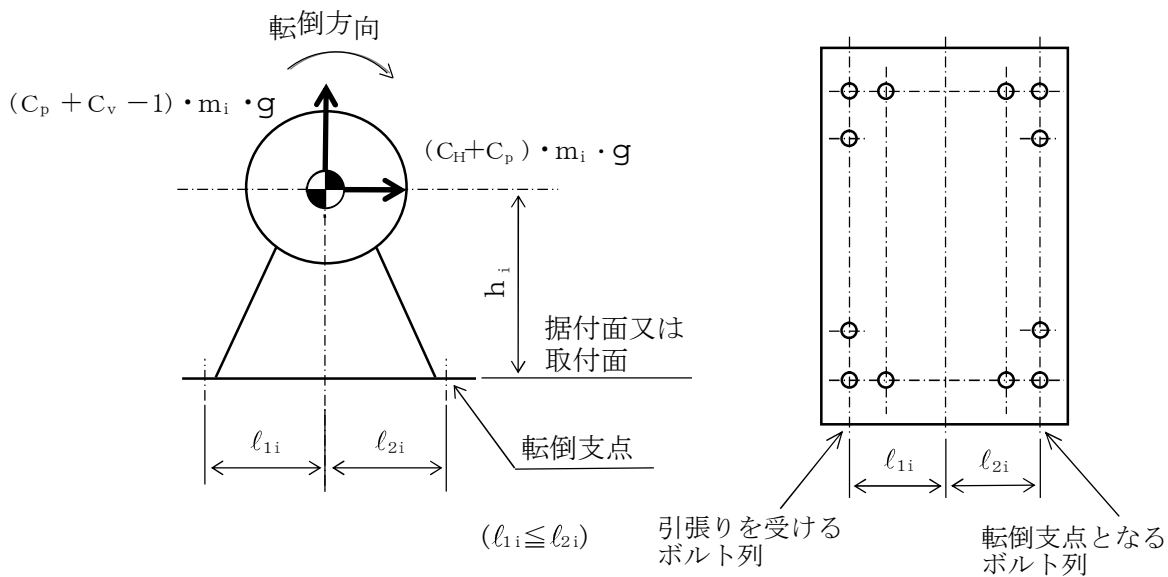


図 4-2(2) 計算モデル

(軸直角方向転倒-2  $(1 - C_p - C_v) < 0$  の場合)

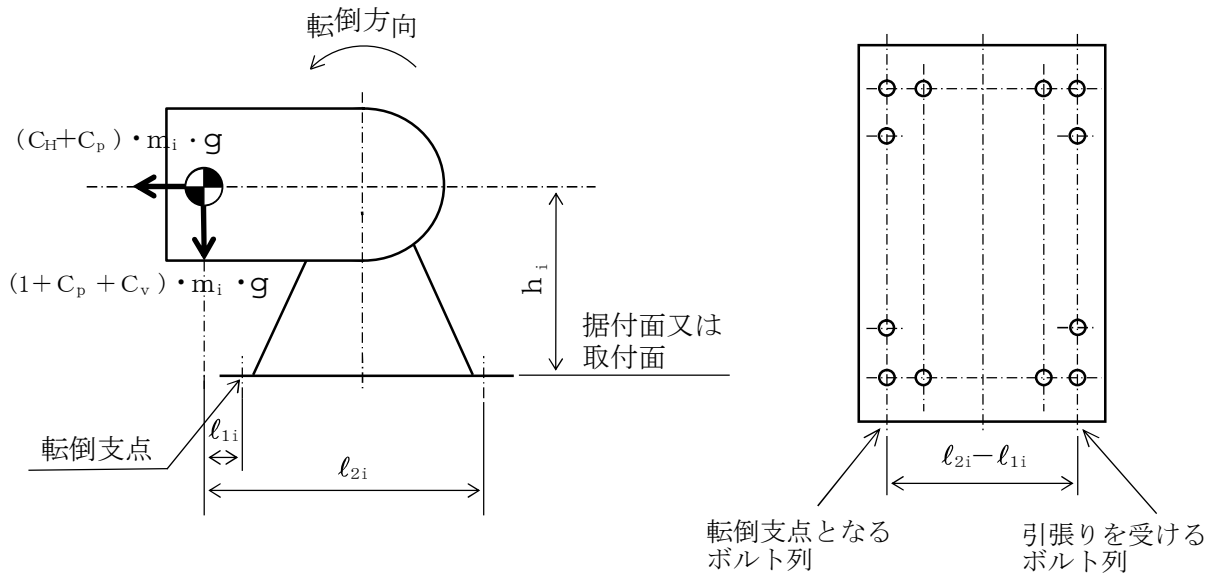


図 4-2 (3) 計算モデル

(軸直角方向転倒-3 軸直角方向の重心位置が，両端のボルトの間でない場合で  $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) \geq (C_v + C_p)$  の場合)

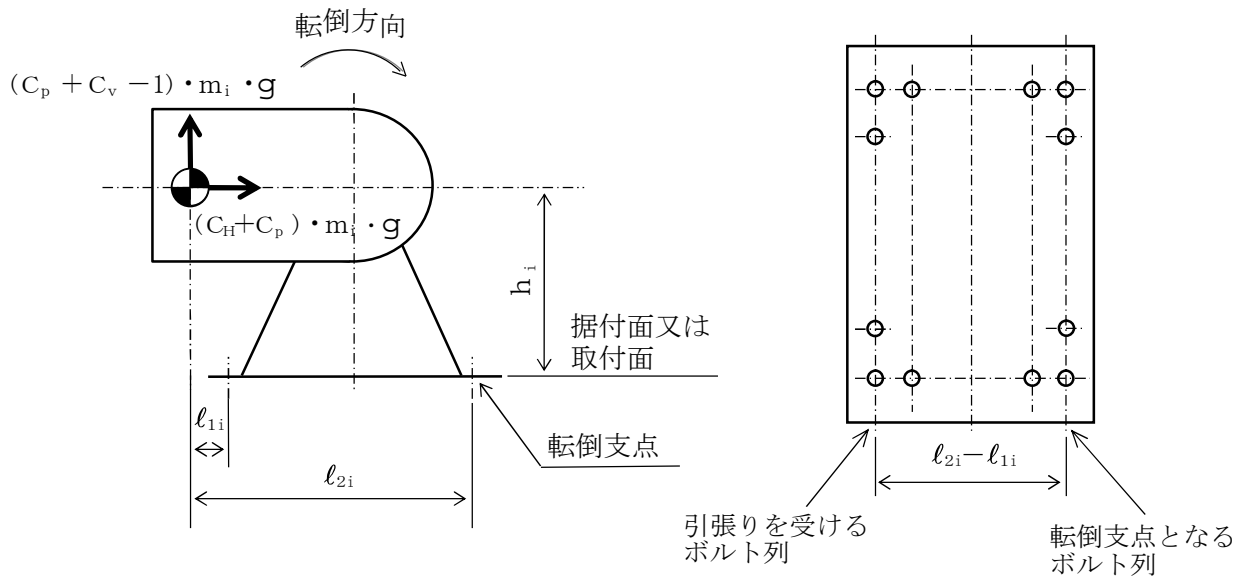


図 4-2 (4) 計算モデル

(軸直角方向転倒-4 軸直角方向の重心位置が，両端のボルトの間でない場合で  $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) < (C_v + C_p)$  の場合)

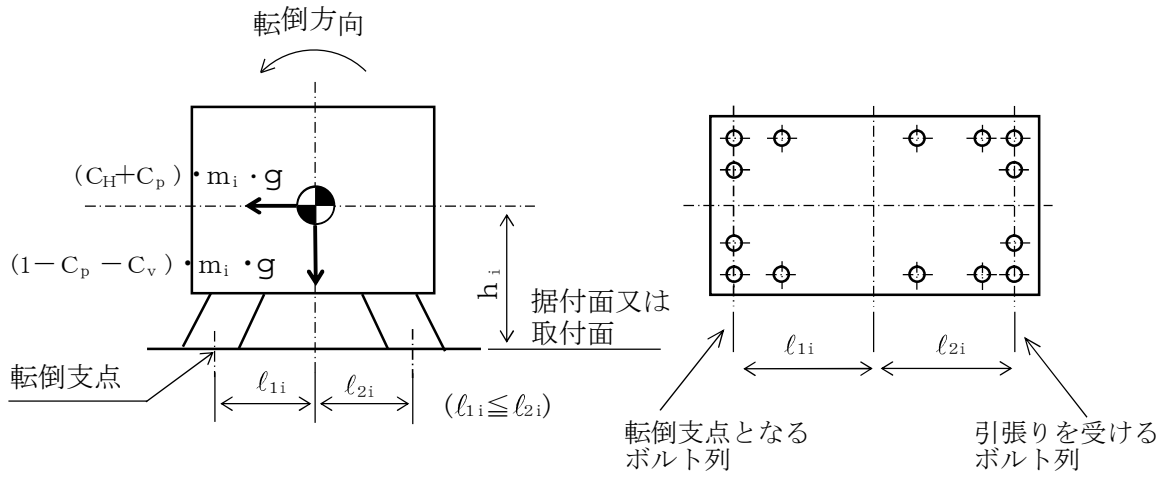


図 4-3 (1) 計算モデル  
(軸方向転倒-1  $(1 - C_p - C_v) \geq 0$  の場合)

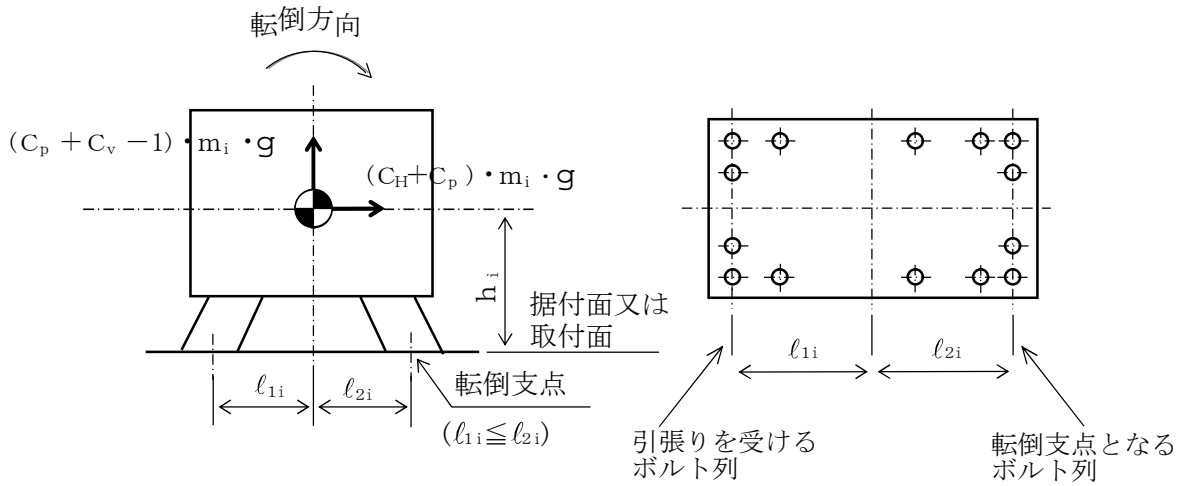


図 4-3 (2) 計算モデル  
(軸方向転倒-2  $(1 - C_p - C_v) < 0$  の場合)

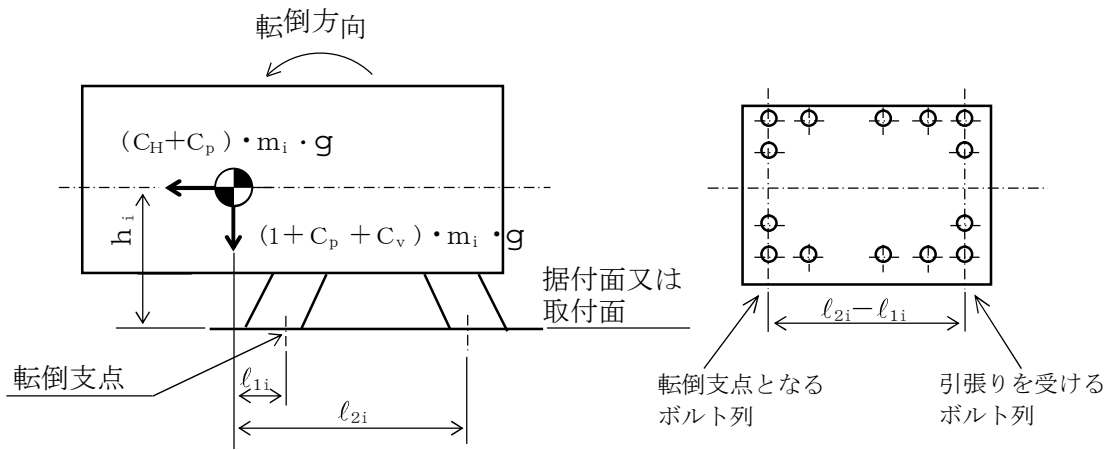


図4-3 (3) 計算モデル  
 (軸方向転倒-3 軸方向の重心位置が、両端のボルトの間でない場合で  
 $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) \geq (C_v + C_p)$  の場合)

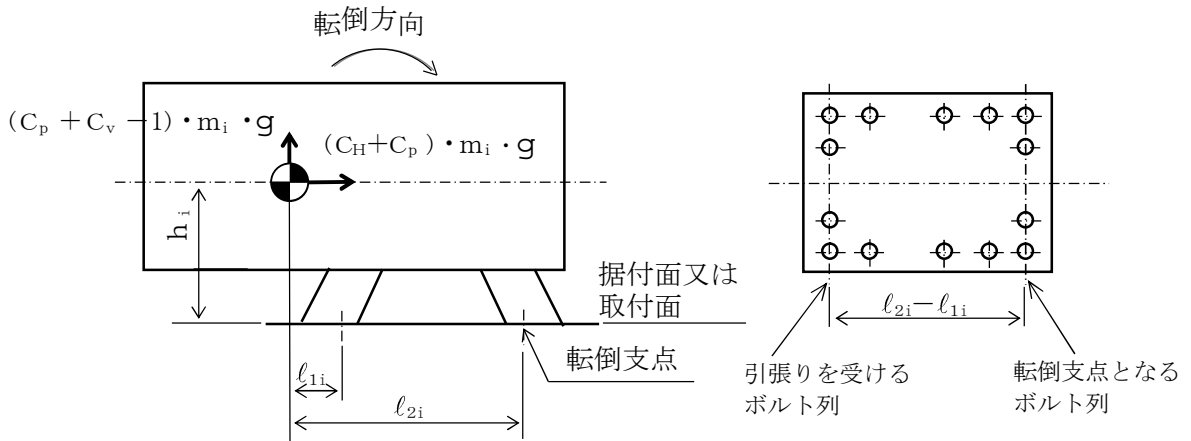


図4-3 (4) 計算モデル  
 (軸方向転倒-4 軸方向の重心位置が、両端のボルトの間でない場合で  
 $(l_{2i} + l_{1i}) / (l_{2i} - l_{1i}) < (C_v + C_p)$  の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 4-2 及び図 4-3 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。

なお、ポンプと原動機のベースが共通である場合の基礎ボルト ( $i=1$ ) 及び計算モデル図 4-3 の場合のボルト ( $i=1\sim 4$ ) については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。  
引張力

計算モデル図 4-2(1) 及び 4-3(1) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p - m_i \cdot g \cdot (1 - C_p - C_v) \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_{1i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_{1i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.1)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot l_{1i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + l_{1i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.2)

計算モデル図 4-2(2) 及び 4-3(2) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p - m_i \cdot g \cdot (1 - C_p - C_v) \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_{2i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.3)

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot l_{2i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + l_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})}$$

..... (4.3.1.1.4)

計算モデル図 4-2(3) 及び 4-3(3) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p + m_i \cdot g \cdot (1 + C_p + C_v) \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_{1i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_{1i}) + M_p + m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})} \dots\dots\dots (4.3.1.1.5)$$

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot l_{1i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + l_{1i}) + M_p + m_i \cdot g \cdot l_{1i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})} \dots\dots\dots (4.3.1.1.6)$$

計算モデル図 4-2(4) 及び 4-3(4) の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H + C_p) \cdot h_i + M_p + m_i \cdot g \cdot (C_p + C_v - 1) \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})}$$

$$= \frac{m_i \cdot g \cdot (C_H \cdot h_i + C_v \cdot l_{2i}) + m_i \cdot C_p \cdot g \cdot (h_i + l_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})} \dots\dots\dots (4.3.1.1.7)$$

【SRSS法】

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_v \cdot l_{2i})^2} + m_i \cdot g \cdot C_p \cdot (h_i + l_{2i}) + M_p - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{fi} \cdot (l_{2i} - l_{1i})} \dots\dots\dots (4.3.1.1.8)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント $M_p$ は次式で求める。

$$M_p = \left( \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.1.1.9)$$

(1kW=10<sup>6</sup>N・mm/s)

ただし、ベースが共通でポンプと原動機間に減速機がある場合、ポンプ及び減速機取付ボルト(i=2及び4)における(4.3.1.1.9)式中のNはポンプ回転速度とする。

また、 $C_p$ はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left( 2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60} \right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.1.1.10)$$



引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.11)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b i}$ は次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (4.3.1.1.12)$$

ただし、 $F_{b i}$ が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

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。

せん断力

$$Q_{b i} = (C_H + C_p) \cdot m_i \cdot g \dots\dots\dots (4.3.1.1.13)$$

せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{n_i \cdot A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.14)$$

#### 4.4 応力の評価

##### 4.4.1 ボルトの応力評価

4.3.1.1 項で求めたボルトの引張応力  $\sigma_{bi}$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{t si}$  以下であること。ただし、 $f_{t oi}$  は下表による。

$$f_{t si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t oi}] \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1)$$

せん断応力  $\tau_{bi}$  はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力  $f_{s bi}$  以下であること。ただし、 $f_{s bi}$  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 $f_{t oi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s bi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 機能維持評価

### 5.1 動的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は，「V-2-1-9 機能維持の検討方針」による。

なお，この適用形式を外れる場合は，加振試験等に基づき確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

## 6. 耐震計算書のフォーマット

横軸ポンプの耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果\*

注記 \*：重大事故等対処設備単独の場合は，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし，評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○○ポンプ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>		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 EL. *1	— *2	— *2	C <sub>H</sub> =	C <sub>V</sub> =	C <sub>H</sub> =	C <sub>V</sub> =	C <sub>P</sub> =		

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 <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> *3 (mm)	ℓ <sub>2i</sub> *3 (mm)	A <sub>bi</sub> (mm)	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> *3
基礎ボルト (i=1)					(M )		
ポンプ取付ボルト (i=2)					(M )		
原動機取付ボルト (i=3)					(M )		
減速機取付ボルト (i=4)					(M )		

部材	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向		M <sub>p</sub> (N・mm)	
					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>
基礎ボルト (i=1)	*2	*2						
ポンプ取付ボルト (i=2)	*1	*1						
原動機取付ボルト (i=3)	*1	*1						
減速機取付ボルト (i=4)	*1	*1						

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min <sup>-1</sup> )
H <sub>p</sub> =	N =

注記 \*1: 最高使用温度で算出  
\*2: 周囲環境温度で算出  
\*3: 各ボルトにおける上段は弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> 又は静的震度に対する評価時の要目を示し、下段は基準地震動 S<sub>s</sub> に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</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>
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				
減速機取付ボルト (i=4)				

1.4 結論

1.4.1 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
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
原動機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
減速機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

すべて許容応力以下である。

注記\*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s<sup>2</sup>)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

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。

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

【○○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 $S_s$		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
		建屋 EL. *1	— *2	— *2	—	—	$C_H =$	$C_V =$	$C_P =$		

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。

2.2 機器要目

部材	$m_i$ (kg)	$h_i$ (mm)	$l_{1i}$ (mm)	$l_{2i}$ (mm)	$A_{bi}$ (mm)	$n_i$	$n_{fi}$
基礎ボルト ( $i=1$ )					(M )		
ポンプ取付ボルト ( $i=2$ )					(M )		
原動機取付ボルト ( $i=3$ )					(M )		
減速機取付ボルト ( $i=4$ )					(M )		

部材	$S_{yi}$ (MPa)	$S_{ui}$ (MPa)	$F_i$ (MPa)	$F_i^*$ (MPa)	転倒方向		$M_P$ (N・mm)	
					弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト ( $i=1$ )	*2	*2	—		—		—	
ポンプ取付ボルト ( $i=2$ )	*1	*1	—		—		—	
原動機取付ボルト ( $i=3$ )	*1	*1	—		—		—	
減速機取付ボルト ( $i=4$ )	*1	*1	—		—		—	

注記 \*1: 最高使用温度で算出

\*2: 周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 ( $\mu m$ )	回転速度 ( $min^{-1}$ )
$H_p =$	$N =$

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</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>
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	
減速機取付ボルト (i=4)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 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
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
原動機取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
減速機取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$

すべて許容応力以下である。

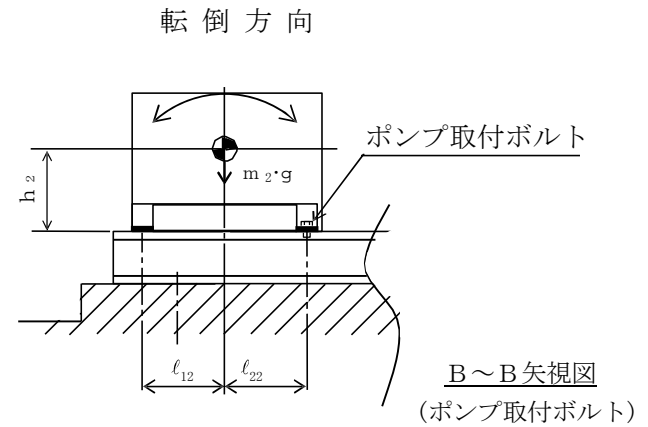
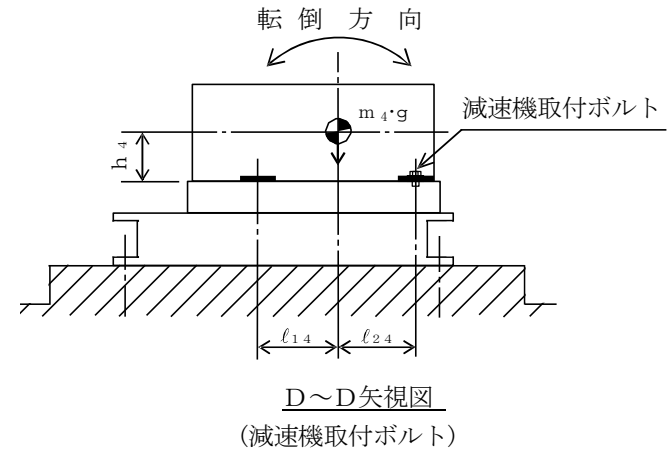
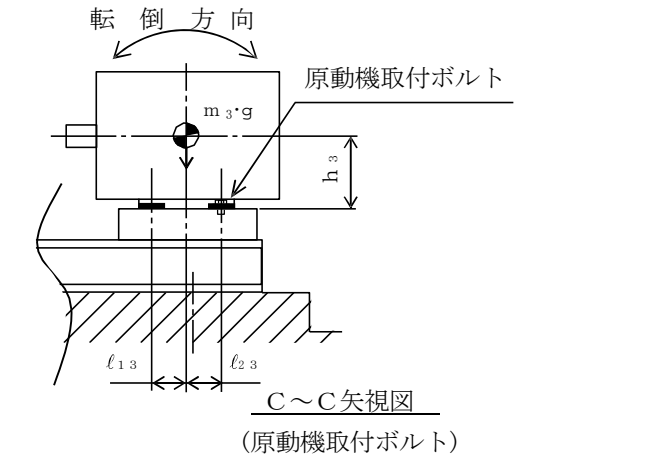
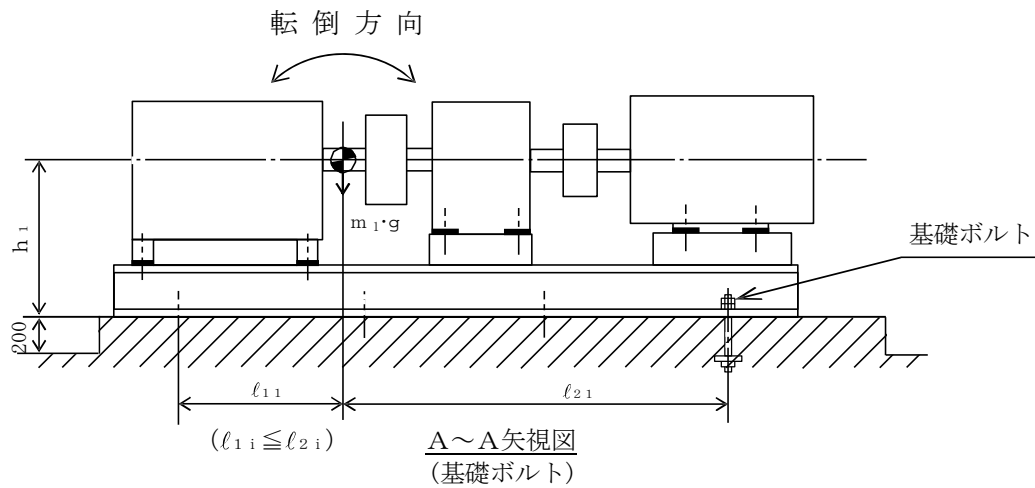
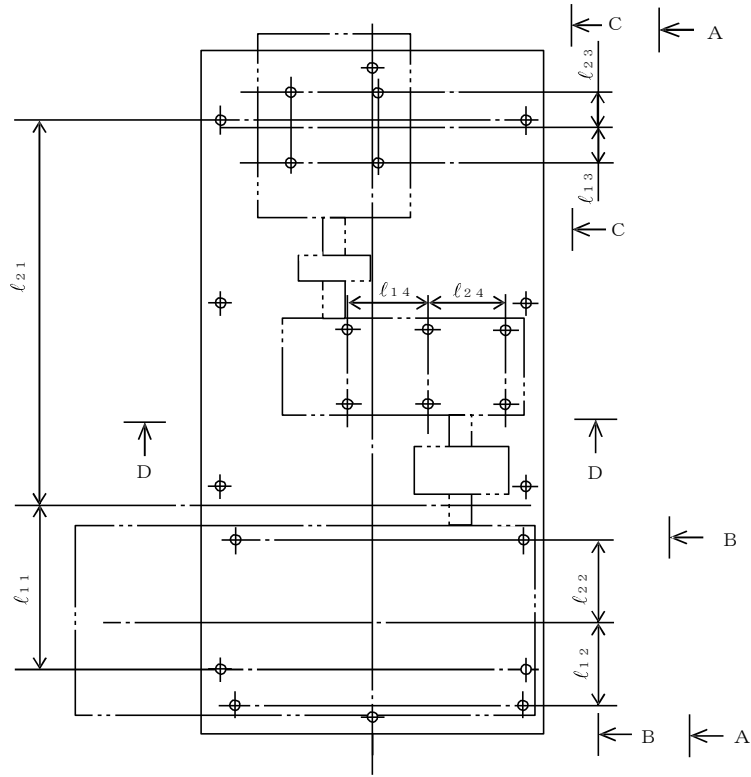
注記\*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 動的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s<sup>2</sup>)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

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。





説明用

V-2-1-14-5 たて軸ポンプの耐震性についての計算書  
作成の基本方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	5
4. 固有値解析及び構造強度評価	6
4.1 固有値解析及び構造強度評価方法	6
4.2 固有周期の計算	7
4.3 設計用地震力	7
4.4 計算方法	7
4.5 応力の評価	11
5. 機能維持評価	13
5.1 動的機能維持評価方法	13
6. 耐震計算書のフォーマット	13

## 1. 概要

本基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められているたて軸ポンプ（耐震重要度分類Sクラス又はS<sub>s</sub>機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できないたて軸ポンプにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

たて軸ポンプの応力評価は、「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、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.1 固有値解析及び構造強度評価方法」で算出した固有周期及び荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「4. 固有値解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、たて軸ポンプの機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持 (2) 回転機器及び弁」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」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. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

たて軸ポンプの耐震評価フローを図2-1に示す。

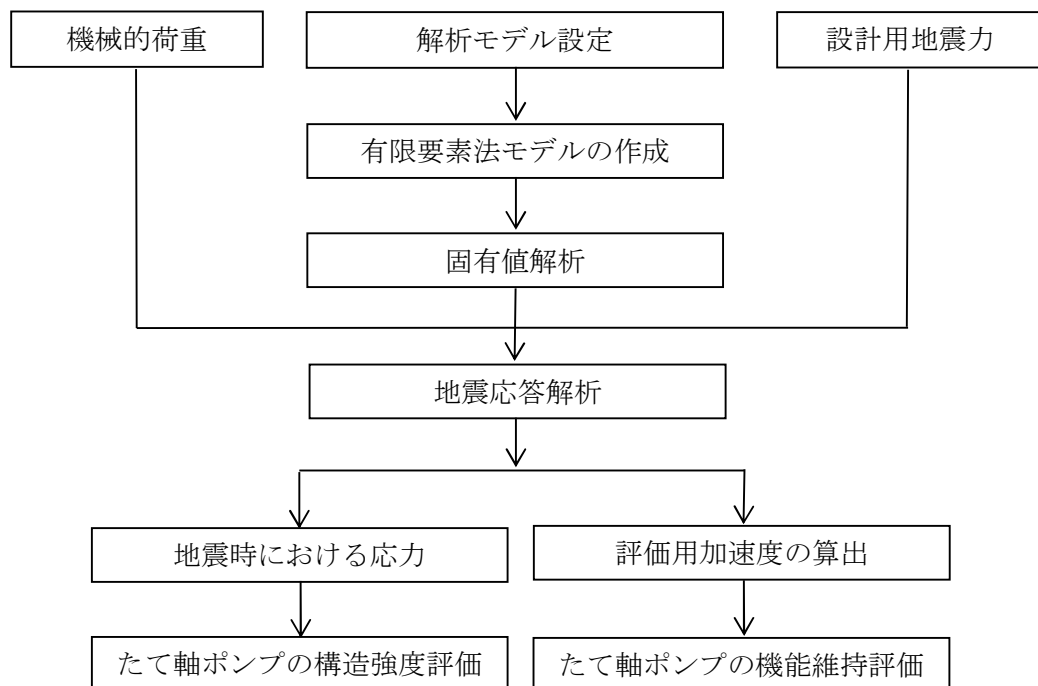


図2-1 たて軸ポンプの耐震評価フロー

## 2.2 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—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。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b i	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
A c	バレルケーシング又はコラムパイプの断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>p</sub>	ポンプ振動による震度	—
C <sub>v</sub>	鉛直方向設計震度	—
D c	バレルケーシング又はコラムパイプの内径	mm
D i	ボルトのピッチ円直径* <sup>1</sup>	mm
d i	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
F i	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値* <sup>1</sup>	MPa
F i *	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* <sup>1</sup>	MPa
F b i	ボルトに作用する引張力 (1本あたり) * <sup>1</sup>	N
f <sub>s b i</sub>	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
f <sub>t o i</sub>	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
f <sub>t s i</sub>	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
H <sub>p</sub>	予想最大両振幅	μm
M	図4-2 計算モデルによる多質点解析により求められるモーメント	N・mm
M <sub>i</sub>	図4-2 計算モデルの(イ), (ロ), (ハ)及び(ニ)を支点とする地震及び水平方向のポンプ振動による転倒モーメント* <sup>2</sup>	N・mm
M <sub>p</sub>	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m	バレルケーシング付根部に対しては, ポンプ床下部質量 コラムパイプ付根部に対しては, コラムパイプ総質量	kg
m <sub>i</sub>	運転時質量* <sup>3</sup>	kg
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	min <sup>-1</sup>
n <sub>i</sub>	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
n <sub>f i</sub>	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup>	—
P	原動機出力	kW
P <sub>c</sub>	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧	MPa
Q <sub>b i</sub>	図4-2 計算モデルの(イ), (ロ), (ハ)及び(ニ)における地震及び水平方向のポンプ振動によりボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S <sub>a</sub>	バレルケーシング又はコラムパイプの許容応力	MPa
S <sub>u</sub> , S <sub>u i</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* <sup>1</sup>	MPa
S <sub>y</sub> , S <sub>y i</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* <sup>1</sup>	MPa
S <sub>y i</sub> (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* <sup>1</sup>	MPa





記号	記号の説明	単位
$T_i$	固有周期*4	s
$t$	バレルケーシング又はコラムパイプの厚さ	mm
$Z$	バレルケーシング又はコラムパイプの断面係数	mm <sup>3</sup>
$\pi$	円周率	—
$\sigma$	バレルケーシング又はコラムパイプの一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
$\sigma_{cH}$	水平方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
$\sigma_{cV}$	鉛直方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
$\sigma_{zP}$	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{\theta P}$	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による周方向応力	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記 \*1:  $A_{bi}$ ,  $D_i$ ,  $d_i$ ,  $F_i$ ,  $F_i^*$ ,  $F_{bi}$ ,  $f_{sbi}$ ,  $f_{toi}$ ,  $f_{tsi}$ ,  $n_i$ ,  $n_{fi}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $S_{ui}$ ,  $S_{yi}$ ,  $\sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$  : 基礎ボルト
- $i = 2$  : ポンプ取付ボルト
- $i = 3$  : 原動機台取付ボルト
- $i = 4$  : 原動機取付ボルト

なお、ポンプ取付ボルト(上), (下)がある場合は、 $i = 2$  : ポンプ取付ボルト(下),  $i = 3$  : ポンプ取付ボルト(上)とし、 $i = 3$ を $i = 4$ ,  $i = 4$ を $i = 5$ とする。

\*2:  $M_i$ の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$  : 
- $i = 2$  : 
- $i = 3$  : 
- $i = 4$  : 

\*3:  $m_i$ の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$  : 据付面
- $i = 2$  : ポンプ取付面
- $i = 3$  : 原動機台取付面
- $i = 4$  : 原動機取付面

なお、ポンプ取付面(上), (下)がある場合は、 $i = 2$  : ポンプ取付面(下),  $i = 3$  : ポンプ取付面(上)とし、 $i = 3$ を $i = 4$ ,  $i = 4$ を $i = 5$ とする。

\*4:  $T_i$ の添字*i*の意味は、固有周期の次数を示す。

## 2.4 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2-1に示すとおりである。

表2-1 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
モーメント	N・mm	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の場合は、小数点以下表示とする。

\*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

たて軸ポンプの耐震評価は「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、取付ボルト並びにバレルケーシング及びコラムパイプについて評価を実施する。

#### 4. 固有値解析及び構造強度評価

##### 4.1 固有値解析及び構造強度評価方法

たて軸ポンプの固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデルの作成条件を以下に示す。

- (1) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- (2) ポンプは原動機を含めて多質点モデルにてモデル化し，軸とケーシングとを分け軸受部をばねで接続した複列式多質点モデルとする。
- (3) モデル化に際しては，原動機，ポンプ及び内容物の質量は各質点に集中するものとする。
- (4) 下部サポートは鉛直方向にスライドできるものとし，水平方向の地震力を受けるものとする。
- (5) 地震力はポンプ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。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

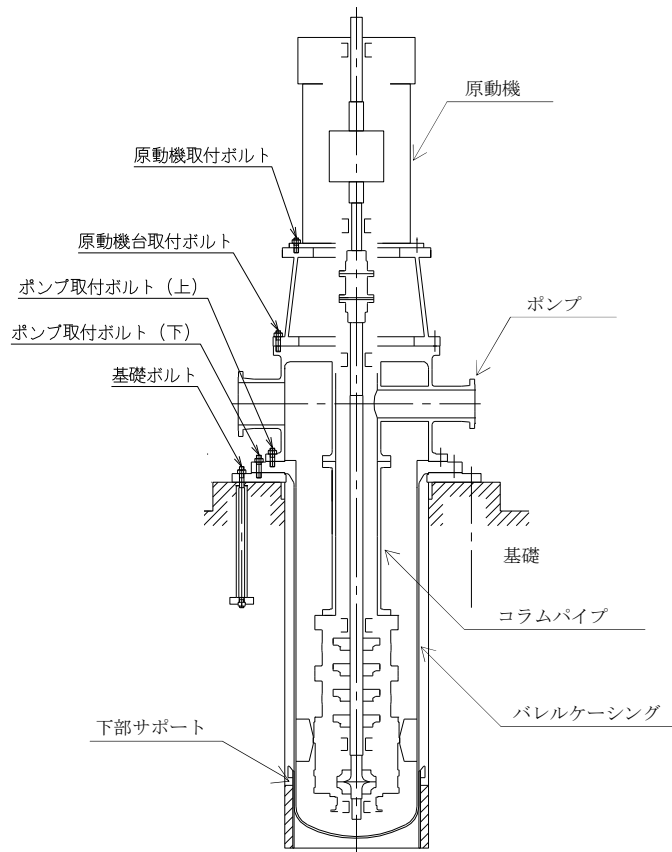


図 4-1 概要図



#### 4.2 固有周期の計算

たて軸ポンプの固有周期について、「4.1 たて軸ポンプの固有値解析及び構造強度評価方法」に基づき作成した解析モデルにより計算する。

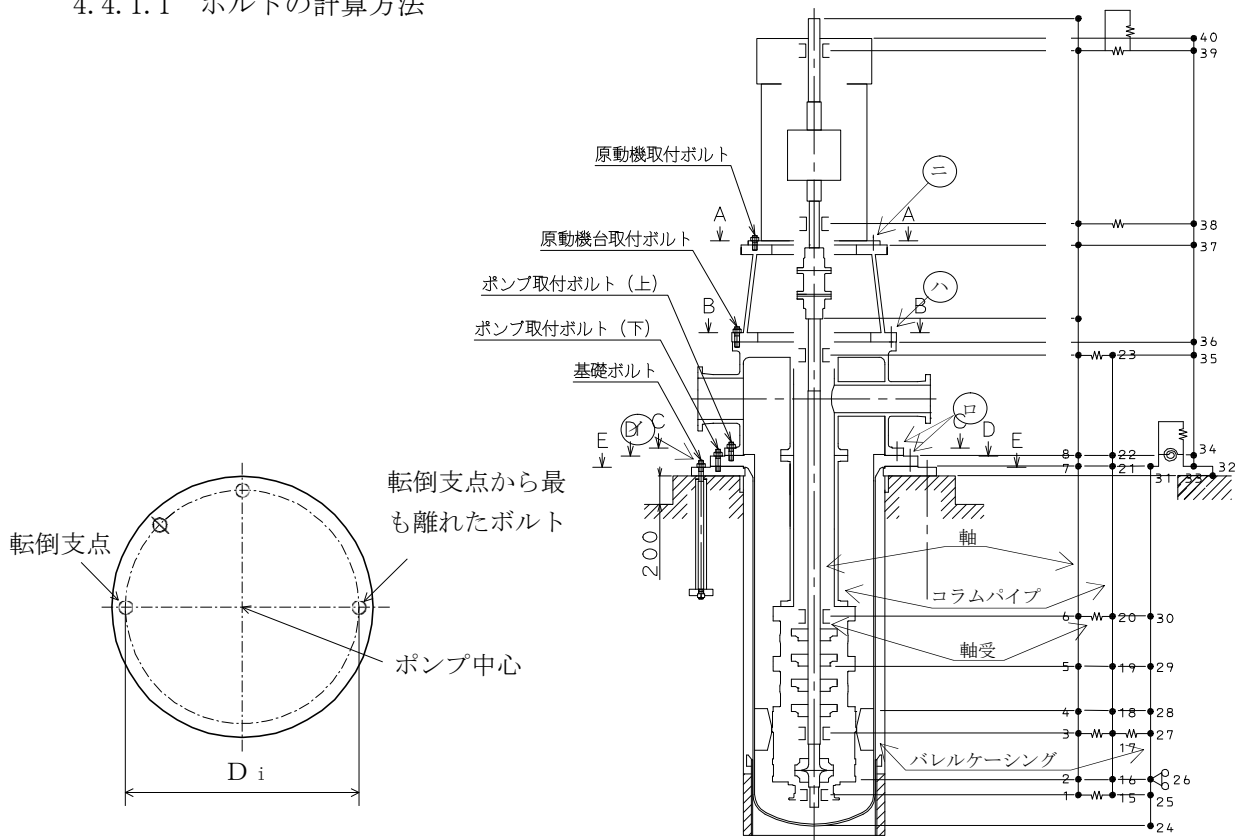
#### 4.3 設計用地震力

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。

#### 4.4 計算方法

##### 4.4.1 応力の計算方法

##### 4.4.1.1 ボルトの計算方法



$i=1$  : 基礎ボルト

$i=2$  : ポンプ取付ボルト\*

$i=3$  : 原動機台取付ボルト\*

$i=4$  : 原動機取付ボルト\*

注記\* : ポンプ取付ボルト(上), (下)がある場合は,  $i=2$  : ポンプ取付ボルト(下),  $i=3$  : ポンプ取付ボルト(上)とし,  $i=3$ を $i=4$ ,  $i=4$ を $i=5$ とする。

図 4-2 計算モデル

ボルトの応力は地震による震度, ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

なお、転倒モーメント並びにせん断力は、計算機コード「NASTRAN」を用いた地震応答解析により算出するが、その際、水平方向には設計震度とポンプ振動による震度の合計を考慮し、鉛直方向には、設計震度と自重を考慮する。

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

引張力

$$F_{b i} = \frac{M_i - (1 - C_p - C_v) \cdot m_i \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_{f i} \cdot D_i} \dots\dots\dots (4.3.1.1.1)$$

ここで、 $M_i$ は計算機コード「NASTRAN」を用いた地震応答解析により求める。  
また、 $C_p$ はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b i}$ は次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (4.3.1.1.4)$$

ただし、 $F_{b i}$ が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

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。なお、基礎ボルト( $i=1$ )については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力

せん断力は計算機コード「NASTRAN」を用いた地震応答解析により求める $Q_{b i}$ 及びポンプ回転により作用するモーメント $M_p$ を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i} + 2 \cdot M_p / D_i}{n_i \cdot A_{b i}} \dots\dots\dots (4.3.1.1.5)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント $M_p$ は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.1.1.6)$$

(1kW=10<sup>6</sup>N・mm/s)

## 4.4.1.2 バレルケーシング及びコラムパイプの計算方法

バレルケーシング及びコラムパイプの応力は次式により求める。

## (1) 水平方向地震力による応力

多質点モデルを用いて応答計算を行い、得られた各部に働くモーメントにより、曲げ応力は以下のようになる。

$$\sigma_{cH} = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (4.3.1.2.1)$$

## (2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{cV} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot m \cdot g}{A_c} \dots\dots\dots (4.3.1.2.2)$$

## (3) 内圧による応力

$$\sigma_{\theta P} = \frac{P_c \cdot D_c}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.3.1.2.3)$$

$$\sigma_{zP} = \frac{P_c \cdot D_c}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (4.3.1.2.4)$$

以上の(1)～(3)の各応力から、一次一般膜応力は

$$\sigma = \text{Max} (\sigma_{cH} + \sigma_{cV} + \sigma_{zP}, \sigma_{\theta P}) \dots\dots\dots (4.3.1.2.5)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

#### 4.5 応力の評価

##### 4.5.1 ボルトの応力評価

4.3.1.1 項で求めたボルトの引張応力  $\sigma_{bi}$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{t si}$  以下であること。ただし、 $f_{t oi}$  は下表による。

$$f_{t si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t oi}] \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1)$$

せん断応力  $\tau_{bi}$  はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力  $f_{s bi}$  以下であること。ただし、 $f_{s bi}$  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 $f_{t oi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s bi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.5.2 バレルケーシング及びコラムパイプの応力評価

4.3.1.2 項で求めた応力が最高使用温度における許容応力  $S_a$  以下であること。ただし、 $S_a$  は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 $S_a$	
		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
一次一般膜応力	設計降伏点 $S_y$ と設計引張強さ $S_u$ の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 $S$ の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ $S_u$ の 0.6 倍

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

## 5. 機能維持評価

### 5.1 動的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。機能確認済加速度は、「V-2-1-9 機能維持の検討方針」による。

なお、この適用形式を外れる場合は、加振試験等に基づき確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

## 6. 耐震計算書のフォーマット

たて軸ポンプの耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果\*

注記\*：重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○ポンプ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 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			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				吸込側	吐出側
		建屋 EL. *			$C_H =$	$C_V =$	$C_H =$	$C_V =$	$C_p =$				

注記 \* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	$m_i$ (kg)	$D_i$ (mm)	$A_{b_i}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{f_i}$	$M_p$ (N・mm)	$S_{y_i}$ (MPa)	$S_{u_i}$ (MPa)	$F_i$ (MPa)	$F_i^*$ (MPa)
基礎ボルト (i=1)			(M )				*2	*2		
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)			(M )				*1	*1		
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)			(M )				*1	*1		
原動機台取付ボルト (i=4)			(M )				*1	*1		
原動機取付ボルト (i=5)			(M )				*2	*2		

注記 \*1 : 最高使用温度で算出  
\*2 : 周囲環境温度で算出

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$D_c$ (mm)	t (mm)
バレルケーシング	*1	*1	*1		
コラムパイプ	*1	*1	*1		

注記 \*1 : 最高使用温度で算出  
\*2 : 周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 ( $\mu$ m)	回転速度 (min <sup>-1</sup> )
$H_p =$	$N =$



1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M <sub>i</sub> (N・mm)		F <sub>b i</sub> (N)		Q <sub>b i</sub> (N)	
	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>	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>
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)						
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)						
原動機台取付ボルト (i=4)						
原動機取付ボルト (i=5)						

(2) バレルケーシング，コラムパイプに作用する力 (単位：N・mm)

部材	M	
	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>
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結 論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	固有周期
水平 1次	T <sub>H1</sub> =
鉛直 1次	T <sub>V1</sub> =

15

1.4.2 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
基礎ボルト		引張り	σ <sub>b1</sub> =	f <sub>ts1</sub> = *	σ <sub>b1</sub> =	f <sub>ts1</sub> = *
		せん断	τ <sub>b1</sub> =	f <sub>sb1</sub> =	τ <sub>b1</sub> =	f <sub>sb1</sub> =
ポンプ取付ボルト(下)		引張り	σ <sub>b2</sub> =	f <sub>ts2</sub> = *	σ <sub>b2</sub> =	f <sub>ts2</sub> = *
		せん断	τ <sub>b2</sub> =	f <sub>sb2</sub> =	τ <sub>b2</sub> =	f <sub>sb2</sub> =
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	σ <sub>b3</sub> =	f <sub>ts3</sub> = *	σ <sub>b3</sub> =	f <sub>ts3</sub> = *
		せん断	τ <sub>b3</sub> =	f <sub>sb3</sub> =	τ <sub>b3</sub> =	f <sub>sb3</sub> =
原動機台取付ボルト		引張り	σ <sub>b4</sub> =	f <sub>ts4</sub> = *	σ <sub>b4</sub> =	f <sub>ts4</sub> = *
		せん断	τ <sub>b4</sub> =	f <sub>sb4</sub> =	τ <sub>b4</sub> =	f <sub>sb4</sub> =
原動機取付ボルト		引張り	σ <sub>b5</sub> =	f <sub>ts5</sub> = *	σ <sub>b5</sub> =	f <sub>ts5</sub> = *
		せん断	τ <sub>b5</sub> =	f <sub>sb5</sub> =	τ <sub>b5</sub> =	f <sub>sb5</sub> =

すべて許容応力以下である。

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

1.4.3 バレルケーシング，コラムパイプの応力

(単位：MPa)

部材	材料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	σ =	S <sub>a</sub> =
		基準地震動 S <sub>s</sub>	σ =	S <sub>a</sub> =
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	σ =	S <sub>a</sub> =
		基準地震動 S <sub>s</sub>	σ =	S <sub>a</sub> =

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果

1.4.4.1 機能確認済加速度との比較

(単位：×9.8 m/s<sup>2</sup>)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向	*	
原動機	水平方向		
	鉛直方向	*	

注記\*：評価用加速度は1.0ZPA

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (mm <sup>4</sup> )	断面二次 極モーメント (mm <sup>4</sup> )
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

## (4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm <sup>3</sup> )	ポアソン 比 (-)	材質
1					
2					
3					
4					
5					

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処施設

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	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 $S_s$		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			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				吸入側	吐出側
		建屋 EL. *			—	—	$C_H =$	$C_V =$	$C_p =$				

注記 \* : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	$m_i$ (kg)	$D_i$ (mm)	$A_{b_i}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{f_i}$	$M_p$ (N・mm)	$S_{y_i}$ (MPa)	$S_{u_i}$ (MPa)	$F_i$ (MPa)	$F_i^*$ (MPa)
基礎ボルト (i=1)			(M )				*2	*2	—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)			(M )				*1	*1	—	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)			(M )				*1	*1	—	
原動機台取付ボルト (i=4)			(M )				*1	*1	—	
原動機取付ボルト (i=5)			(M )				*2	*2	—	

注記 \*1 : 最高使用温度で算出

\*2 : 周囲環境温度で算出

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$D_c$ (mm)	t (mm)
バレルケーシング	*1	*1	*1		
コラムパイプ	*1	*1	*1		

注記 \*1 : 最高使用温度で算出

\*2 : 周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 ( $\mu m$ )	回転速度 ( $min^{-1}$ )
$H_p =$	N =

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	$M_i$ (N・mm)		$F_{bi}$ (N)		$Q_{bi}$ (N)	
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト (i=1)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	—		—		—	
原動機台取付ボルト (i=4)	—		—		—	
原動機取付ボルト (i=5)	—		—		—	

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

2.4 結 論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	$T_{H1} =$
鉛直 1次	$T_{V1} =$

2.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト(下)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	—	—	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
原動機台取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$
原動機取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b5} =$	$f_{ts5} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b5} =$	$f_{sb5} =$

すべて許容応力以下である。

注記\*:  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$  より算出

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力 (単位: MPa)

部材	材料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	—	—
		基準地震動 $S_s$	$\sigma =$	$S_a =$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	—	—
		基準地震動 $S_s$	$\sigma =$	$S_a =$

すべて許容応力以下である。



2.4.4 動的機能の評価結果

2.4.4.1 機能確認済加速度との比較

(単位：×9.8 m/s<sup>2</sup>)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向	*	
原動機	水平方向		
	鉛直方向	*	

注記\*：評価用加速度は 1.0ZPA

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (mm <sup>4</sup> )	断面二次 極モーメント (mm <sup>4</sup> )
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

## (4) 節点の質量

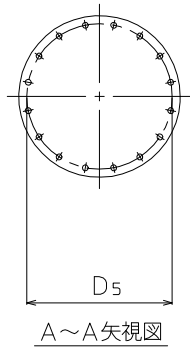
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

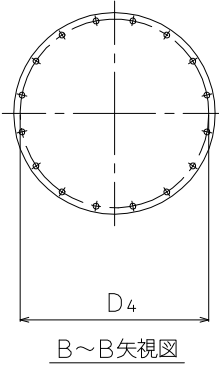
材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm <sup>3</sup> )	ポアソン 比 (-)	材質
1					
2					
3					
4					
5					

容器、基礎台及びボルトの形状  
は実機ベースで記載する。  
なお、ボルトのスリーブは記載しない。

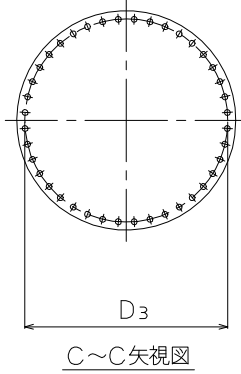
原動機取付ボルト



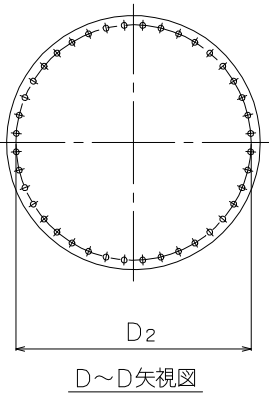
原動機台取付ボルト



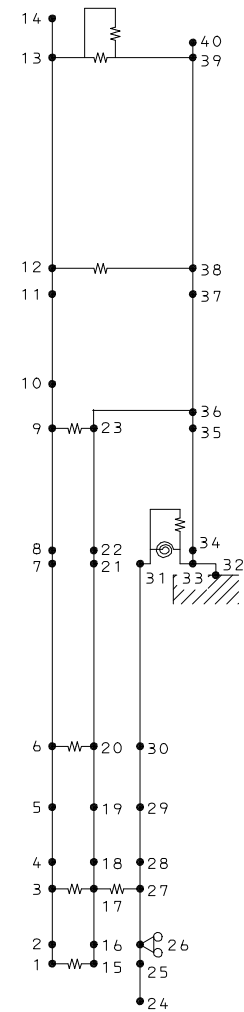
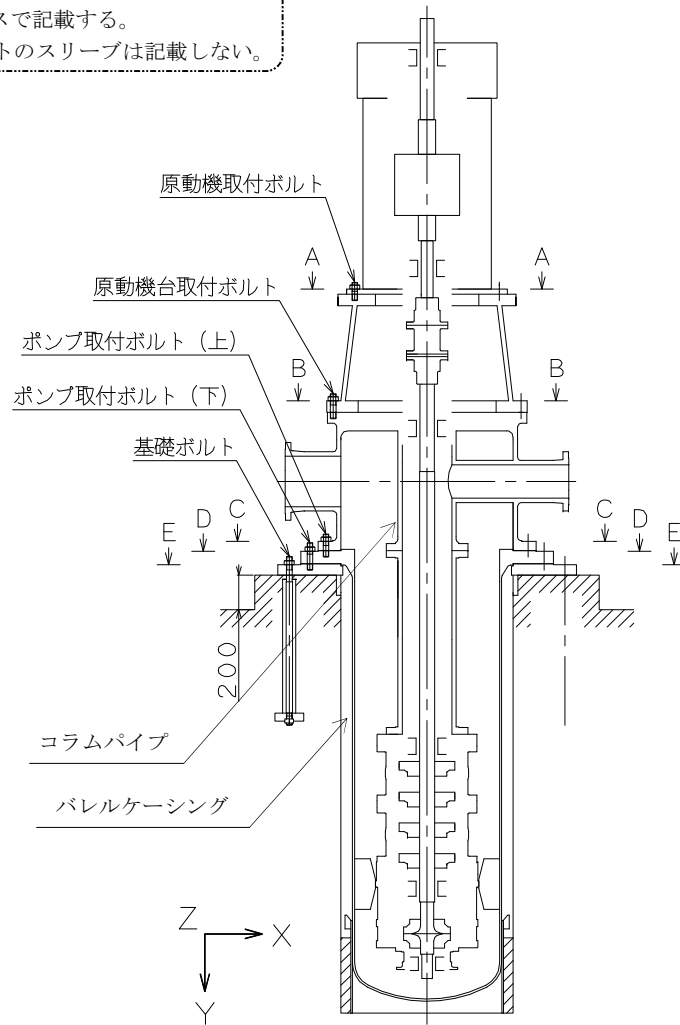
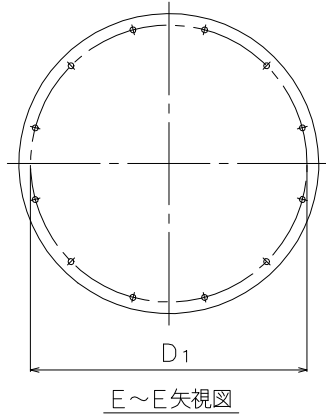
ポンプ取付ボルト (上)



ポンプ取付ボルト (下)



基礎ボルト



説明用

V-2-1-14-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
5. 構造強度評価	6
5.1 構造強度評価方法	6
5.2 設計用地震力	8
5.3 計算方法	8
5.4 応力の評価	24
6. 機能維持評価	25
6.1 電氣的機能維持評価方法	25
7. 耐震計算書のフォーマット	25
7.1 直立形盤の耐震計算書のフォーマット	25
7.2 壁掛形盤の耐震計算書のフォーマット	25



## 1. 概要

基本方針は、「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められている盤（耐震重要度分類Sクラス又はS<sub>0</sub>機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。

解析の方針及び減衰定数については、「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できない盤にあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

## 2. 一般事項

### 2.1 評価方針

盤の応力評価は、「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、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「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。また、盤の機能維持評価は、

「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 耐震計算書のフォーマット」に示す。

盤の耐震評価フローを図2-1に示す。

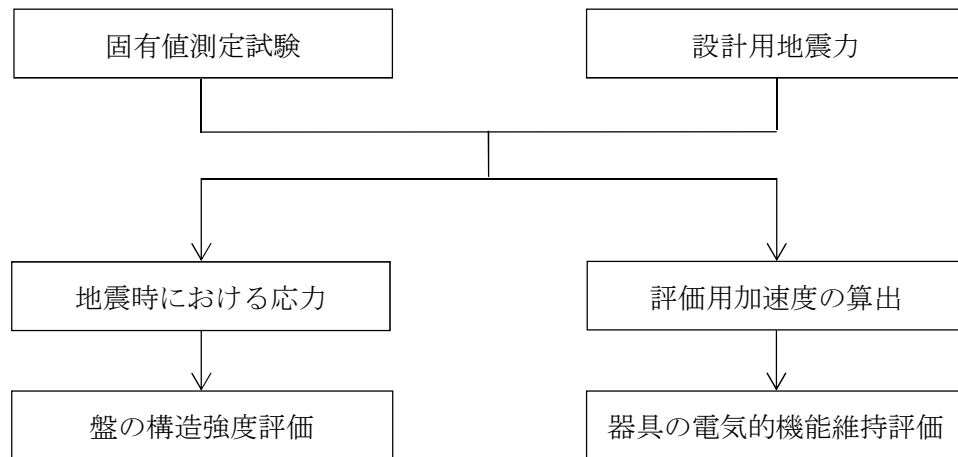


図2-1 盤の耐震評価フロー

## 2.2 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—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 - 2 0 0 5 / 2 0 0 7）（日本機械学会 2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}$	ボルトの軸断面積* <sup>1</sup>	mm <sup>2</sup>
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_i$	ボルトの呼び径* <sup>1</sup>	mm
$F_i$	設計・建設規格 SSB-3131に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_i^*$	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* <sup>1</sup>	N
$F_{bli}$	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本当たり）（壁掛形）* <sup>1</sup>	N
$F_{b2i}$	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1本当たり）（壁掛形）* <sup>1</sup>	N
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$f_{tsi}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$g$	重力加速度（=9.80665）	m/s <sup>2</sup>
$h_i$	据付面又は取付面から重心までの距離* <sup>2</sup>	mm
$l_{1i}$	重心とボルト間の水平方向距離（直立形）* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$l_{1i}$	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）* <sup>1</sup>	mm
$l_{2i}$	重心とボルト間の水平方向距離（直立形）* <sup>1</sup> , * <sup>3</sup>	mm
$l_{2i}$	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）* <sup>1</sup>	mm
$l_{3i}$	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離（壁掛形）* <sup>1</sup>	mm
$m_i$	運転時質量* <sup>2</sup>	kg
$n_i$	ボルトの本数* <sup>1</sup>	—
$n_{fi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（直立形）* <sup>1</sup>	—
$n_{Vi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup> （鉛直方向）（壁掛形）	—
$n_{Hi}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* <sup>1</sup> （水平方向）（壁掛形）	—

記号	記号の説明	単位
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力* <sup>1</sup>	N
$Q_{bli}$	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）* <sup>1</sup>	N
$Q_{b2i}$	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）* <sup>1</sup>	N
$S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* <sup>1</sup>	MPa
$S_{yi} (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値* <sup>1</sup>	MPa
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力* <sup>1</sup>	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力* <sup>1</sup>	MPa

注記 \*1:  $A_{bi}, d_i, F_i, F_i^*, F_{bi}, F_{bli}, F_{b2i}, f_{sbi}, f_{toi}, f_{tsi}, l_{1i}, l_{2i}, l_{3i}, n_i, n_{fi}, n_{fvi}, n_{fi}, Q_{bi}, Q_{bli}, Q_{b2i}, S_{ui}, S_{yi}, \sigma_{bi}$  及び  $\tau_{bi}$  の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$  : 基礎ボルト

$i = 2$  : 取付ボルト

\*2:  $h_i$  及び  $m_i$  の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$  : 据付面

$i = 2$  : 取付面

\*3:  $l_{1i} \leq l_{2i}$

## 2.4 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2-1に示すとおりである。

表2-1 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
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* <sup>1</sup>	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* <sup>2</sup>
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* <sup>2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力* <sup>3</sup>	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の場合は、小数点以下表示とする。

\*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

盤の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて評価を実施する。

### 4. 固有周期

盤の固有周期は、振動試験（加振試験又は自由振動試験）にて求める。なお、振動試験が行われていない盤については、構造が同様な盤に対する振動試験の結果算定された固有周期を使用する。

### 5. 構造強度評価

#### 5.1 構造強度評価方法

- (1) 盤の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は盤に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 直立形の盤は取付ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。また、壁掛形の盤は取付ボルト及び基礎ボルトでチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
- (4) 床面据付の盤の転倒方向は、図 5-1 概要図（直立形）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（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。壁掛形の盤については、図 5-2 概要図（壁掛形）における水平方向及び鉛直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) 盤の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

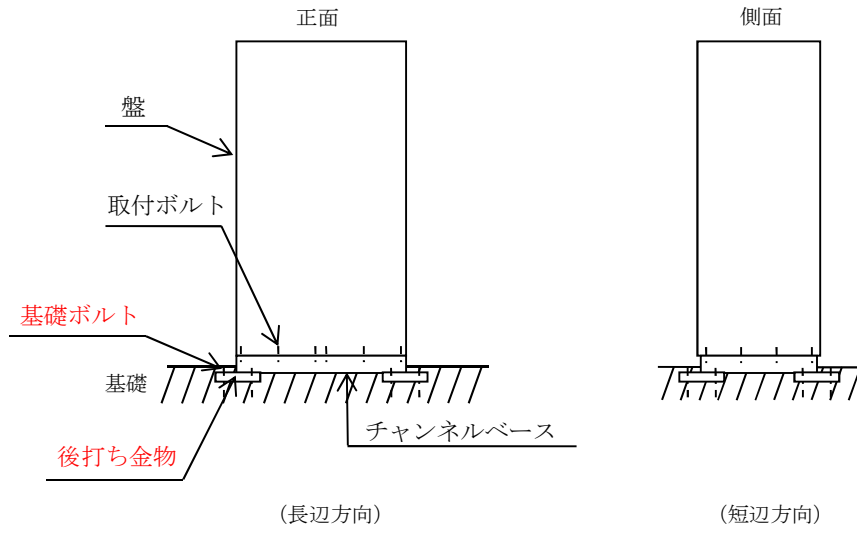


図 5-1 概要図 (直立形)

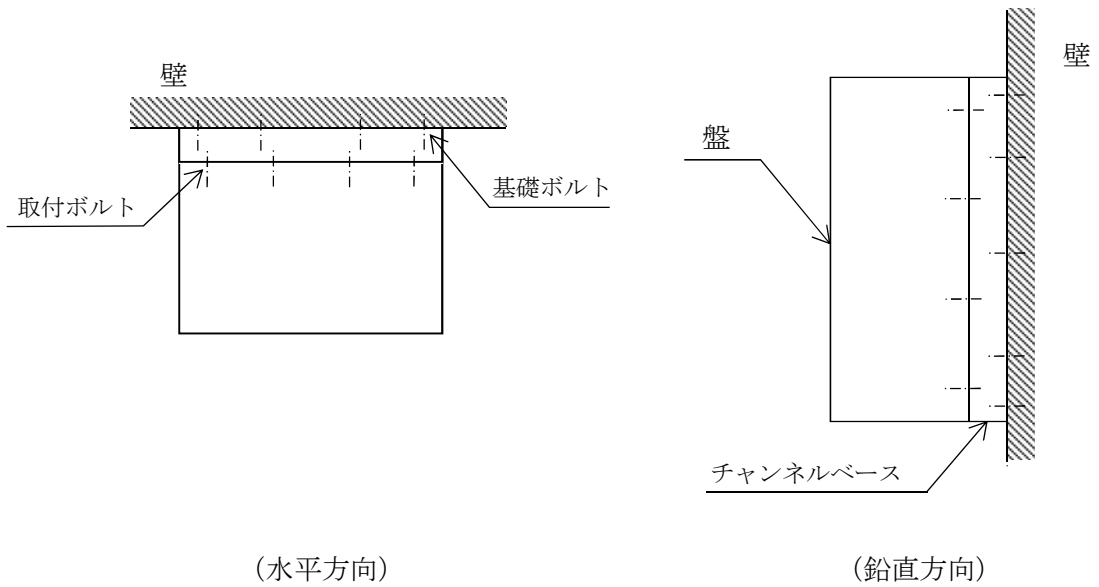


図 5-2 概要図 (壁掛形)

## 5.2 設計用地震力

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。なお、壁掛形の盤の設計用地震力については、設置床上階の設計用地震力を使用する。

## 5.3 計算方法

### 5.3.1 応力の計算方法

#### 5.3.1.1 ボルトの計算方法

ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

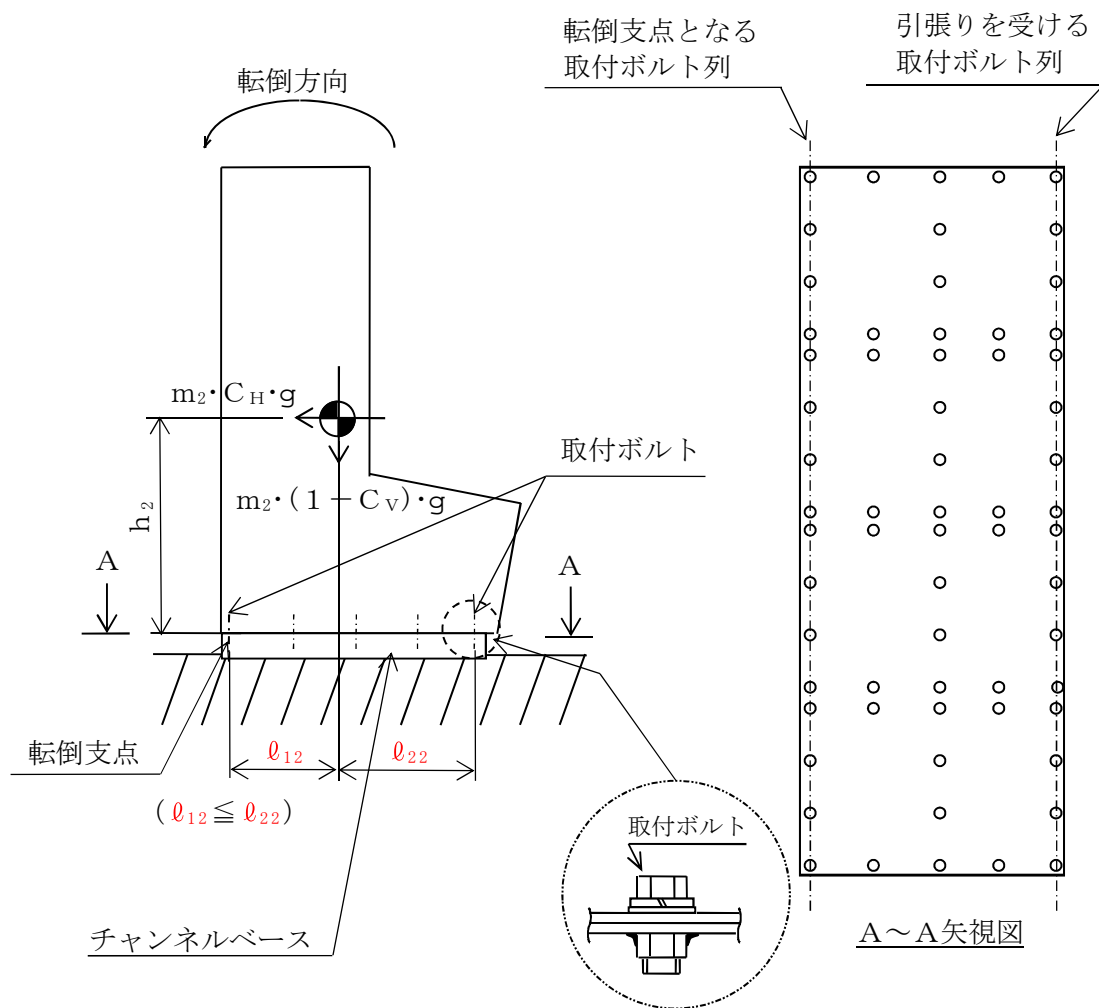


図5-3(1) 計算モデル  
(ベンチ形 短辺方向転倒  $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)



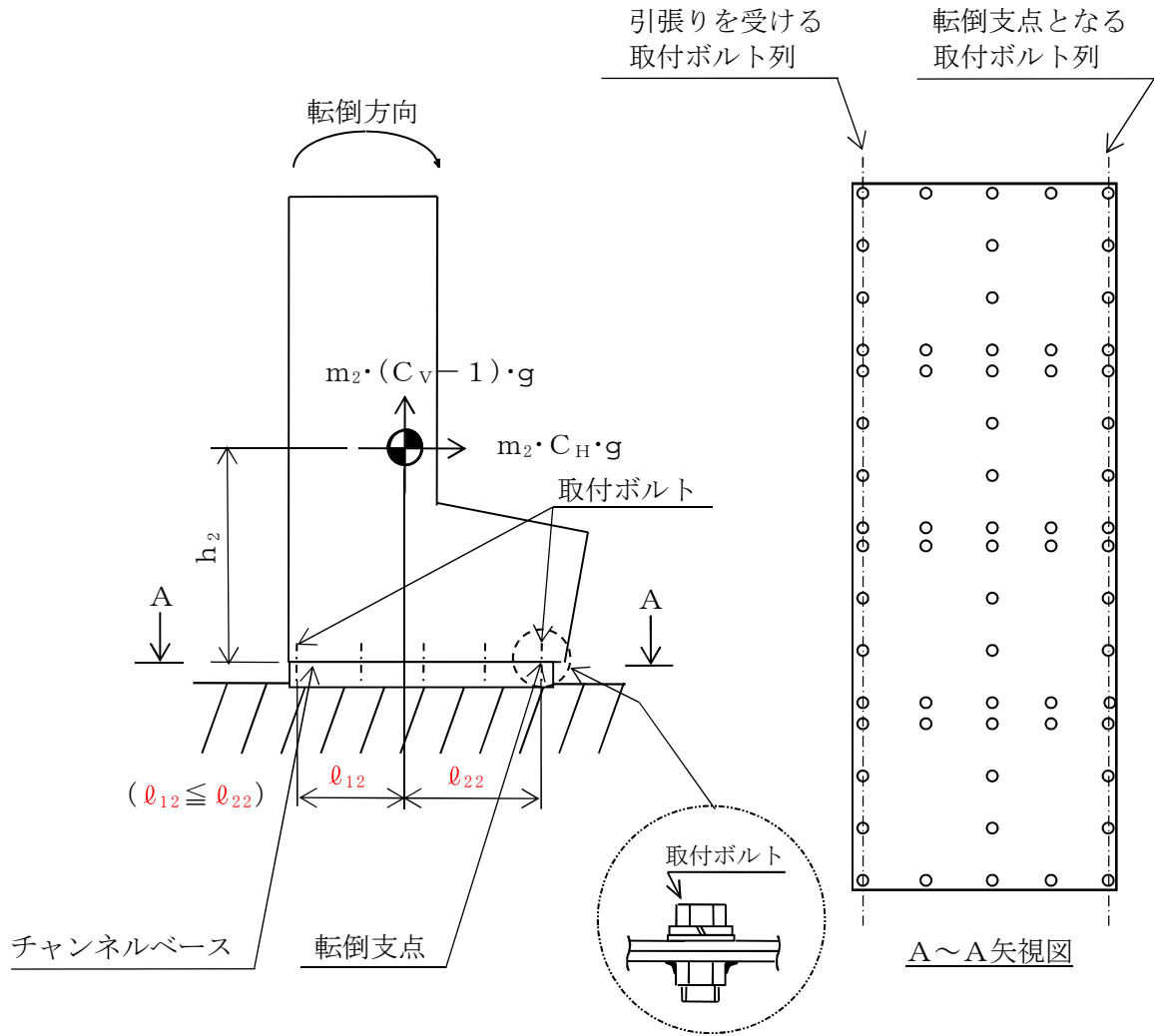


図5-3(2) 計算モデル  
(ベンチ形 短辺方向転倒  $(1 - C_v) < 0$ の場合)

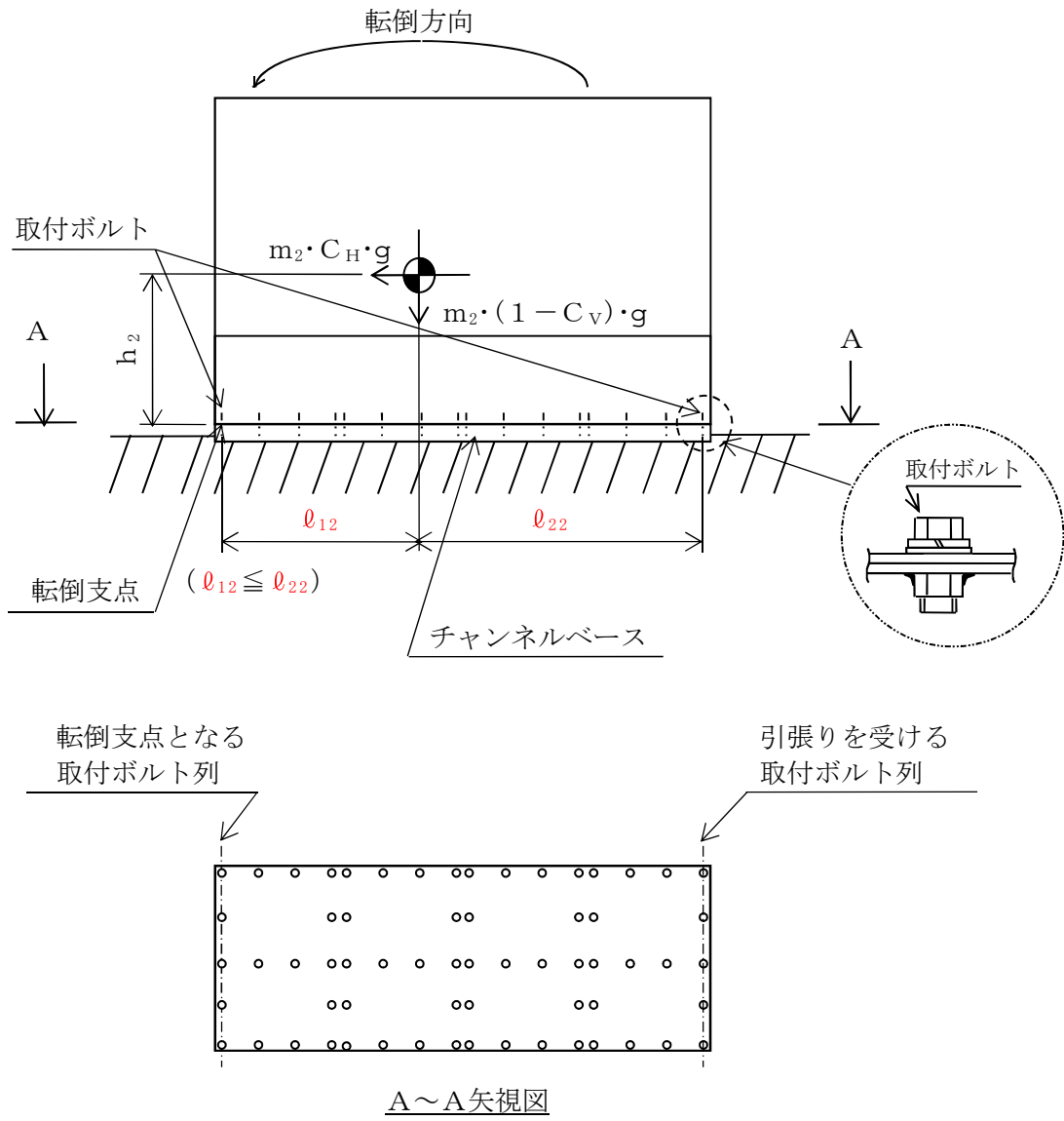


図5-3(3) 計算モデル  
(ベンチ形 長辺方向転倒  $(1 - C_V) \geq 0$  の場合)

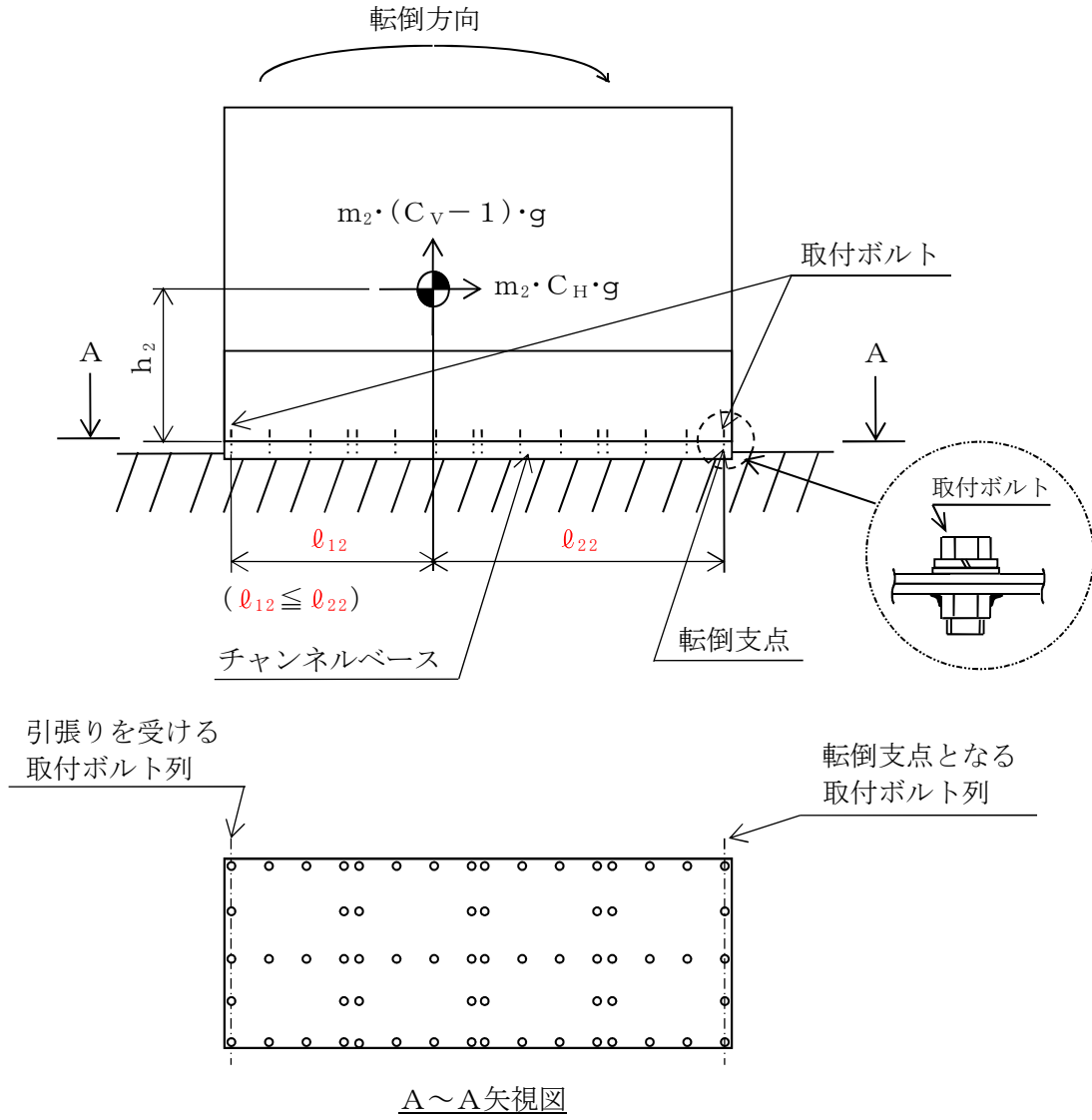


図5-3(4) 計算モデル  
(ベンチ形 長辺方向転倒  $(1 - C_V) < 0$ の場合)

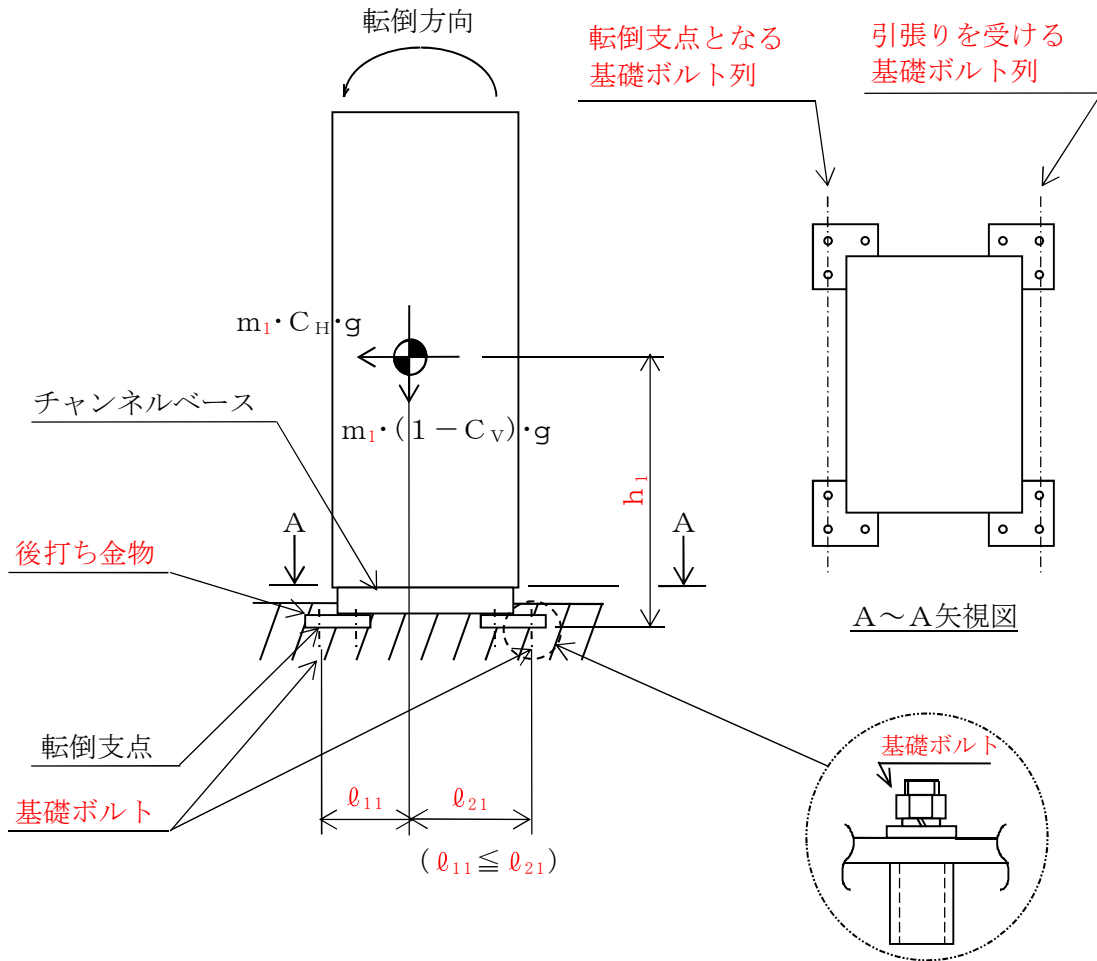


図5-4(1) 計算モデル  
 (直立形 短辺方向転倒  $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

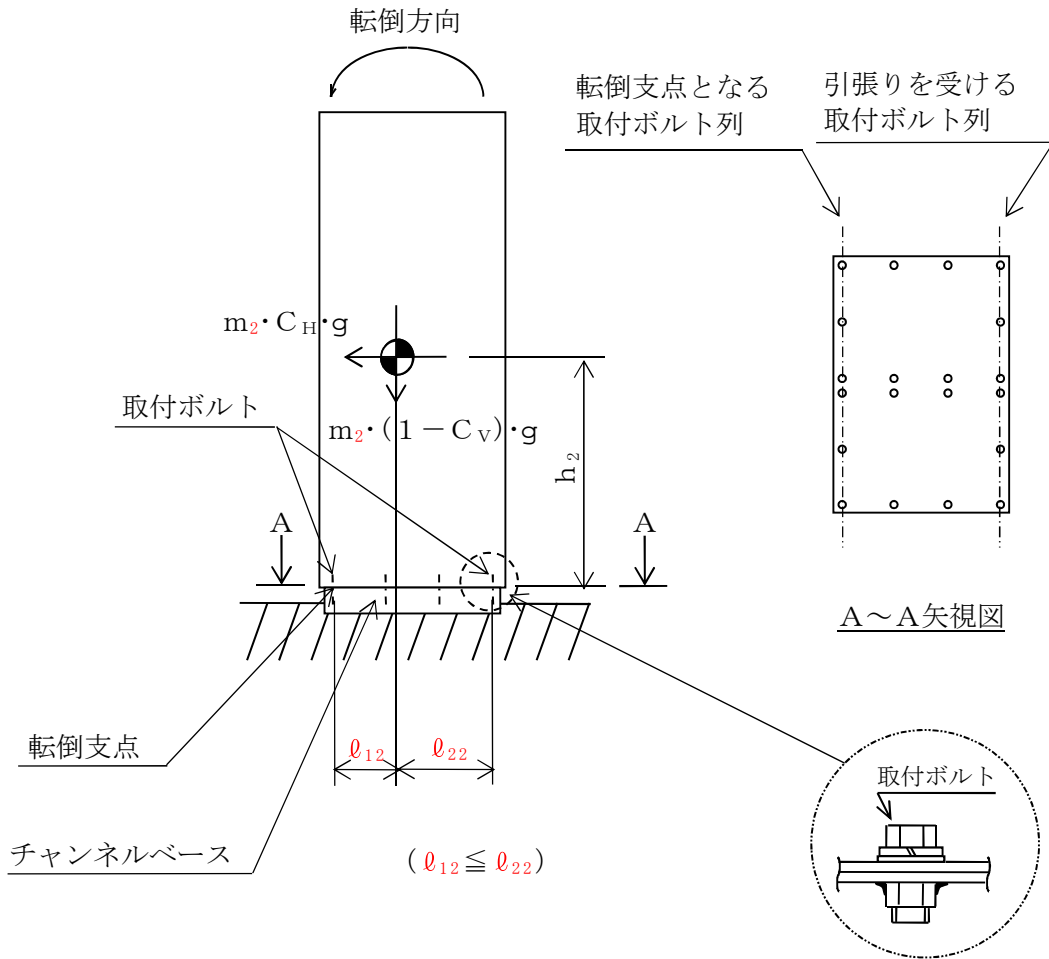


図5-4(2) 計算モデル  
(直立形 短辺方向転倒  $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

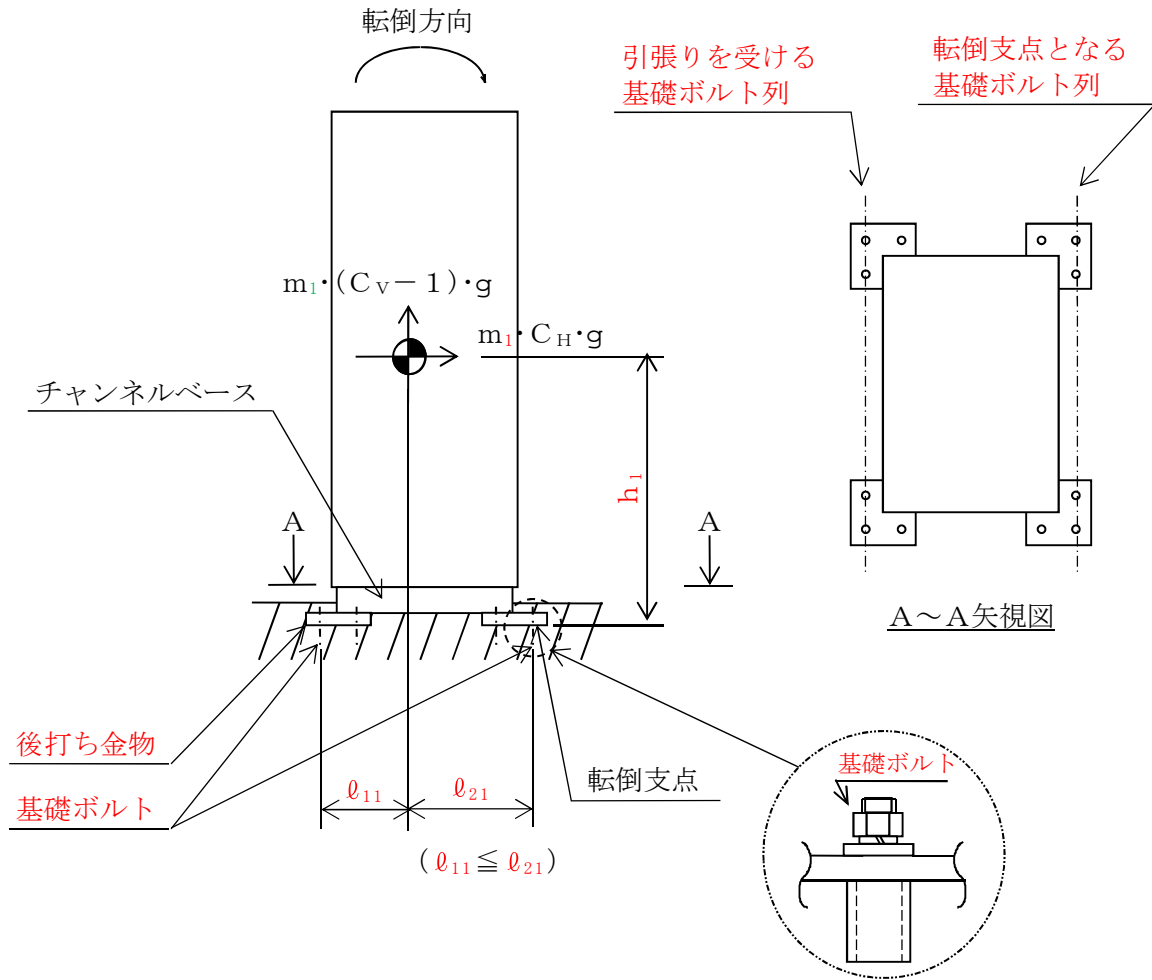


図5-4(3) 計算モデル  
 (直立形 短辺方向転倒  $(1 - C_v) < 0$ の場合)

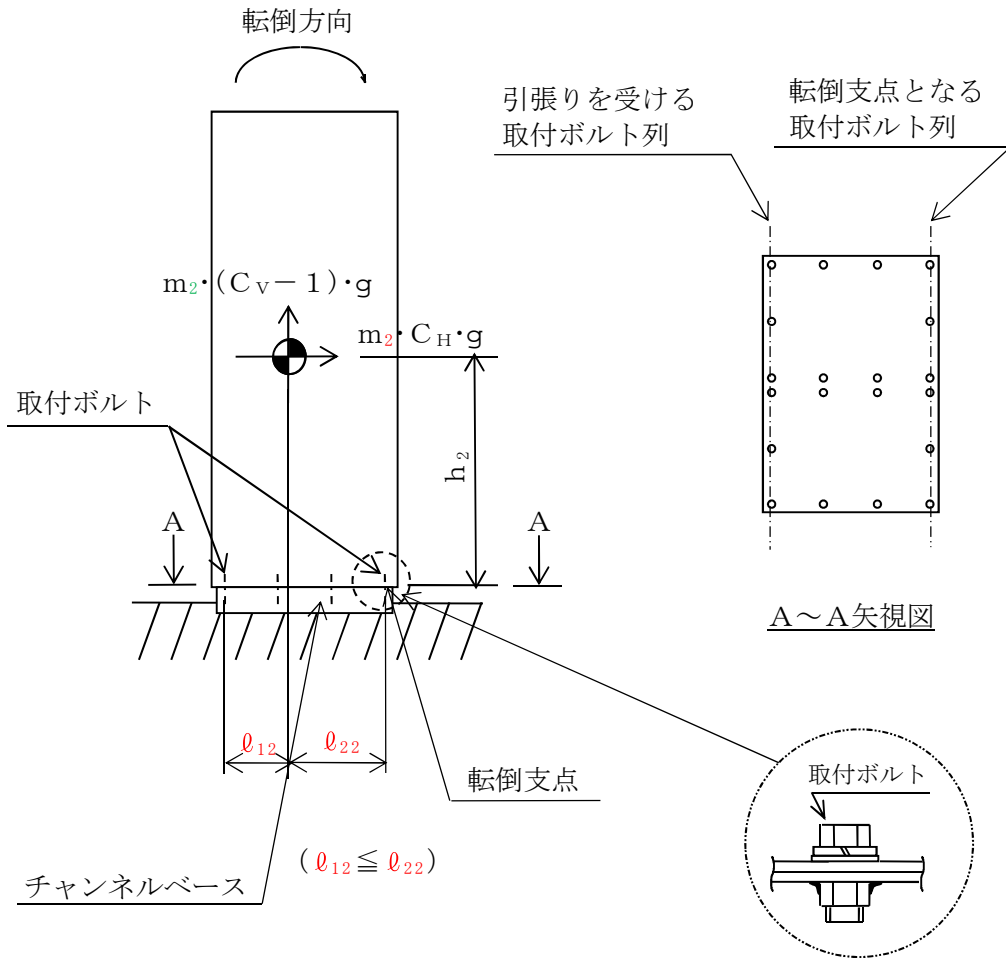


図5-4(4) 計算モデル  
(直立形 短辺方向転倒  $(1 - C_v) < 0$ の場合)

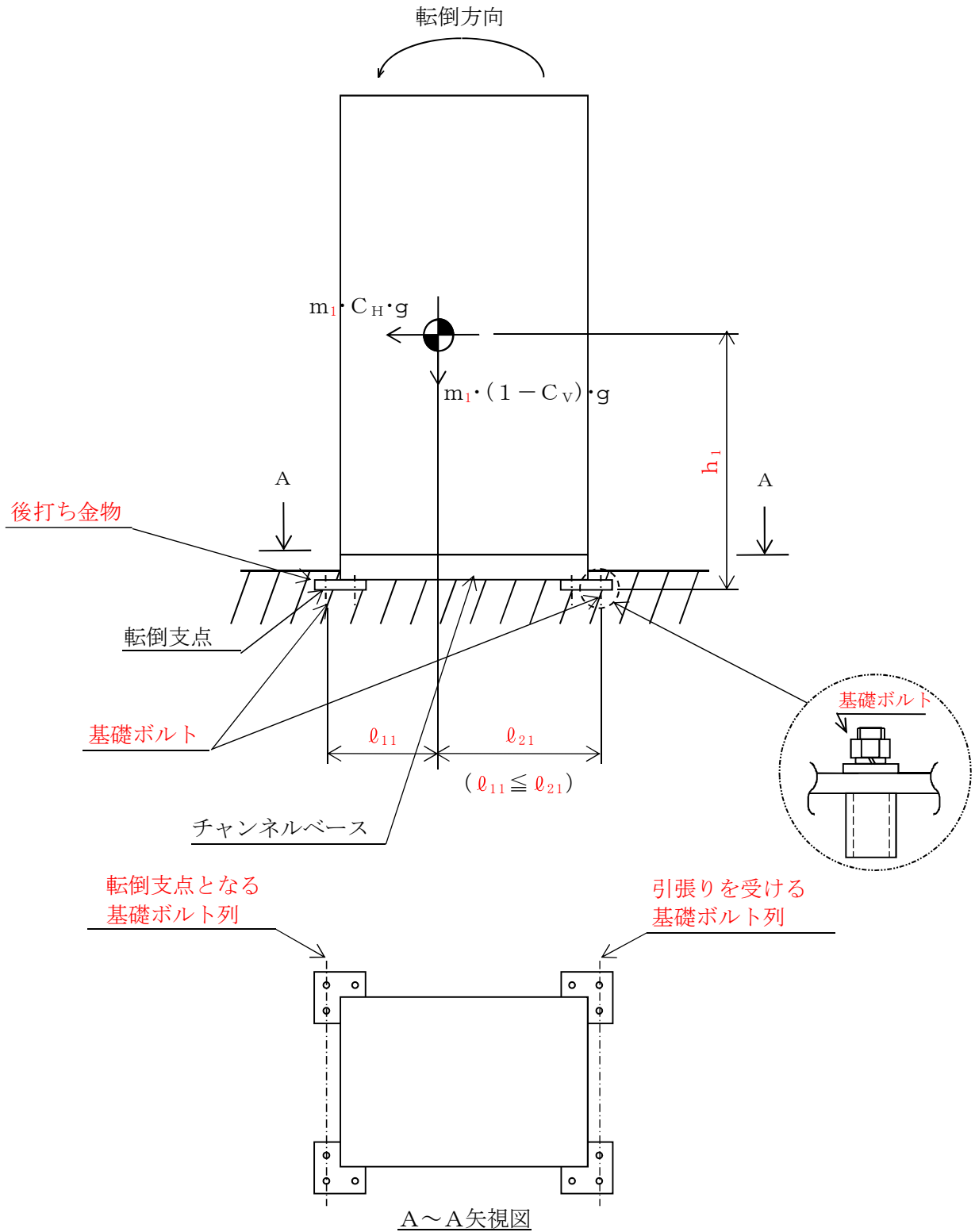


図5-4(5) 計算モデル  
(直立形 長辺方向転倒  $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)



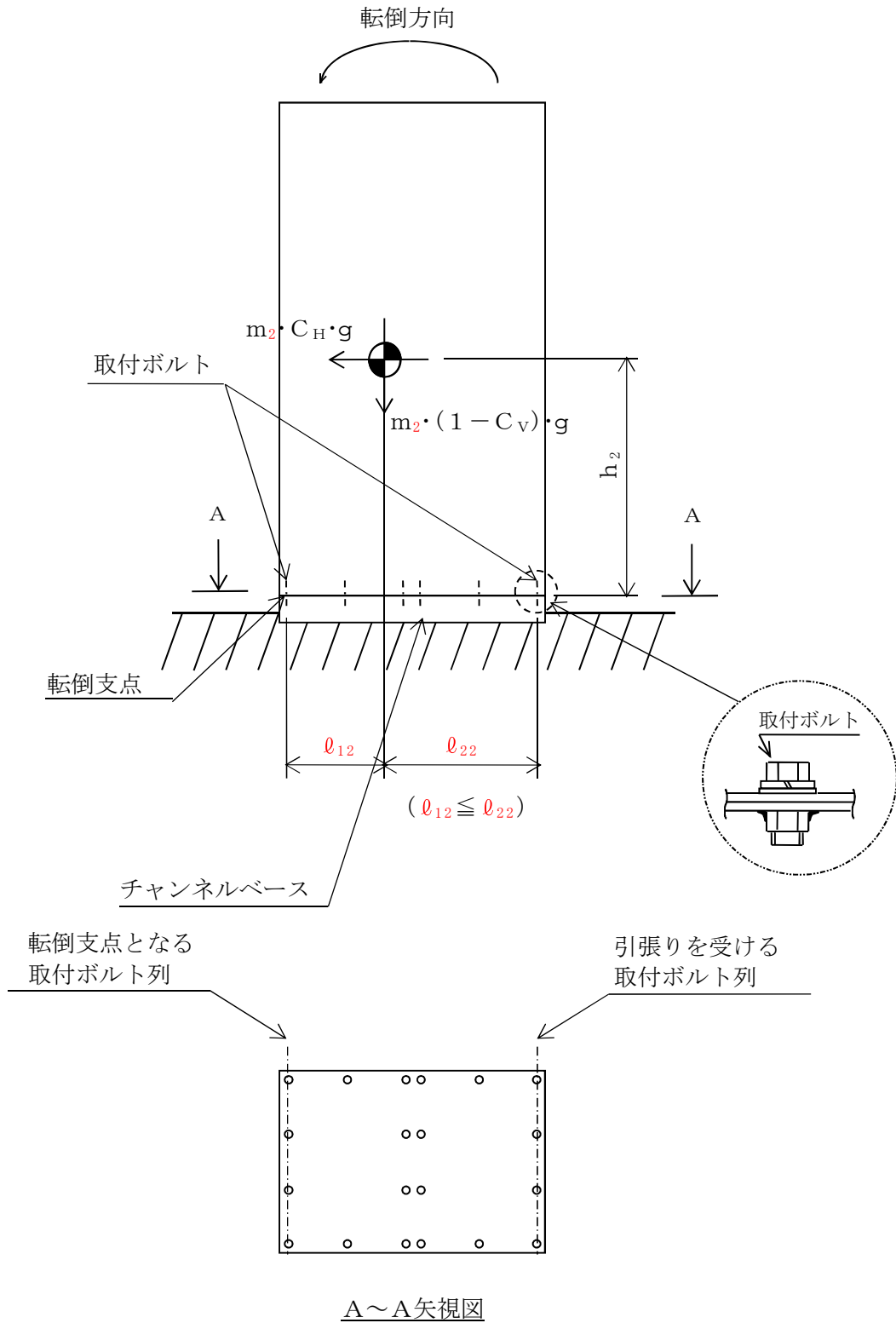


図5-4(6) 計算モデル  
(直立形 長辺方向転倒  $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

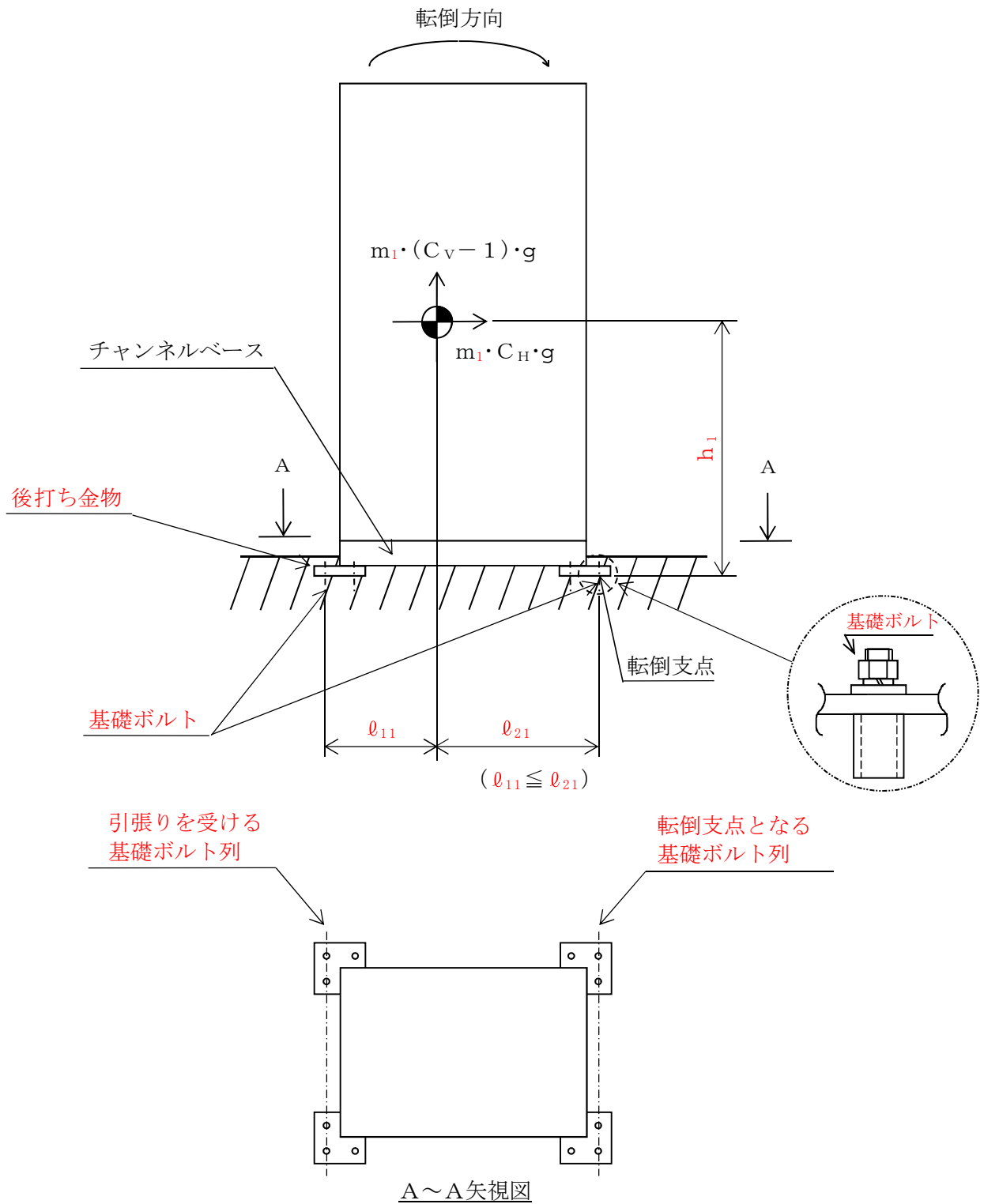


図5-4(7) 計算モデル  
 (直立形 長辺方向転倒  $(1 - C_V) < 0$ の場合)

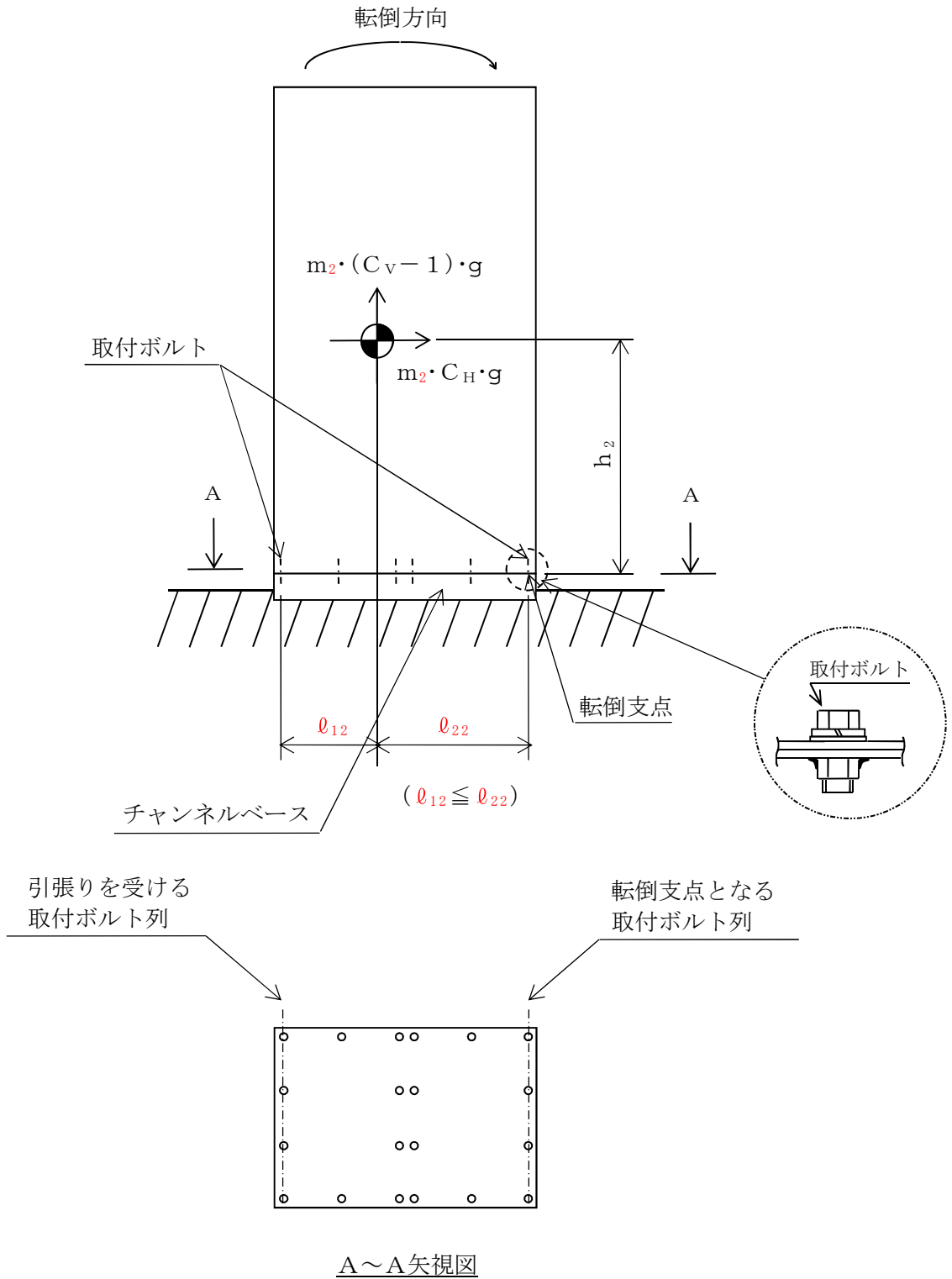


図5-4(8) 計算モデル  
(直立形 長辺方向転倒  $(1 - C_V) < 0$ の場合)

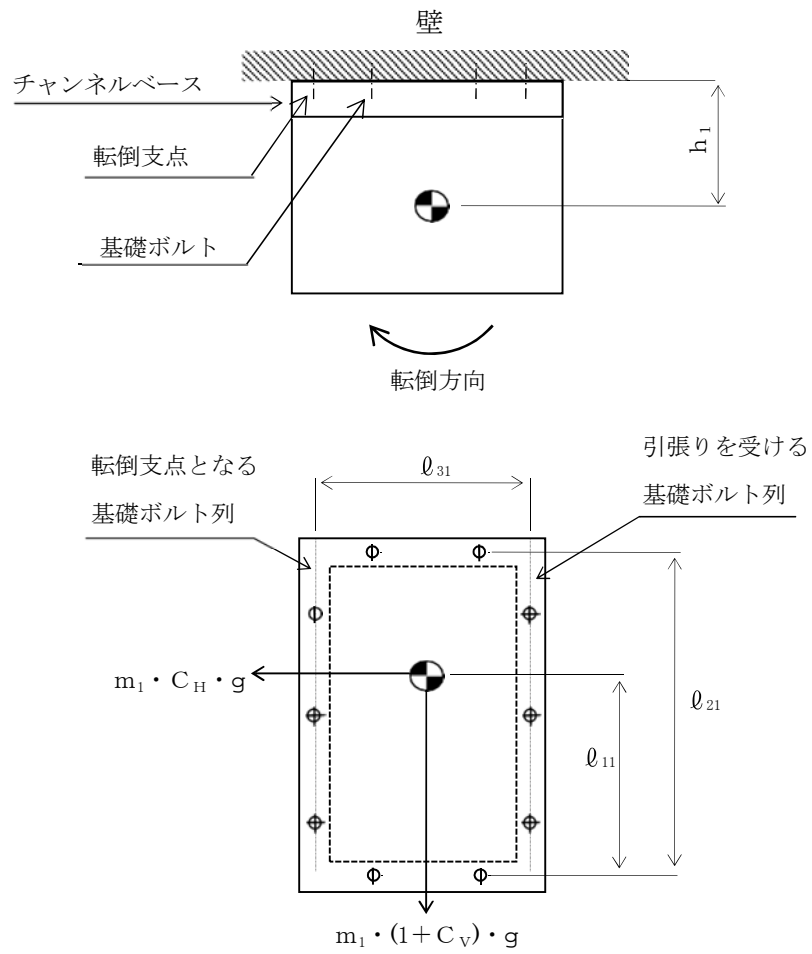


図5-5(1)計算モデル（壁掛形 水平方向転倒の場合）

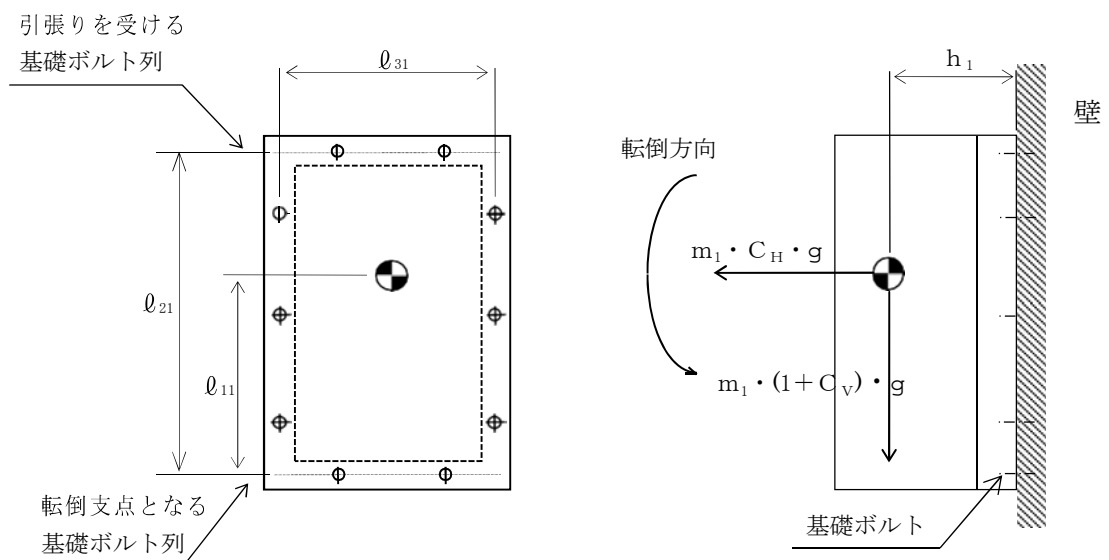


図5-5(2)計算モデル（壁掛形 鉛直方向転倒の場合）

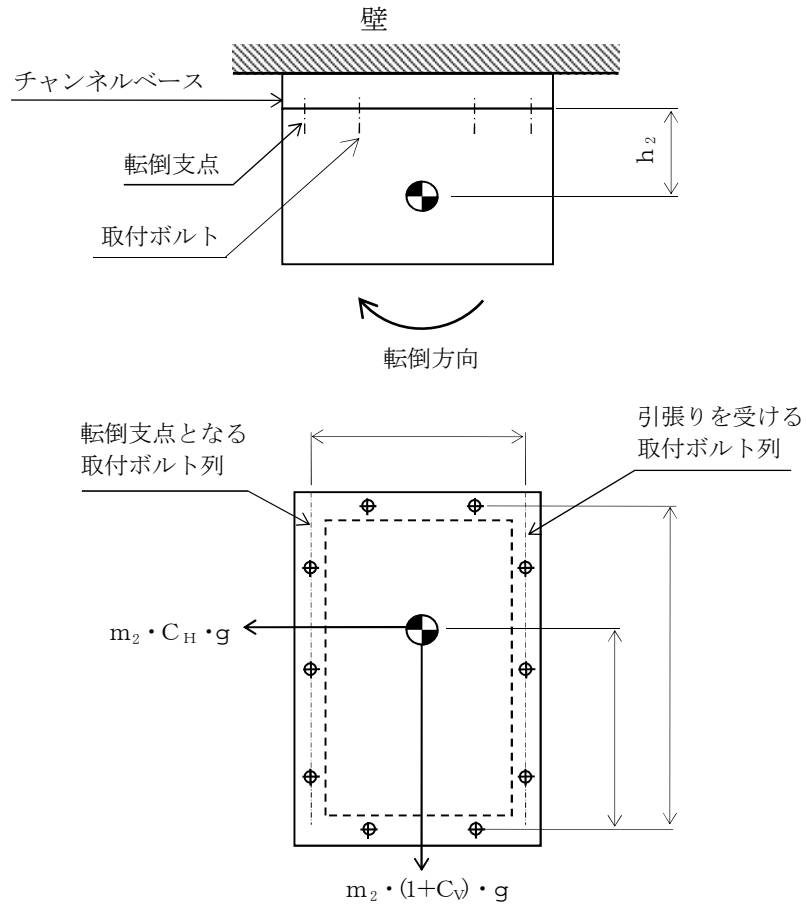


図 5-5(3) 計算モデル (壁掛形 水平方向転倒の場合)

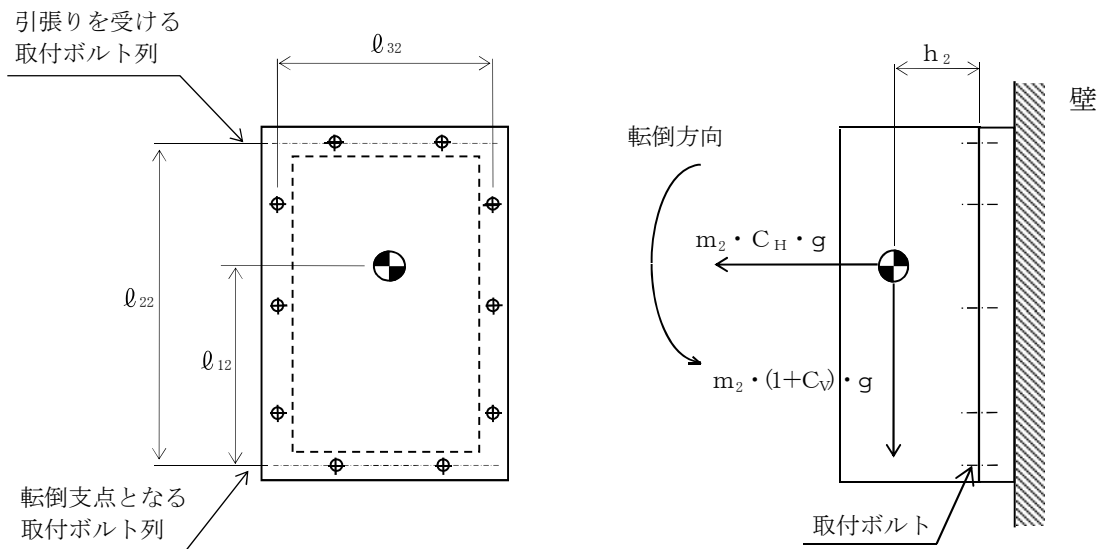


図 5-5(4) 計算モデル (壁掛形 鉛直方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルト及び取付ボルトに対する引張力は、最も厳しい条件として図5-3、図5-4及び図5-5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。

引張力 (F<sub>bi</sub>)

計算モデル図5-3(1), 5-3(3), 5-4(1), 5-4(2), 5-4(5)及び5-4(6)の場合の引張力

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_v) \cdot \ell_{1i} \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots (5.3.1.1.1)$$

計算モデル図5-3(2), 5-3(4), 5-4(3), 5-4(4), 5-4(7)及び5-4(8)の場合の引張力

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g - m_i \cdot (1 - C_v) \cdot \ell_{2i} \cdot g}{n_{fi} \cdot (\ell_{1i} + \ell_{2i})} \dots\dots\dots (5.3.1.1.2)$$

計算モデル図5-5(1), 5-5(2), 5-5(3)及び5-5(4)の場合の引張力

$$F_{bli} = \frac{m_i \cdot (1 + C_v) \cdot h_i \cdot g}{n_{fv_i} \cdot \ell_{2i}} + \frac{m_i \cdot C_H \cdot h_i \cdot g}{n_{fHi} \cdot \ell_{3i}} \dots\dots\dots (5.3.1.1.3)$$

$$F_{b2i} = \frac{m_i \cdot (1 + C_v) \cdot h_i \cdot g + m_i \cdot C_H \cdot \ell_{1i} \cdot g}{n_{fv_i} \cdot \ell_{2i}} \dots\dots\dots (5.3.1.1.4)$$

$$F_{bi} = \text{M a x} (F_{bli}, F_{b2i}) \dots\dots\dots (5.3.1.1.5)$$

引張応力 (σ<sub>bi</sub>)

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (5.3.1.1.6)$$

ここで、基礎ボルト及び取付ボルトの軸断面積A<sub>bi</sub>は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (5.3.1.1.7)$$

ただし、F<sub>bi</sub>が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルト及び取付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。

せん断力

a. ベンチ形，直立形の場合

$$Q_{bi} = m_i \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.8)$$

b. 壁掛形の場合

$$Q_{b1i} = m_i \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.9)$$

$$Q_{b2i} = m_i \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.10)$$

$$Q_{bi} = \sqrt{(Q_{b1i})^2 + (Q_{b2i})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.11)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \quad \dots\dots\dots (5.3.1.1.12)$$

5.4 応力の評価

5.4.1 ボルトの応力評価

5.3.1項で求めたボルトの引張応力  $\sigma_{bi}$  は次式より求めた許容引張応力  $f_{tsi}$  以下であること。ただし、 $f_{toi}$  は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

せん断応力  $\tau_{bi}$  は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力  $f_{sbi}$  以下であること。ただし、 $f_{sbi}$  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 $f_{toi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sbi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$



## 6. 機能維持評価

### 6.1 電氣的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能維持を評価する。

評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき加振試験等により確認した加速度を用いることとし、個別計算書にその旨を記載する。

## 7. 耐震計算書のフォーマット

### 7.1 直立形盤の耐震計算書のフォーマット

直立形盤の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果\*

### 7.2 壁掛形盤の耐震計算書のフォーマット

壁掛形盤の耐震計算書のフォーマットは、以下のとおりである。

[設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合]

フォーマットⅢ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果

[重大事故等対処設備単独の場合]

フォーマットⅣ 重大事故等対処設備としての評価結果\*

注記 \* : 重大事故等対処設備単独の場合は、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡ及びⅣを使用するものとする。ただし、評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 直立形盤の設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇盤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 $S_d$ 又は静的震度		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL.*			$C_H =$	$C_V =$	$C_H =$	$C_V =$	

注記 \* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	$m_i$ (kg)	$h_i$ (mm)	$l_{1i}^*$ (mm)	$l_{2i}^*$ (mm)	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{fi}^*$
基礎ボルト (i=1)					(M )		
取付ボルト (i=2)					(M )		

部材	$S_{yi}$ (MPa)	$S_{ui}$ (MPa)	$F_i$ (MPa)	$F_i^*$ (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 $S_d$ 又は 静的震度	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト (i=1)						
取付ボルト (i=2)						

注記 \* : 各ボルトにおける上段は弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度に対する評価時の要目を示し、下段は基準地震動  $S_s$  に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</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>
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結 論

1.4.1 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
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

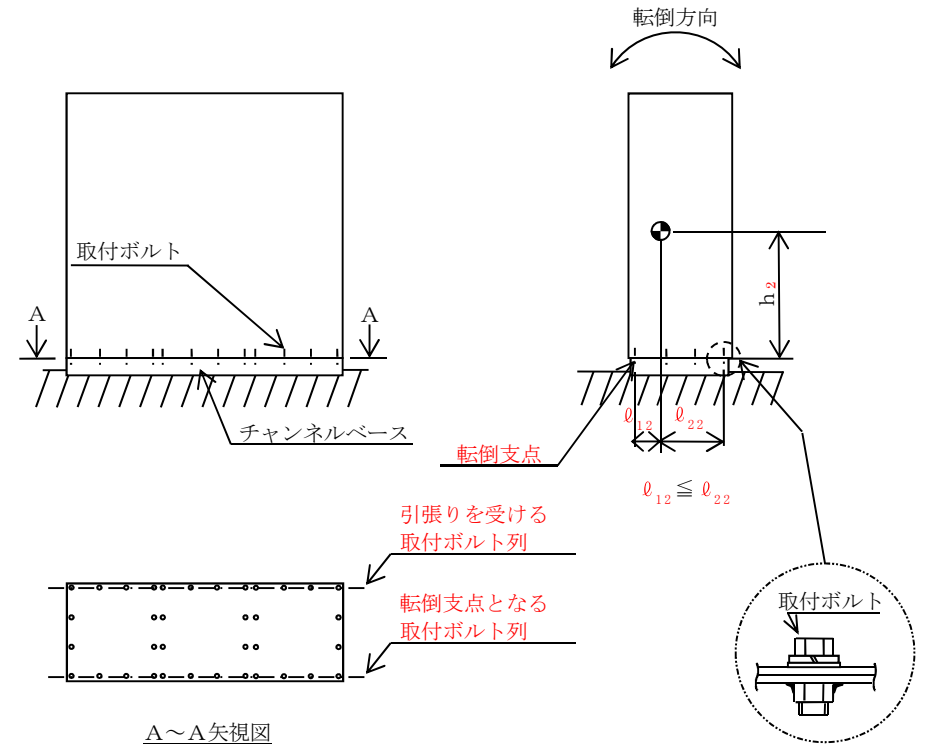
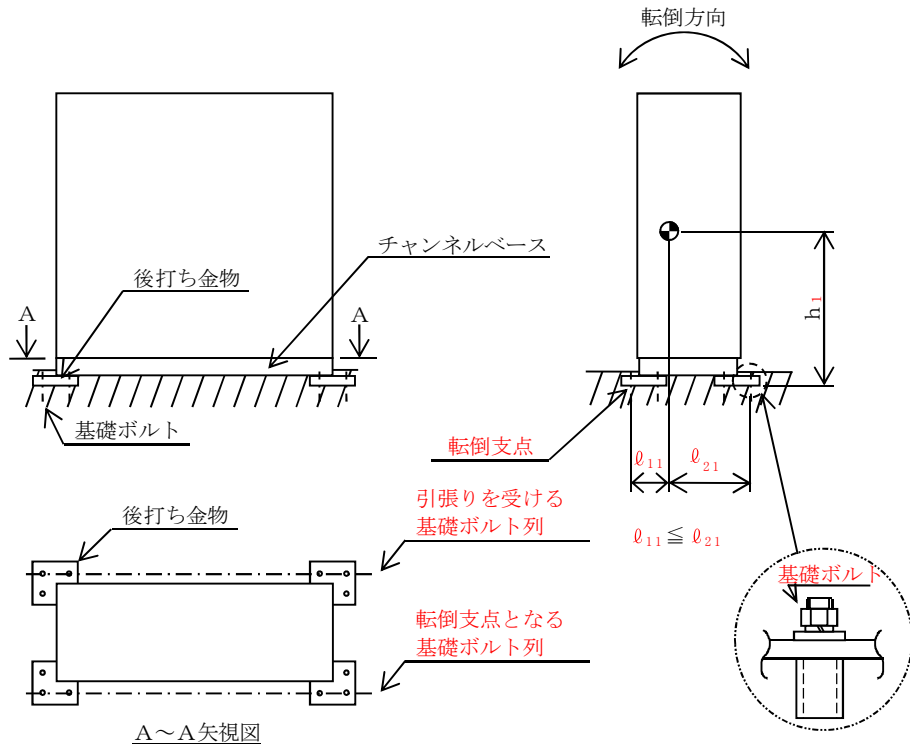
注記 \* :  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位：×9.8 m/s<sup>2</sup>)

		評価用加速度	機能確認済加速度
〇〇盤	水平方向		
	鉛直方向		

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。



【重大事故等対処設備単独の場合】  
 本フォーマットを使用する。  
 ただし、章番を 1.とする。

【フォーマットⅡ 直立形盤の重大事故等対処設備としての評価結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 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 $S_d$ 又は静的震度		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL. *			—	—	$C_H=$	$C_V=$	

注記 \* : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	$m_i$ (kg)	$h_i$ (mm)	$l_{1i}^*$ (mm)	$l_{2i}^*$ (mm)	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{fi}^*$
基礎ボルト (i=1)					( M )		
取付ボルト (i=2)					( M )		

部 材	$m_i$ (kg)	$h_i$ (mm)	$l_{1i}^*$ (mm)	$l_{2i}^*$ (mm)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 $S_d$ 又は 静的震度	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト (i=1)			—		—	
取付ボルト (i=2)			—		—	

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	$F_{bi}$		$Q_{bi}$	
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結 論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

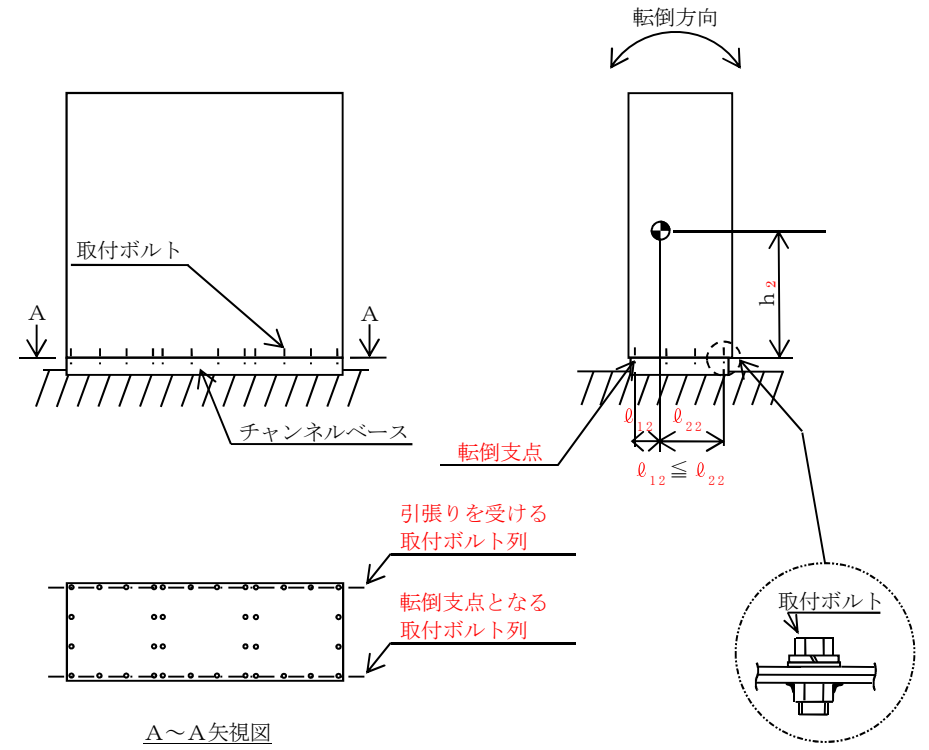
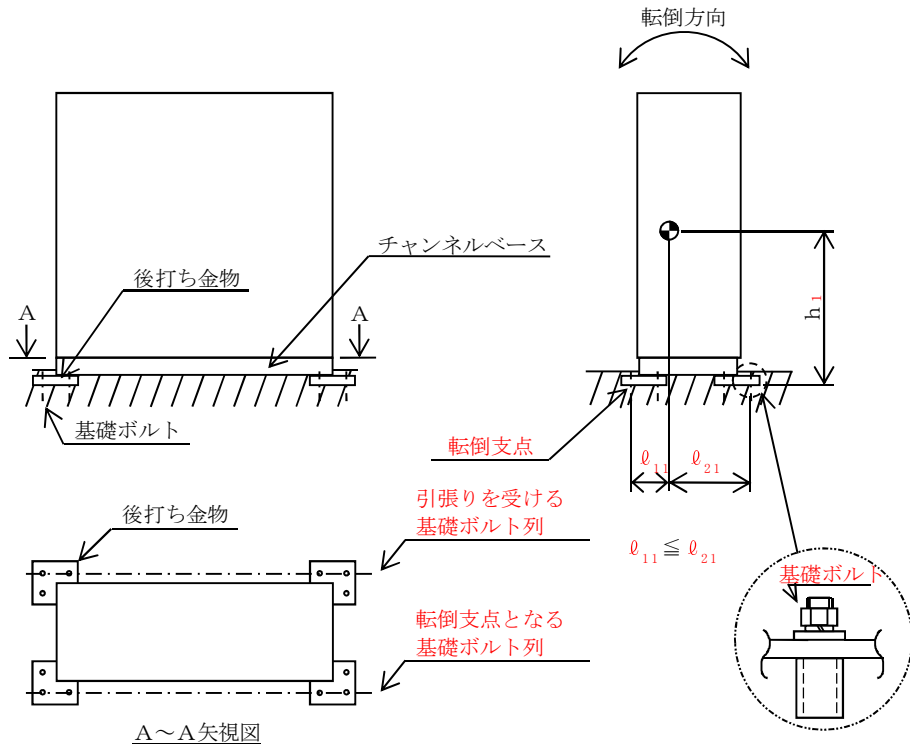
注記 \* :  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$  より算出

2.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$ )

		評価用加速度	機能確認済加速度
〇〇盤	水平方向		
	鉛直方向		

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。



【フォーマットⅢ 壁掛形盤の設計基準対象施設としての評価結果】

【〇〇盤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 $S_d$ 又は静的震度		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL. (EL. *)			$C_H=$	$C_V=$	$C_H=$	$C_V=$	

注記 \* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部 材	$m_i$ (kg)	$h_i$ (mm)	$\ell_{1i}$ (mm)	$\ell_{2i}$ (mm)	$\ell_{3i}$ (mm)	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{Vi}$	$n_{Hi}$
基礎ボルト (i=1)						(M )			
取付ボルト (i=2)						(M )			

部 材	$S_{yi}$ (MPa)	$S_{ui}$ (MPa)	$F_i$ (MPa)	$F_i^*$ (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 $S_d$ 又は 静的震度	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト (i=1)						
取付ボルト (i=2)						



1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</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>
基礎ボルト (i=1)				
取付ボルト (i=2)				

1.4 結 論

1.4.1 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
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

注記 \* :  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能の評価結果

(単位：×9.8m/s<sup>2</sup>)

		評価用加速度	機能確認済加速度
〇〇盤	水平方向		
	鉛直方向		

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。

**【重大事故等対処設備単独の場合】**  
 本フォーマットを使用する。  
 ただし、章番を 1.とする。

**【フォーマットⅣ 壁掛形盤の重大事故等対処設備としての評価結果】**

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機 器 名 称	設 備 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 $S_s$		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	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
		建屋 EL. (EL. *)			—	—	$C_H =$	$C_V =$	

注記 \* : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部 材	$m_i$ (kg)	$h_i$ (mm)	$\ell_{1i}$ (mm)	$\ell_{2i}$ (mm)	$\ell_{3i}$ (mm)	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{Vi}$	$n_{Hi}$
基礎ボルト (i=1)						(M )			
取付ボルト (i=2)						(M )			

部 材	$S_{yi}$ (MPa)	$S_{ui}$ (MPa)	$F_i$ (MPa)	$F_i^*$ (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
基礎ボルト (i=1)			—		—	
取付ボルト (i=2)			—		—	

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F <sub>bi</sub>		Q <sub>bi</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>
基礎ボルト (i=1)	—		—	
取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結 論

2.4.1 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
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$

すべて許容応力以下である。

注記 \* :  $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

2.4.2 電氣的機能の評価結果 (単位：×9.8 m/s<sup>2</sup>)

		評価用加速度	機能確認済加速度
〇〇盤	水平方向		
	鉛直方向		

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。

