

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又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-796 改3
提 出 年 月 日	平成30年9月10日

V-2-8-2-1 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 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.3 解析モデル及び諸元	11
4.4 固有周期	13
4.5 設計用地震力	14
4.6 計算方法	15
4.7 計算条件	17
4.8 応力の評価	17
5. 機能維持評価	18
5.1 電氣的機能維持評価方法	18
6. 評価結果	18
6.1 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「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。

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、検出器取付金具により、検出器用ウェルに固定され、検出器用ウェルは埋込金物に溶接されたプレートに溶接で設置する。</p>	<p>電離箱</p>	<p>(単位：mm)</p>

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「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、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期及び荷重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、「4. 地震応答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。確認結果を「6. 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。

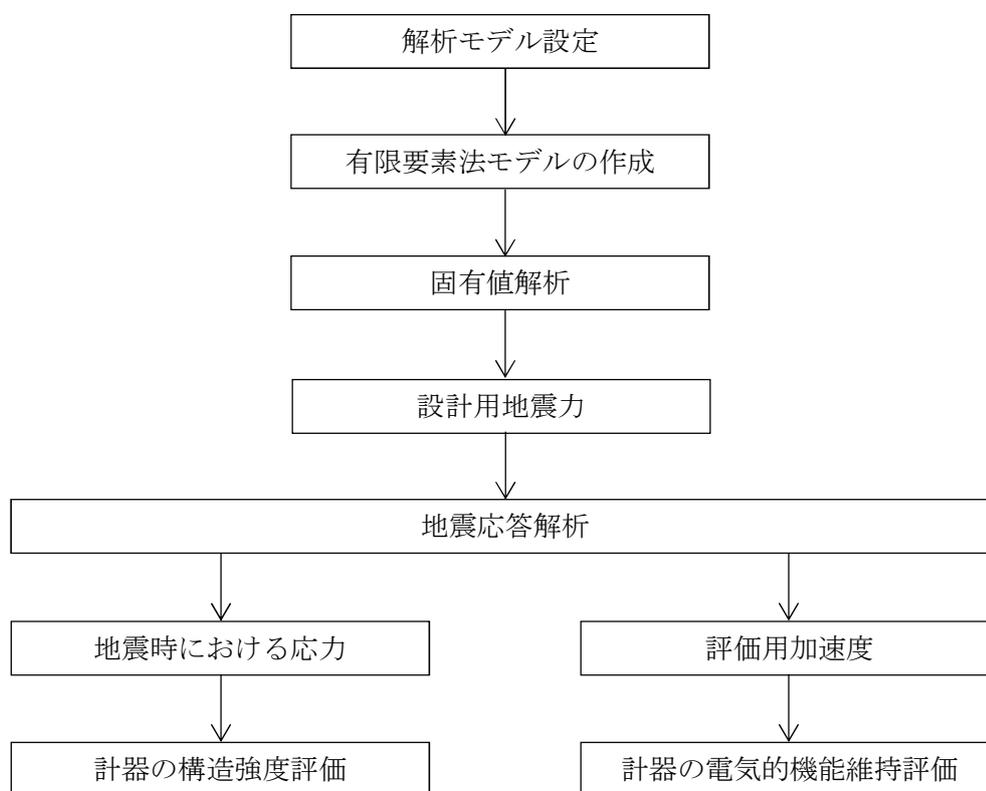


図 2-1 主蒸気管放射線モニタの耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用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 (日本電気協会)
- (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 (日本電気協会)
- (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 (日本電気協会)
- (4) 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)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A	検出器用ウェルの断面積	mm ²
A _w	溶接部の有効断面積	mm ²
A _{wX}	溶接部の F _X に対する有効断面積	mm ²
A _{wZ}	溶接部の F _Z に対する有効断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	-
C _V	鉛直方向設計震度	-
D	検出器用ウェルの外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.1に定める値	MPa
F _X	溶接部に作用する力 (X方向)	N
F _Y	溶接部に作用する力 (Y方向)	N
F _Z	溶接部に作用する力 (Z方向)	N
f _s	溶接部の許容せん断応力 (f _s を1.5倍した値)	MPa
I _p	検出器用ウェルの断面二次極モーメント	mm ⁴
I _y	検出器用ウェルの断面二次モーメント (y軸)	mm ⁴
I _z	検出器用ウェルの断面二次モーメント (z軸)	mm ⁴
ℓ	据付面から検出器及び検出器取付金具の重心までの距離	mm
m _a	検出器, 検出器取付金具の質量	kg
M _X	溶接部に作用するモーメント (X軸周り)	N・m
M _Y	溶接部に作用するモーメント (Y軸周り)	N・m
M _Z	溶接部に作用するモーメント (Z軸周り)	N・m
s	溶接脚長	mm
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
Z _X	溶接全断面におけるX軸方向の断面係数	mm ³
Z _Z	溶接全断面におけるZ軸方向の断面係数	mm ³
Z _p	溶接全断面におけるねじり断面係数	mm ³
Z _{p1}	検出器用ウェルのねじり断面係数	mm ⁴
Z _{y1}	検出器用ウェルの断面係数 (y軸)	mm ⁴
Z _{z1}	検出器用ウェルの断面係数 (z軸)	mm ⁴
ν	ポアソン比	-
π	円周率	-

記号	記号の説明	単位
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

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に示すとおりとする。

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*1	kg	-	-	整数位
長さ*1	mm	-	-	整数位
面積	mm ²	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

主蒸気管放射線モニタの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる溶接部を選定して実施する。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. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (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) 主蒸気管モニタは、溶接により天井の埋込金物に固定されるものとする。
- (3) 主蒸気管モニタの質量は、検出器、検出器取付金具、検出器用ウェル及びプレートを考慮する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 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 2-3 に示す。

4.2.2 許容応力

主蒸気管放射線モニタの許容応力は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 2-4 のとおりとする。

4.2.3 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 2-5 に示す。

表 2-3 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
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	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	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を適用する。

表 2-4 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 (ボルト以外)			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

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。

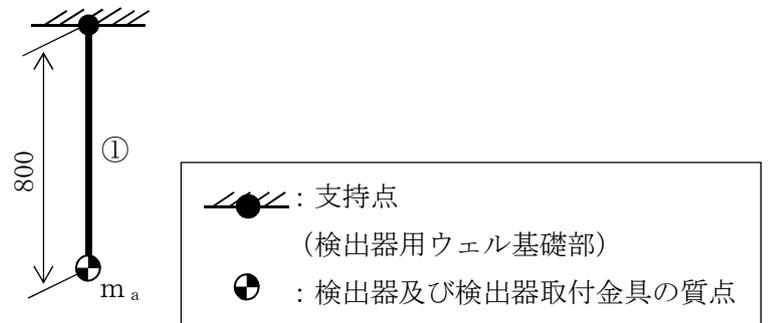
表 2-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
溶接部	<input type="text"/>	周囲環境温度	<input type="text"/>	170	373	-

4.3 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3次元はりモデルとして図2-2に、解析モデルの概要を以下に示す。検出器用ウェルは円筒で原子炉建屋に固定されることから、解析モデルにおいて、①の部材の直線とみなし、支持点（検出器用ウェル基礎部）1点で固定されるものとする。また、解析モデルにおいて、検出器及び検出器取付金具の質量は質点に集中するものとし、質点は検出器取付位置に設置する。機器の諸元を表2-6、部材の機器要目を表2-7に示す。

- (1) 図2-2中の○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。
- (2) 図2-2中の●は検出器及び検出器取付金具の質量を示し、 m_a は32 kgである。
- (3) 図2-2中の——は検出器用ウェルを、●は支持点（検出器用ウェル基礎部）を示す。
- (4) 拘束条件として、基礎部のXYZ方向及び回転方向を固定する。
- (5) 解析コードは、「NSAFE」を使用し、固有値及び荷重を求める。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「V-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要・HISAP及びNSAFE」に示す。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。



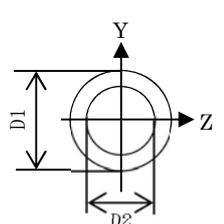
(単位：mm)

図2-2 解析モデル

表 2-6 機器諸元

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

表 2-7 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)		
Z_y (mm ³)		
Z_z (mm ³)		
Z_p (mm ³)		
断面形状 (mm)		

4.4 固有周期

固有値解析結果を表 2-8 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，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2-8 固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1 次		水平

4.5 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、添付書類「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。耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

表 2-9 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	鉛直	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
<div style="border: 1px solid black; width: 80px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> EL. 20.30 ^{*1}	<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 40px; margin: 0 auto;"></div>		$C_H=0.78$	$C_V=0.54$	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

4.6 計算方法

4.6.1 溶接部の応力

次元はりモデルによる地震応答解析から溶接部の荷重を算出し、その結果を用いて理論式にて溶接部を評価する。

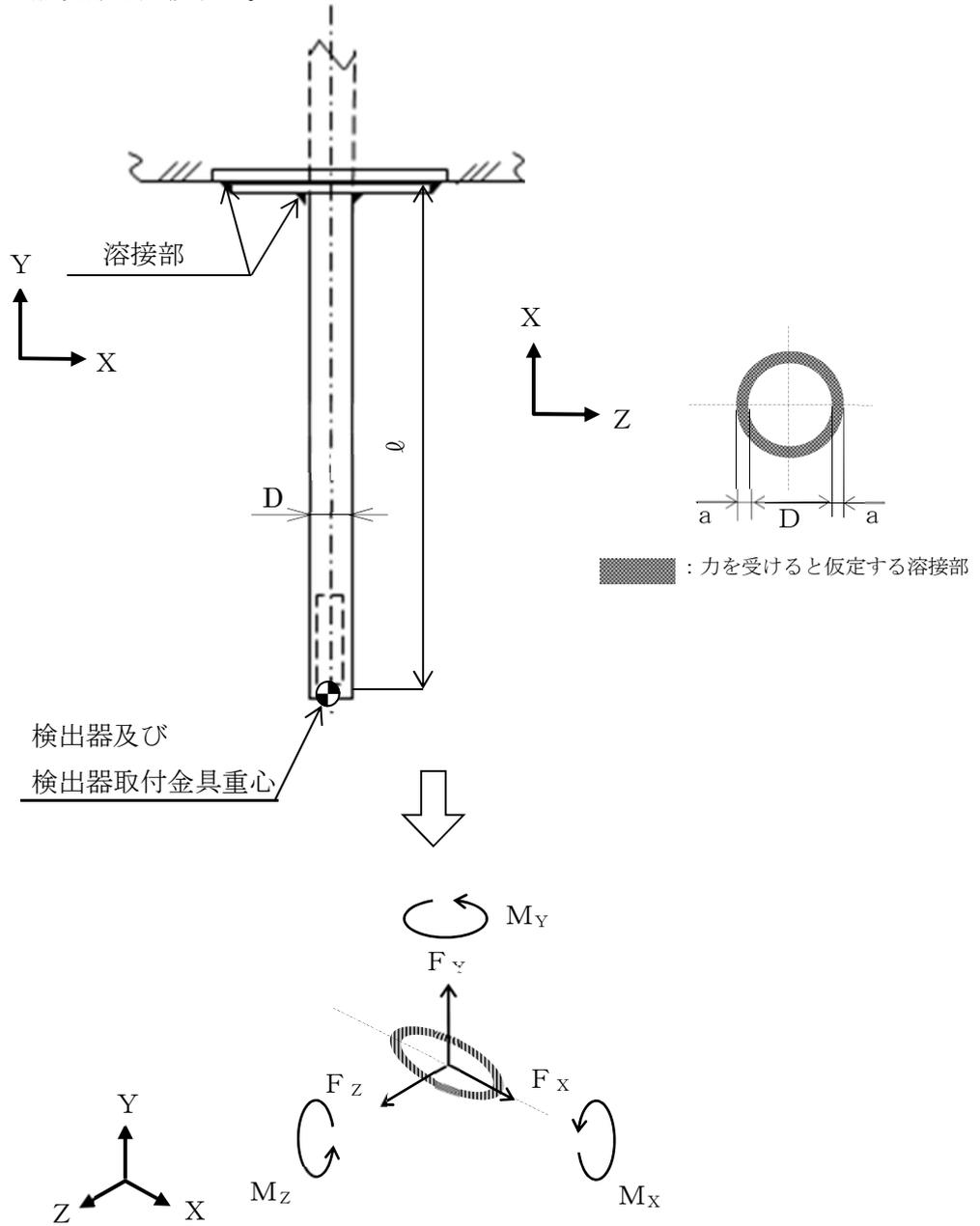


図 2-3 計算モデル（溶接部）

地震対応答解析によって得られた溶接部評価点の反力とモーメントを表 2-10 に示す。

表2-10 溶接部発生反力, モーメント

対象計器	反力(N)			モーメント(N・m)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
D17-N003A						
D17-N003B						
D17-N003C						
D17-N003D						

(1) 引張応力

溶接部に対する引張応力は、全溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張応力 (σ_t)

$$\sigma_t = \frac{F_y}{A_w} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

ここで、引張り力を受ける溶接部の有効断面積 A_w は、次式により求める。

$$A_w = \frac{\pi}{4} \{(D+2 \cdot a)^2 - D^2\} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

ただし、溶接部の有効のど厚 a は、

$$a = 0.7 \cdot s \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

(2) せん断応力

溶接部に対するせん断応力は、各方向の有効せん断面積で受けるものとして計算する。

せん断応力 (τ)

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{F_x}{A_{wx}} + \frac{M_y}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_{wz}} + \frac{M_y}{Z_p}\right)^2} \dots\dots\dots (4.6.1.4)$$

ここで、 A_{wx} 、 A_{wz} はせん断力を受ける各方向の有効断面積、 Z_p は溶接断面におけるねじり断面係数を示す。

A_{wx} 、 A_{wz} は、次式により求める。

$$A_{wx} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \{(D+2 \cdot a)^2 - D^2\} \dots\dots\dots (4.6.1.5)$$

$$A_{wz} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \{(D+2 \cdot a)^2 - D^2\} \dots\dots\dots (4.6.1.6)$$

(3) 曲げ応力

溶接部に対する曲げモーメントは、図4-2でX軸方向、Z軸方向に対する曲げモーメントを最も外側の溶接部で受けるものとして計算する。

曲げ応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_x} + \frac{M_z}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.7)$$

Z_x , Z_z は溶接断面のX軸及びZ軸に関する断面係数を示す。

(4) 組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2} \dots\dots\dots (4.6.1.8)$$

4.7 計算条件

4.7.1 溶接部の応力計算条件

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の耐震性についての計算結果】の設計条件および機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 溶接部の応力評価

4.6.1項で求めた溶接部に発生する応力は、許容応力 f_s 以下であること。
ただし、 f_s 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
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ $\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

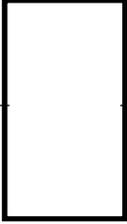
主蒸気管放射線モニタの電気的機能維持評価について、以下に示す。

なお、評価用加速度は添付書類「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。

主蒸気管放射線モニタの機能確認済加速度は、添付書類「V-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気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-11 に示す。

表 2-11 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
主蒸気管放射線モニタ	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 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気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

電気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についての評価結果】

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	
主蒸気管放射線モニタ	S	EL. 20.30*1			$C_H=0.78$	$C_V=0.54$	$C_H=1.34$	$C_V=1.01$	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有値解析より 0.05 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 主蒸気管放射線モニタ

部材	ℓ (mm)	s (mm)	a (mm)	D (mm)	A_w (mm ²)	A_{wx} (mm ²)	A_{wz} (mm ²)	Z_x (mm ³)	Z_z (mm ³)	Z_p (mm ³)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
溶接部											170	373	170	204

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力

(単位: N)

部材	F_x		F_y		F_z	
	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
溶接部						

1.3.2 溶接部に作用するモーメント

(単位: N・m)

部材	M_x		M_y		M_z	
	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
溶接部						

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力

(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
溶接部		引張り	$\sigma_t = 1$	$f_s = 98$	$\sigma_t = 2$	$f_s = 117$
		せん断	$\tau = 2$	$f_s = 98$	$\tau = 3$	$f_s = 117$
		曲げ	$\sigma_b = 22$	$f_s = 98$	$\sigma_b = 37$	$f_s = 117$
		組合せ	$\sigma_w = 23$	$f_s = 98$	$\sigma_w = 39$	$f_s = 117$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

		評価用加速度	機能確認済加速度
主蒸気管放射線モニタ	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

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。

