

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-19-0401_改2
提出年月日	2021年10月29日

VI-2-8-2-1-1-1 主蒸気管放射線モニタ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 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 固有値解析方法	7
4.2 解析モデル及び諸元	7
4.3 固有値解析結果	9
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.4.1 応力の計算方法	15
5.5 計算条件	16
5.5.1 保持金具支持部取付ボルトの応力計算条件	16
5.6 応力の評価	16
5.6.1 保持金具支持部取付ボルトの応力評価	16
6. 機能維持評価	17
6.1 電氣的機能維持評価方法	17
7. 評価結果	18
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	18

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、主蒸気管放射線モニタ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いることを説明するものである。

主蒸気管放射線モニタは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

構造強度評価については、保持金具支持部取付ボルトに作用する応力の裕度が厳しい条件（許容値／発生値の小さい方）となるものを代表として評価する。また、電氣的機能維持評価については、評価用加速度が最大となる計器について代表として評価する。電氣的機能維持評価に用いる評価用加速度は、設置床高さが同じで保持金具が剛構造の場合は同じ加速度となることから、構造強度評価の代表として選定した検出器を代表として評価する。評価対象を表 1-1 に示す。

表 1-1 概略構造識別

評価部位	評価方法	構造計画
D11-RE001A（代表） D11-RE001B D11-RE001C D11-RE001D	5. 構造強度評価	表 2-1 構造計画

2. 一般事項

2.1 構造計画

主蒸気管放射線モニタの構造計画を表 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>検出器は、保持金具に固定され検出器ウェル内に固定する。</p> <p>保持金具は、検出器ウェル先端と鉛プラグにより固定され、水平方向は保持金具支持部により固定される。また、保持金具は、保持金具支持部及び保持金具支持部取付ボルトで支持される。</p> <p>検出器ウェルは原子炉建屋躯体に貫通して設置される。</p>	<p>電離箱 (検出器は検出器ウェルに設置された保持金具に固定される構造)</p>	<p>【主蒸気管放射線モニタ (D11-RE001A)】</p> <p>保持金具支持部</p> <p>A-A 矢視</p> <p>モルタル</p> <p>鉛プラグ</p> <p>保持金具支持部</p> <p>検出器ウェル</p> <p>保持金具支持部取付ボルト</p> <p>保持金具</p> <p>躯体</p> <p>保持金具</p> <p>鉛粒</p> <p>検出器</p> <p>検出器ウェル</p> <p>正面</p> <p>保持金具支持部拡大図</p> <p>(単位：mm)</p>

2

2.2 評価方針

主蒸気管放射線モニタの応力評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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」にて示す主蒸気管放射線モニタの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による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、主蒸気管放射線モニタの機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」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. 評価結果」に示す。

主蒸気管放射線モニタの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

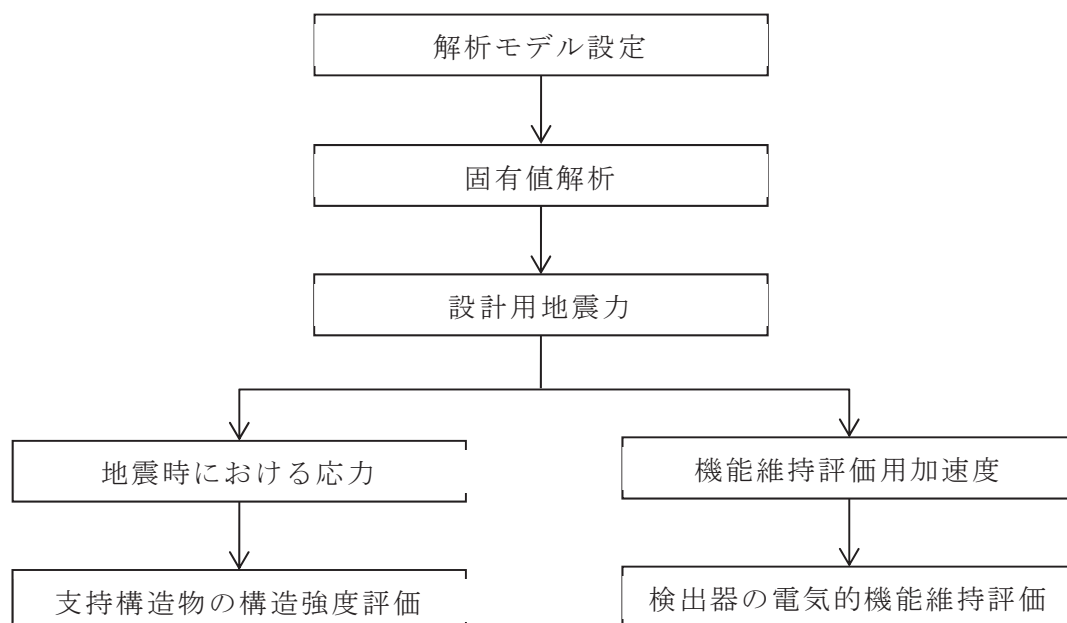


図 2-1 主蒸気管放射線モニタの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (2) 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）
- (3) 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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
（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	ボルトの軸断面積	mm^2
A	部材の断面積	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	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
I_p	保持金具の断面二次極モーメント	mm^4
I_y	保持金具の断面二次モーメント (y軸)	mm^4
I_z	保持金具の断面二次モーメント (z軸)	mm^4
f_{t0}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
m	質量 (検出器及び保持金具)	kg
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	—
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める値	MPa
$S_y (RT)$	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	MPa
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

2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 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	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	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	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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

主蒸気管放射線モニタの耐震評価は、「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保持金具支持部取付ボルトについて実施する。主蒸気管放射線モニタ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

4.1 固有値解析方法

主蒸気管放射線モニタの固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 主蒸気管放射線モニタは、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルを用いる。

4.2 解析モデル及び諸元

主蒸気管放射線モニタの解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【主蒸気管放射線モニタ (D11-RE001A) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 保持金具は検出器ウェル内に固定されることから、保守的に最も断面積の小さい保持金具（要素①）の部材の断面形状を全部材に適用することで直線とみなし、支持点（保持金具支持部，保持金具上端及び下端）7 点で固定する。
- (2) 解析モデルにおいて、検出器及び保持金具の質量は質点に集中するものとし、質点は保持金具支持部の支持間隔の中心に設置する。
- (3) 主蒸気管放射線モニタ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。
- (4) 拘束条件として、保持金具支持部は上下方向に動くローラーで検出器ウェル内部に接しているため、ローラー支持点により X Z 方向の移動を拘束，Y 方向の移動を自由，X Y Z 方向の回転を拘束する。保持金具上端は鉛プラグに固定されていることから、ピン支持点により X Y Z 方向の移動を拘束，X Z 方向の回転を自由，Y 方向の回転を拘束する。保持金具下端は検出器ウェルに固定されていることから、ピン支持点により X Y Z 方向の移動を拘束，X Y Z 方向の回転を自由とする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (6) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

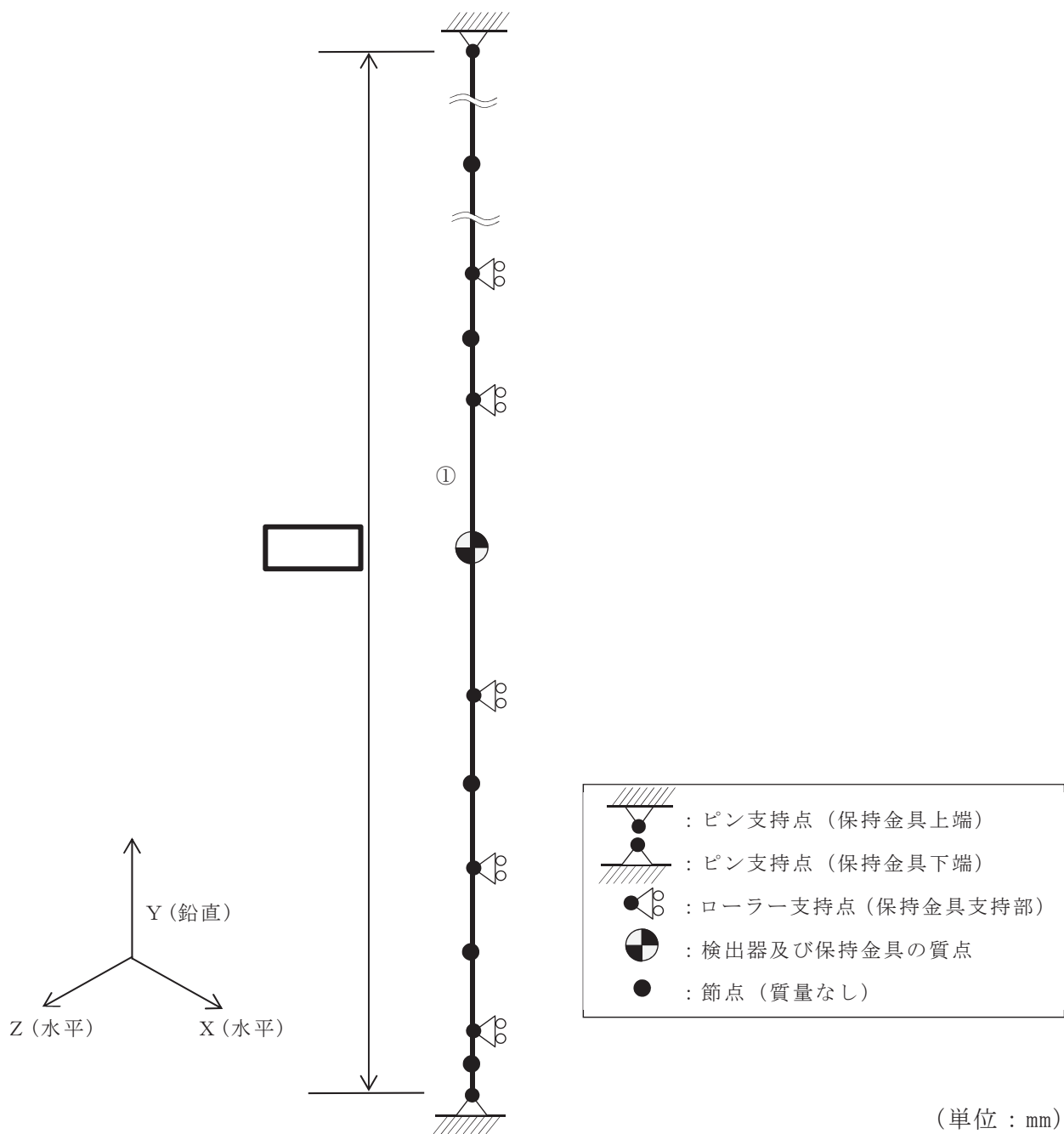


図 4-1 主蒸気管放射線モニタ解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に、振動モード図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X 方向	Z 方向	
1 次	水平方向		—	—	—
5 次	鉛直方向		—	—	—

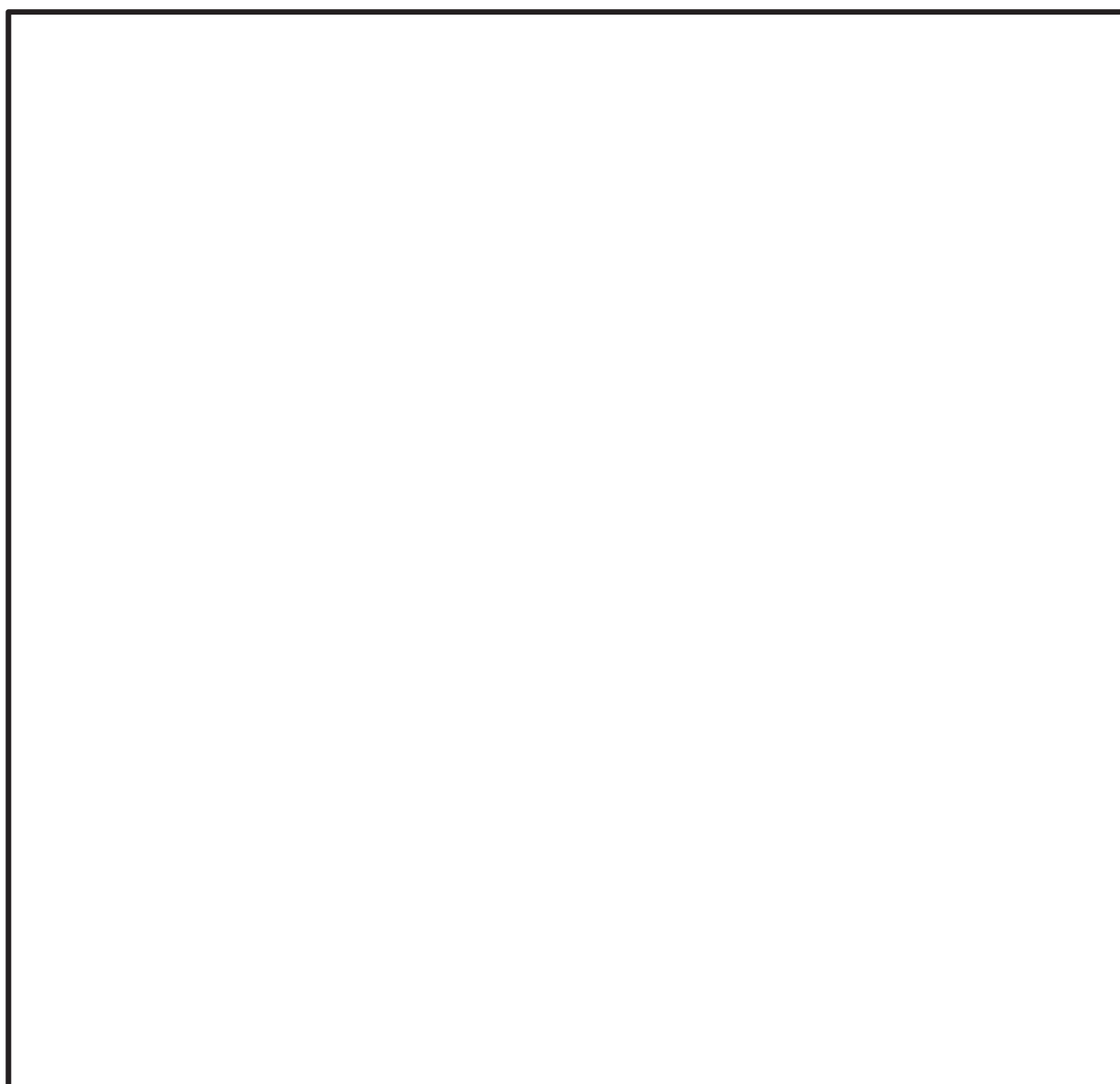


図 4-2 振動モード図 (1 次モード 水平方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

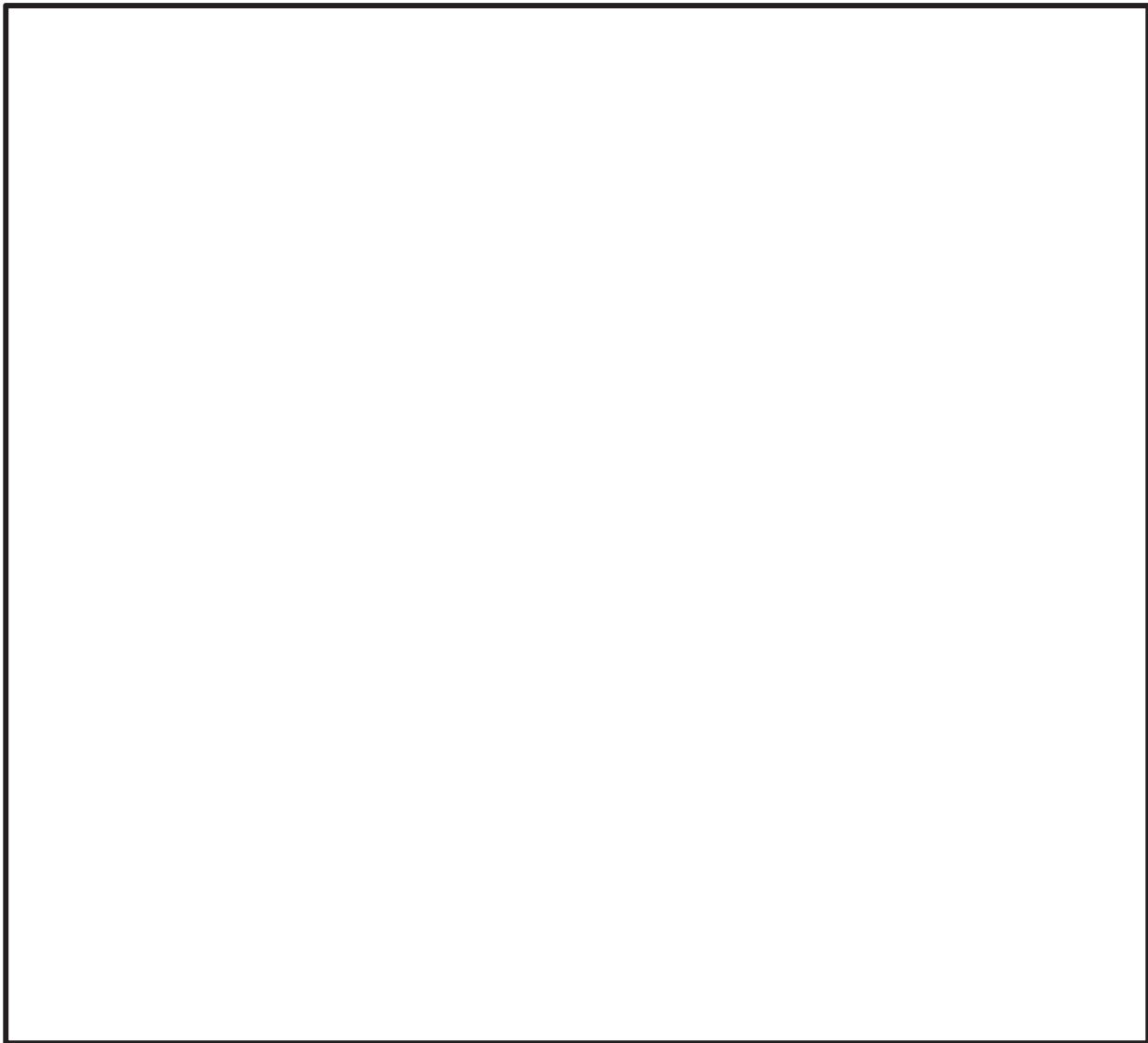


図 4-3 振動モード図 (5 次モード 鉛直方向)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、主蒸気管放射線モニタに対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 主蒸気管放射線モニタは、保持金具により検出器ウェル内に固定される。保持金具は、ウェル先端と鉛プラグにより軸方向を固定し、保持金具支持部で検出器ウェル内面に接触して半径方向を固定され、保持金具支持部は、保持金具支持部取付ボルトで支持されているものとする。
- (3) 主蒸気管放射線モニタの質量は、検出器及び保持金具を考慮する。

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

主蒸気管放射線モニタ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

主蒸気管放射線モニタの許容応力は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

主蒸気管放射線モニタの使用材料の許容応力評価条件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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射線 管理施設	放射線管理用 計測装置	主蒸気管放射線モニタ	S	— *1	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A 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状態を適用する。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

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 _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
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。

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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)
		保持金具 支持部取付ボルト		周囲環境温度	55	195

5.3 設計用地震力

耐震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、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。

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

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
原子炉建屋 O. P. 15.00 ^{*1}			— ^{*2}	— ^{*2}	C _H = 1.97	C _V = 1.37

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_AS については、基準地震動 S_s で評価する。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 保持金具支持部取付ボルトの計算方法

保持金具支持部取付ボルトの応力は、地震による震度により作用する地震力によって生じる引張力について計算する。

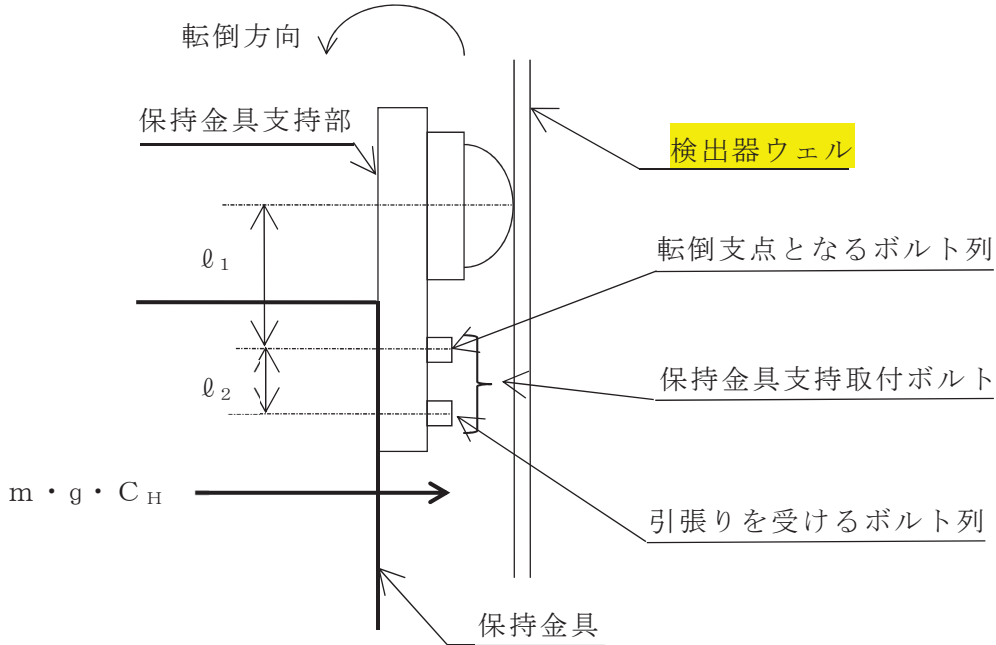


図5-1 計算モデル

(1) 引張応力

保持金具支持部取付ボルトに対する引張力は、転倒支点となるボルト列を支点とする転倒を考え、これをもう片側のボルト列で受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot \ell_1}{n_f \cdot \ell_2} \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、保持金具支持部取付ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

5.5 計算条件

5.5.1 保持金具支持部取付ボルトの応力計算条件

保持金具支持部取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【主蒸気管放射線モニタ (D11-RE001A) 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 保持金具支持部取付ボルトの応力評価

5.4.1 項で求めた保持金具支持部取付ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_t 以下であること。

	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	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

主蒸気管放射線モニタの電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、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、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

主蒸気管放射線モニタの機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した器具の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度

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

評価部位	方向	機能確認済加速度
主蒸気管放射線モニタ (D11-RE001A)	水平方向	
	鉛直方向	

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

主蒸気管放射線モニタ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。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発生値の算出を省略した。

(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。

【主蒸気管放射線モニタの耐震性 (D11-RE001A) 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	
主蒸気管放射線モニタ (D11-RE001A)	S	原子炉建屋 O.P. 15.00*1			—*2	—*2	C _H =1.97	C _V =1.37	55

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: III_AS については, 基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

1.2.1 主蒸気管放射線モニタ

部 材	m (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n _f
保持金具 支持部取付ボルト						2

部 材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
保持金具 支持部取付ボルト	195	496	205	205	205

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位: N)

部 材	F _b	
	弾性設計用地 震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
保持金具 支持部取付ボルト	—	

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 _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
保持金具 支持部取付ボルト		引張り	$\sigma_b = 13$	$f_{t0} = 153$	$\sigma_b = 13$	$f_{t0} = 153$

注記*：基準地震動 S_s による算出値
すべて許容応力以下である。

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
主蒸気管放射線モニタ (D11-RE001A)	水平方向	1.65	
	鉛直方向	1.15	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。
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。

1.5 その他の機器要目

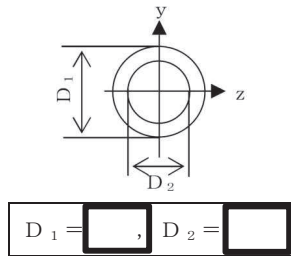
(1) 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	55
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 部材の機器要目

材料	
対象要素	①
A (mm ²)	
I _y (mm ⁴)	
I _z (mm ⁴)	
I _p (mm ⁴)	
断面形状 (mm) *1	



注記*1: 解析において、保持金具は最も断面積の小さい①の部材の断面を適用していることから、①の部材の断面形状を示す。

