

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 添-2-037-29 改1
提出年月日	2020年9月4日

V-2-6-5-21 ドライウェル雰囲気温度の耐震性についての計算書

K7 ① V-2-6-5-21 R1

2020年9月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-6-5-21 ドライウェル雰囲気温度の耐震性についての計算書

目 次

1.	ドライウエル雰囲気温度 (T31-TE-029A)	1
1.1	概要	1
1.2	一般事項	1
1.2.1	構造計画	1
1.2.2	評価方針	3
1.2.3	適用規格・基準等	4
1.2.4	記号の説明	5
1.2.5	計算精度と数値の丸め方	6
1.3	評価部位	7
1.4	固有周期	8
1.4.1	固有値解析方法	8
1.4.2	解析モデル及び諸元	8
1.4.3	固有値解析結果	9
1.5	構造強度評価	10
1.5.1	構造強度評価方法	10
1.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	10
1.5.3	設計用地震力	14
1.5.4	計算方法	15
1.5.5	計算条件	18
1.5.6	応力の評価	18
1.6	機能維持評価	19
1.6.1	電氣的機能維持評価方法	19
1.7	評価結果	20
1.7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	20
2.	ドライウエル雰囲気温度 (T31-TE-029K)	23
2.1	概要	23
2.2	一般事項	23
2.2.1	構造計画	23
2.2.2	評価方針	25
2.2.3	適用規格・基準等	26
2.2.4	記号の説明	27
2.2.5	計算精度と数値の丸め方	28
2.3	評価部位	29
2.4	固有周期	30
2.4.1	固有値解析方法	30

2.4.2	解析モデル及び諸元	30
2.4.3	固有値解析結果	31
2.5	構造強度評価	32
2.5.1	構造強度評価方法	32
2.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	32
2.5.3	設計用地震力	36
2.5.4	計算方法	37
2.5.5	計算条件	41
2.5.6	応力の評価	41
2.6	機能維持評価	42
2.6.1	電氣的機能維持評価方法	42
2.7	評価結果	43
2.7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	43

1. ドライウェル雰囲気温度 (T31-TE-029A)

1.1 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及び機能維持の設計方針に基づき、ドライウェル雰囲気温度が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説明するものである。

ドライウェル雰囲気温度は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

ドライウェル雰囲気温度の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1 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>検出器は温度計固定金具により、サポート鋼材に固定する。 サポート鋼材は溶接によりサポートスチールに固定する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>【ドライウェル雰囲気温度】</p> <p>側面図</p> <p>正面図</p> <p>サポートスチール</p> <p>温度計固定金具</p> <p>100</p> <p>150</p> <p>検出器</p> <p>溶接部</p> <p>サポート鋼材 (山形鋼)</p> <p>溶接部</p> <p>100</p> <p>(正面方向)</p> <p>(側面方向)</p> <p>(単位：mm)</p>

1.2.2 評価方針

ドライウェル雰囲気温度の応力評価は、V-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、「1.2.1 構造計画」にて示すドライウェル雰囲気温度の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4 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、「1.5 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、ドライウェル雰囲気温度の機能維持評価は、V-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、「1.6 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「1.7 評価結果」に示す。

ドライウェル雰囲気温度の耐震評価フローを図1-1に示す。

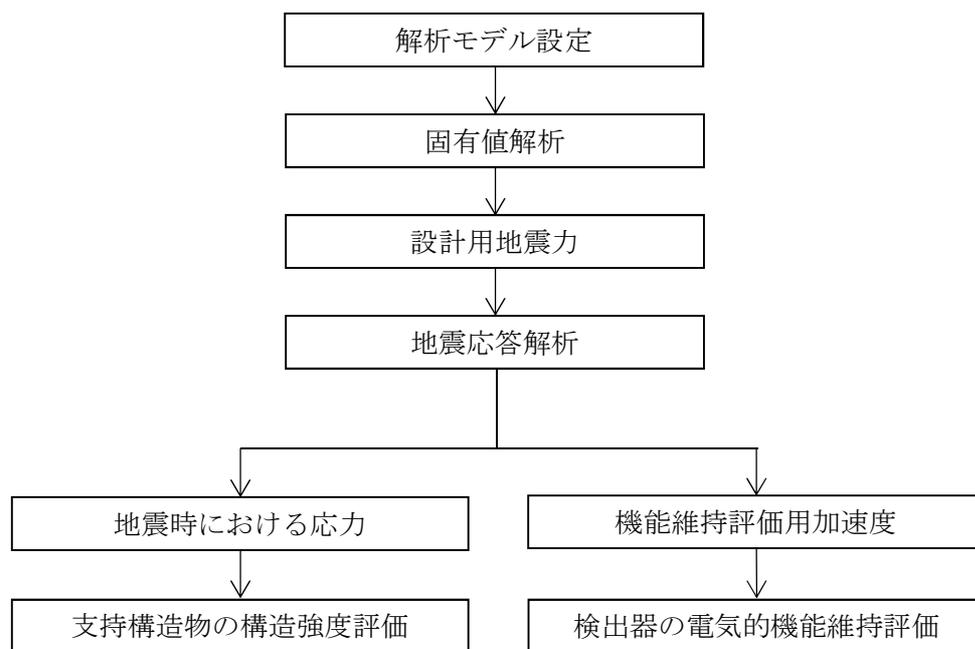


図1-1 ドライウェル雰囲気温度の耐震評価フロー

1.2.3 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。

- ・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 -1987 ((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)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

1.2.4 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_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_{wy}	溶接部の F_y 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
b_1, b_2	溶接の有効長さ (x 方向)	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3131又はSSB-3133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_t	溶接部の許容引張応力	MPa
f_s	溶接部の許容せん断応力	MPa
f_b	溶接部の許容曲げ応力	MPa
f_w	溶接部の許容組合せ応力	MPa
h_1, h_2	溶接の有効長さ (z 方向)	mm
h_3, h_4	溶接の有効長さ (y 方向)	mm
l	据付面から検出器荷重点までの距離	mm
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
$S_y (RT)$	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
W	検出器の荷重	N
Z_x	溶接断面積における x 軸方向の断面係数	mm ³
Z_y	溶接断面積における y 軸方向の断面係数	mm ³
Z_z	溶接断面積における z 軸方向の断面係数	mm ³
Z_p	溶接断面積におけるねじり断面係数	mm ³
ν	ポアソン比	—

記号	記号の説明	単位
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_t	溶接部に生じる引張応力	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

1.2.5 計算精度と数値の丸め方

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1-2に示すとおりとする。

表1-2 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
モーメント	N・m	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。

1.3 評価部位

ドライウェル雰囲気温度の耐震評価は、「1.5.1 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溶接部について実施する。ドライウェル雰囲気温度の耐震評価部位については、表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4 固有周期

1.4.1 固有値解析方法

ドライウエル雰囲気温度の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) ドライウエル雰囲気温度は、「1.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

1.4.2 解析モデル及び諸元

ドライウエル雰囲気温度の解析モデルを図1-2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【ドライウエル雰囲気温度 (T31-TE-029A) 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) ドライウエル雰囲気温度の質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) ドライウエル雰囲気温度の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。
- (3) 拘束条件は、溶接部を完全拘束とする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (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、別紙「計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

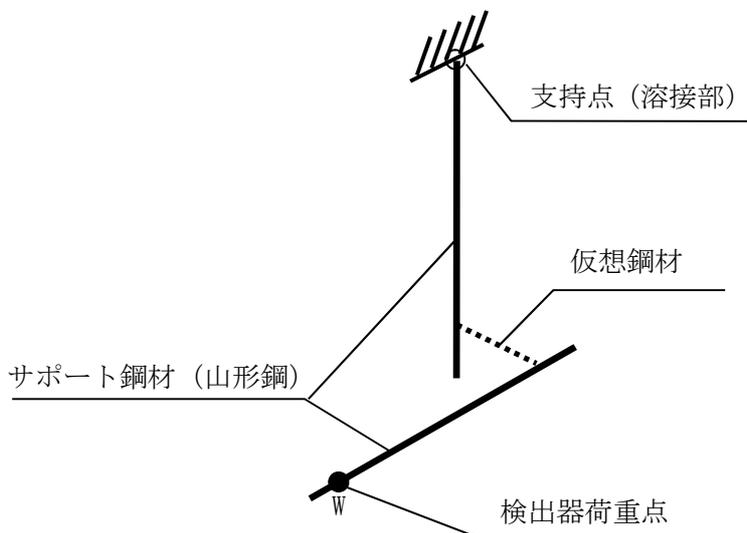


図1-2 解析モデル

1.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 1-3 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 1-3 固有値解析結果

対象計器	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	Y方向	
T31-TE-029A	1次	水平		—	—	—

1.5 構造強度評価

1.5.1 構造強度評価方法

1.4.2 項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力はドライウエル雰囲気温度に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) ドライウエル雰囲気温度は、溶接でサポートスチールに固定されており、固定端とする。

1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ドライウエル雰囲気温度の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.5.2.2 許容応力

ドライウエル雰囲気温度の許容応力は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 に示す。

1.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ドライウエル雰囲気温度の使用材料の許容応力評価条件のうちの評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	ドライウエル雰囲気温度	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：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。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)		
	一次応力		
	引張り	せん断	曲げ
IVAS	1.5・f _t *	1.5・f _s *	1.5・f _b *
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)			

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。

*3：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

表 1-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	200	193	373	—
溶接部	SS400 (板厚 ≤ 16mm)					

1.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-7 に示す。

「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」に基づき設定する。

表 1-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

機器名称	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
ドライウエル 雰囲気温度 (T31-TE-029A)	原子炉格納容器 T. M. S. L. 24. 500 (T. M. S. L. 26. 013*)		0. 05 以下	—	—	C _H =2. 80	C _V =1. 46

注記*：基準床レベルを示す。

1.5.4 計算方法

1.5.4.1 応力の計算方法

1.5.4.1.1 溶接部の応力

三次元はりモデルによる個別解析から溶接部の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて溶接部を評価する。

K7 ① V-2-6-5-21 R1

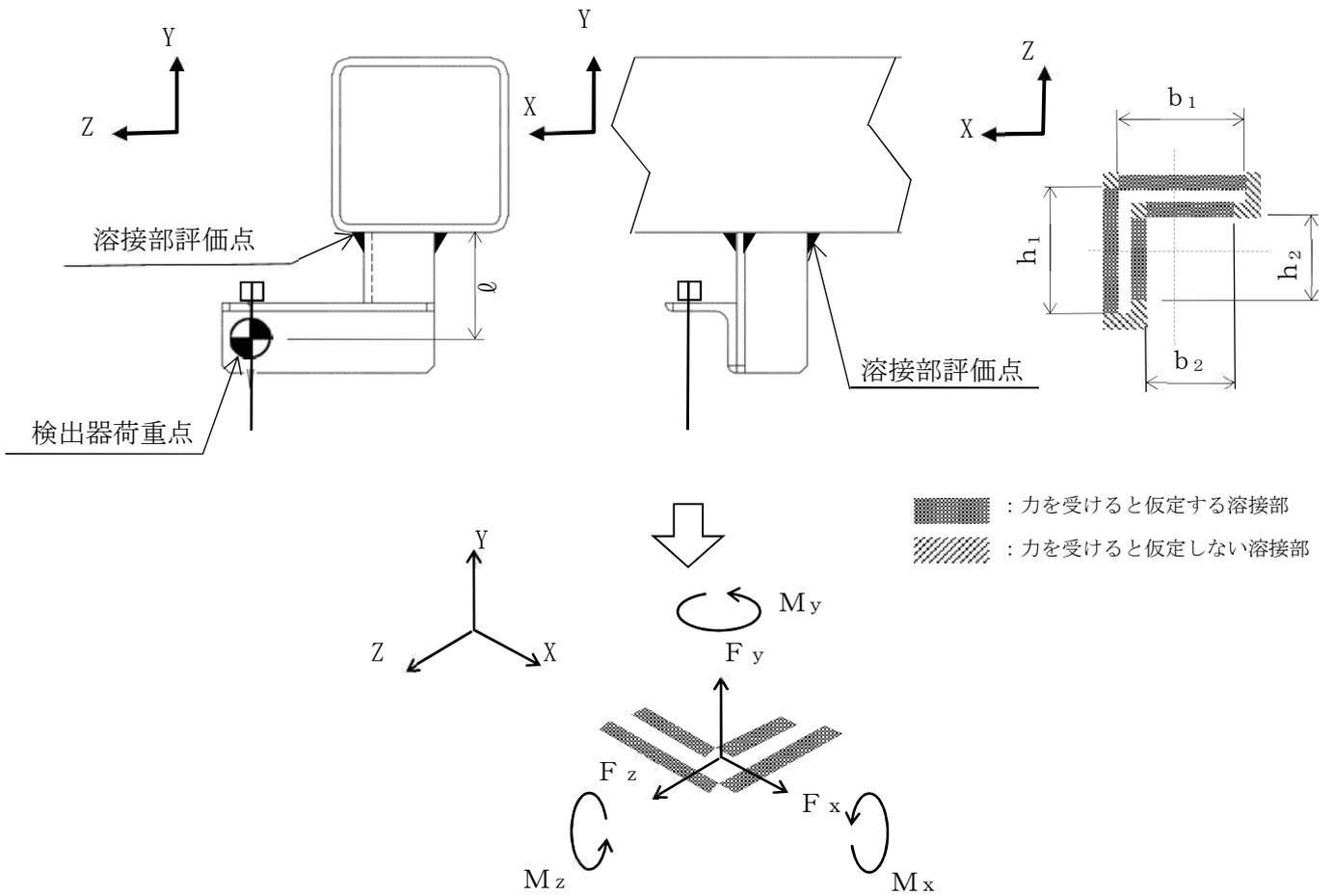


図 1-3 計算モデル (溶接部)

個別解析によって得られた溶接部の評価点の最大反力とモーメントを表1-8に示す。

表1-8 サポート発生反力, 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
T31-TE-029A						

(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。

$$\sigma_t = \frac{F_y}{A_w} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.1)$$

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。

$$A_w = a \cdot (h_1 + h_2 + b_1 + b_2) \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.2)$$

ただし、 h_1 , h_2 , b_1 , b_2 は各溶接部における溶接長さを示し、溶接部の有効のど厚 a は、

$$a = 0.7 \cdot s \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.3)$$

(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。

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{F_x}{A_{wx}} + \frac{M_y}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_{wz}} + \frac{M_y}{Z_p}\right)^2} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.4)$$

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。

$$A_{wx} = a \cdot (b_1 + b_2) \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.5)$$

$$A_{wz} = a \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.6)$$

(3) 曲げ応力

溶接部に対する曲げモーメントは、図1-3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。

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_x} + \frac{M_z}{Z_z} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.7)$$

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

溶接部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。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.8)$$

1.5.5 計算条件

1.5.5.1 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【ドライウェル雰囲気温度 (T31-TE-029A) 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。

1.5.6 応力の評価

1.5.6.1 溶接部の応力評価

1.5.4.1.1項で求めた溶接部に発生する応力は、下表で定めた許容応力以下であること。

	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	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

1.6 機能維持評価

1.6.1 電氣的機能維持評価方法

ドライウエル雰囲気温度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V-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。

ドライウエル雰囲気温度の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、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評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表1-9に示す。

表1-9 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
ドライウエル雰囲気温度 (T31-TE-029A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

1.7 評価結果

1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウエル雰囲気温度の重大事故等時の状態を考慮した場合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。

(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。

【ドライウエル雰囲気温度 (T31-TE-029A) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 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	
ドライウエル雰囲気温度 (T31-TE-029A)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉格納容器 T. M. S. L. 24. 500 (T. M. S. L. 26. 013*)		0.05 以下	—	—	C _H =2. 80	C _V =1. 46	200

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	W (N)	ℓ (mm)	a (mm)	s (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₃ (mm)	h ₄ (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	A _w (mm ²)	A _{wx} (mm ²)	A _{wy} (mm ²)	A _{wz} (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _z (mm ³)	Z _p (mm ³)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F* (MPa)
溶接部		75	2.8	4	50	33	—	—	50	33	464.8	232.4	—	232.4	3.158 ×10 ³	—	3.158 ×10 ³	5.692 ×10 ³	193 (板厚 ≤ 16mm)	373 (板厚 ≤ 16mm)	—	231

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	SS400	引張り	—	—	$\sigma_t=1$	$f_t=133^*$
		せん断	—	—	$\tau_s=1$	$f_s=133^*$
		曲げ	—	—	$\sigma_b=4$	$f_b=133^*$
		組合せ	—	—	$\sigma_w=4$	$f_w=133^*$

すべて許容応力以下である。

注記*：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

1.4.2 電氣的機能の評価結果

($\times 9.8m/s^2$)

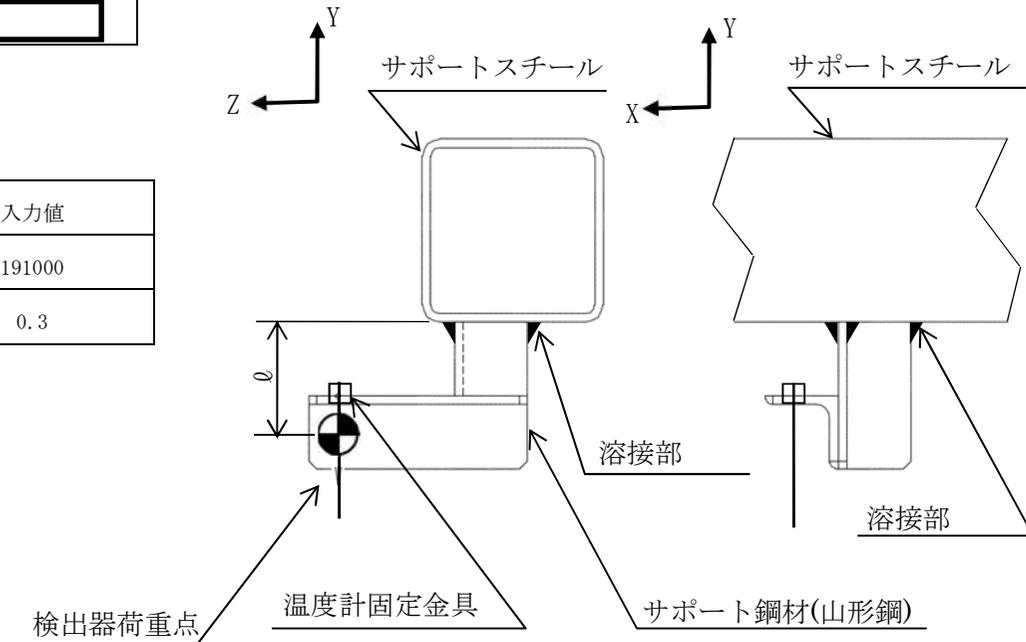
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ドライウェル雰囲気温度 (T31-TE-029A)	水平方向	2.33	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.21	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) 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

項目	記号	単位	入力値
縦弾性係数	E	MPa	191000
ポアソン比	ν	—	0.3



2. ドライウェル雰囲気温度 (T31-TE-029K)

2.1 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及び機能維持の設計方針に基づき、ドライウェル雰囲気温度が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説明するものである。

ドライウェル雰囲気温度は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

ドライウェル雰囲気温度の構造計画を表 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>検出器は温度計固定金具により、温度計支持構造物に固定する。 温度計支持構造物は溶接によりサポート鋼材に固定する。 サポート鋼材は溶接により原子炉本体基礎に固定する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>【ドライウェル雰囲気温度】</p> <p>(正面方向)</p> <p>(側面方向)</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2.2 評価方針

ドライウエル雰囲気温度の応力評価は、V-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、「2.2.1 構造計画」にて示すドライウエル雰囲気温度の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 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、「2.5 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、ドライウエル雰囲気温度の機能維持評価は、V-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、「2.6 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「2.7 評価結果」に示す。

ドライウエル雰囲気温度の耐震評価フローを図2-1に示す。

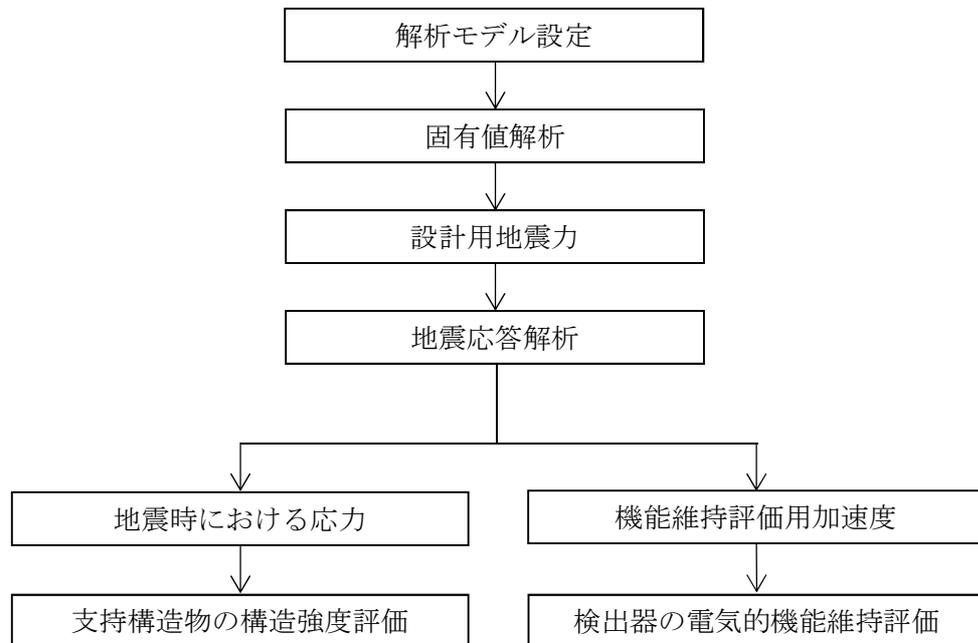


図2-1 ドライウエル雰囲気温度の耐震評価フロー

2.2.3 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。

- ・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 -1987 ((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)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.2.4 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_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_{wy}	溶接部の F_y 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
b_1, b_2	溶接の有効長さ (x 方向)	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3131又はSSB-3133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_t	溶接部の許容引張応力	
f_s	溶接部の許容せん断応力	MPa
f_b	溶接部の許容曲げ応力	
f_w	溶接部の許容組合せ応力	
h_1, h_2	溶接の有効長さ (z 方向)	mm
h_3, h_4	溶接の有効長さ (y 方向)	mm
l	据付面から検出器荷重点までの距離	mm
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
$S_y (RT)$	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
W	検出器の荷重	N
Z_x	溶接断面積における x 軸方向の断面係数	mm ³
Z_y	溶接断面積における y 軸方向の断面係数	mm ³
Z_z	溶接断面積における z 軸方向の断面係数	mm ³
Z_p	溶接断面積におけるねじり断面係数	mm ³
ν	ポアソン比	—

記号	記号の説明	単位
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_t	溶接部に生じる引張応力	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

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

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	°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
モーメント	N・m	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。

2.3 評価部位

ドライウエル雰囲気温度の耐震評価は、「2.5.1 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溶接部について実施する。ドライウエル雰囲気温度の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4 固有周期

2.4.1 固有値解析方法

ドライウエル雰囲気温度の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) ドライウエル雰囲気温度は、「2.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

2.4.2 解析モデル及び諸元

ドライウエル雰囲気温度の解析モデルを図 2-2 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【ドライウエル雰囲気温度 (T31-TE-029K) 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) ドライウエル雰囲気温度の質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) ドライウエル雰囲気温度の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。
- (3) 拘束条件は、溶接部を完全拘束とする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (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、別紙「計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。

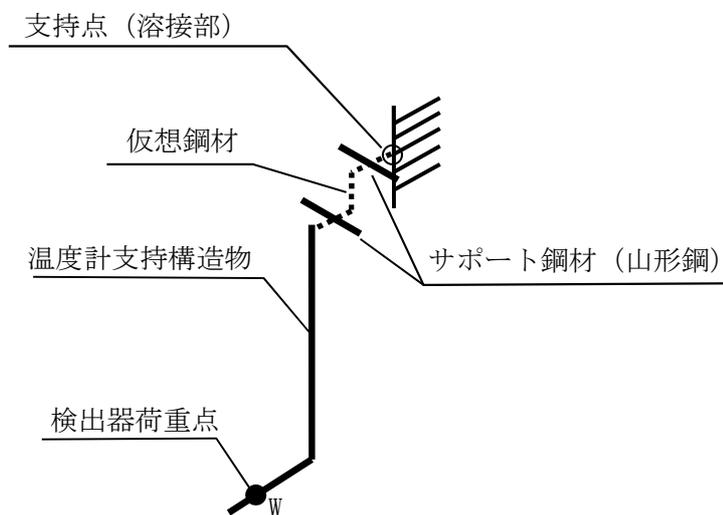


図 2-2 解析モデル

2.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-3 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 2-3 固有値解析結果

対象計器	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	Y方向	
T31-TE-029K	1次	水平		—	—	—

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

2.4.2 項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力はドライウエル雰囲気温度に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) ドライウエル雰囲気温度は、溶接で原子炉本体基礎に固定されており、固定端とする。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ドライウエル雰囲気温度の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-4 に示す。

2.5.2.2 許容応力

ドライウエル雰囲気温度の許容応力は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 に示す。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ドライウエル雰囲気温度の使用材料の許容応力評価条件のうちの評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	ドライウエル雰囲気温度	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：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。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2, *4 (ボルト等以外)		
	一次応力		
	引張り	せん断	曲げ
IVAS	$1.5 \cdot f_t^{**3}$	$1.5 \cdot f_s^{**3}$	$1.5 \cdot f_b^{**3}$
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)			

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。

*3：その他の支持構造物においては S_y を $1.2 \cdot S_y$ と読み替える。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ついては、本読み替えを行わない。

*4：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

表 2-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
溶接部 (原子炉本体基礎)	SS400 (板厚 ≤ 16mm)	周囲環境温度	200	193	373	—
溶接部 (サポート)	SS400 (板厚 ≤ 16mm)	周囲環境温度	200	193	373	—
溶接部 (温度計支持構造物)	SUS304	周囲環境温度	200	144	402	205

2.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-7 に示す。

「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」に基づき設定する。

表 2-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

機器名称	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
ドライウエル 雰囲気温度 (T31-TE-029K)	原子炉格納容器 T. M. S. L. -3.000 (T. M. S. L. -2.100*)		0.05 以下	—	—	$C_H=1.19$	$C_V=1.24$

注記*：基準床レベルを示す。

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 溶接部の応力

三次元はりモデルによる個別解析から溶接部の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて溶接部を評価する。

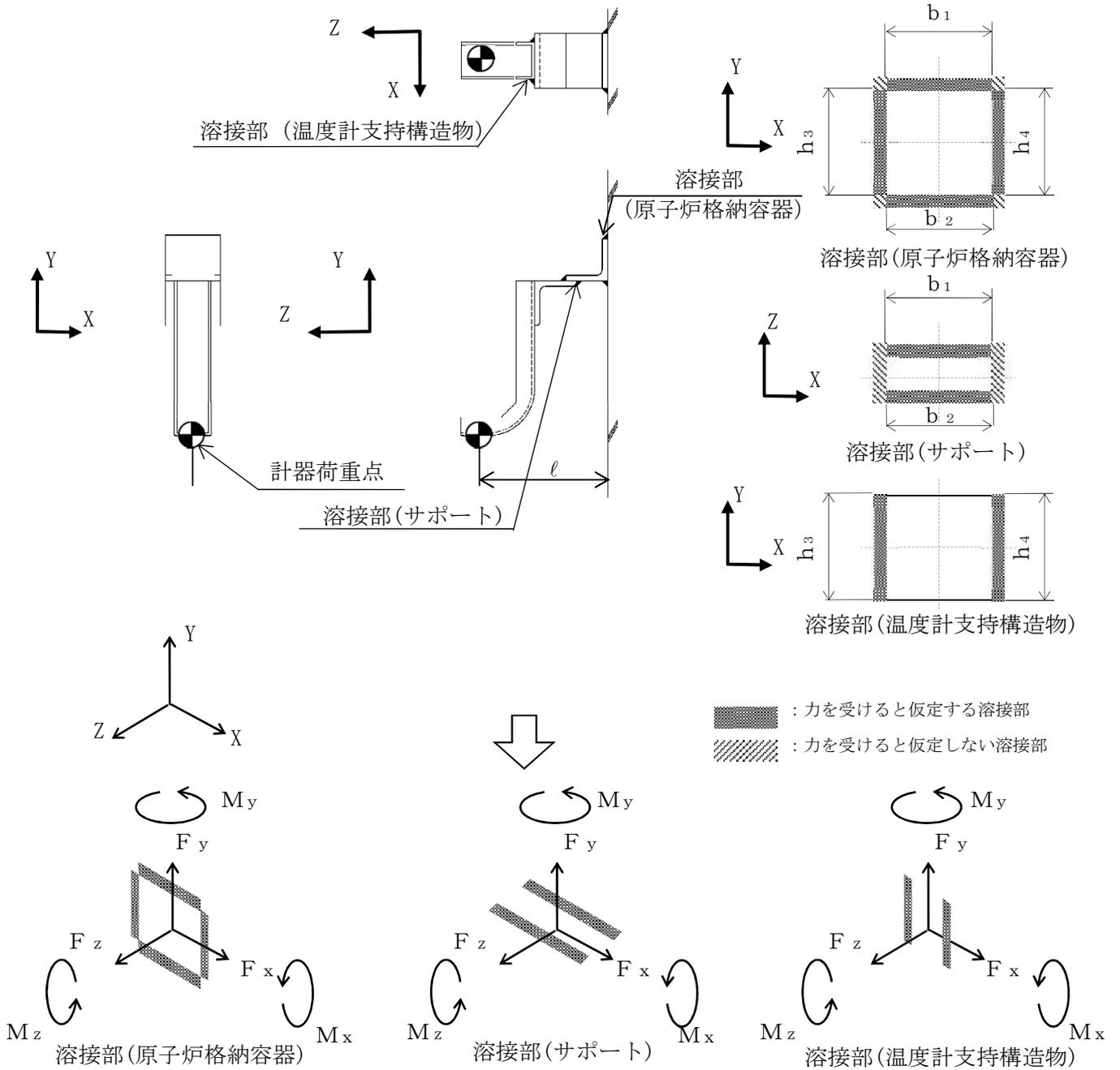


図 2-3 計算モデル (溶接部)

個別解析によって得られた溶接部の評価点の最大反力とモーメントを表 2-8 に示す。

表2-8 サポート発生反力, 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
T31-TE-029K (溶接部 (原子炉本体基礎))						
T31-TE-029K (溶接部 (サポート))						
T31-TE-029K (溶接部 (温度計支持構造物))						

(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。

- a. T31-TE-029K (溶接部 (原子炉本体基礎, 温度計支持構造物))

$$\sigma_t = \frac{F_z}{A_w} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1)$$

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) T31-TE-029K (溶接部 (原子炉本体基礎))

$$A_w = a \cdot (h_3 + h_4 + b_1 + b_2) \dots\dots\dots (2.5.4.1.2)$$

- (b) T31-TE-029K (溶接部 (温度計支持構造物))

$$A_w = a \cdot (h_3 + h_4) \dots\dots\dots (2.5.4.1.3)$$

- b. T31-TE-029K (溶接部 (サポート))

$$\sigma_t = \frac{F_y}{A_w} \dots\dots\dots (2.5.4.1.4)$$

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。

$$A_w = a \cdot (b_1 + b_2) \dots\dots\dots (2.5.4.1.5)$$

ただし、 h_3 , h_4 , b_1 , b_2 は各溶接部における溶接長さを示し、溶接部の有効のど厚 a は、

$$a = 0.7 \cdot s \dots\dots\dots (2.5.4.1.6)$$

(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。

a. T31-TE-029K (溶接部 (原子炉本体基礎, 温度計支持構造物))

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{F_x}{A_{wx}} + \frac{M_z}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{F_y}{A_{wy}} + \frac{M_z}{Z_p}\right)^2} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.7)$$

ここで、 A_{wx} 、 A_{wy} 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_{wy} は、次式により求める。

(a) T31-TE-029K (溶接部 (原子炉本体基礎))

$$A_{wx} = a \cdot (b_1 + b_2) \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.8)$$

$$A_{wy} = a \cdot (h_3 + h_4) \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.9)$$

(b) T31-TE-029K (溶接部 (温度計支持構造物))

$$A_{wx} = \frac{A_w}{1.5} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.10)$$

$$A_{wy} = \frac{A_w}{1.5} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.11)$$

b. T31-TE-029K (溶接部(サポート))

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{F_x}{A_{wx}} + \frac{M_y}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_{wz}} + \frac{M_y}{Z_p}\right)^2} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.12)$$

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_{wy} は、次式により求める。

$$A_{wx} = \frac{A_w}{1.5} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.13)$$

$$A_{wz} = \frac{A_w}{1.5} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.14)$$

(3) 曲げ応力

- a. T31-TE-029K (溶接部 (原子炉本体基礎, 温度計支持構造物))

溶接部に対する曲げモーメントは, 図2-3で x 軸方向, y 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。

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_x} + \frac{M_y}{Z_y} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.15)$$

Z_x, Z_y は溶接断面の x 軸及び y 軸に関する断面係数を示す。

- b. T31-TE-029K (溶接部 (サポート))

溶接部に対する曲げモーメントは, 図2-3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。

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_x} + \frac{M_z}{Z_z} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.16)$$

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

溶接部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。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.17)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 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【ドライウェル雰囲気温度（T31-TE-029K）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

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 溶接部の応力評価

2.5.4.1.1項で求めた溶接部に発生する応力は、下表で定めた許容応力以下であること。

	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	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

2.6 機能維持評価

2.6.1 電氣的機能維持評価方法

ドライウエル雰囲気温度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V-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。

ドライウエル雰囲気温度の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、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評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表2-9に示す。

表2-9 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
ドライウエル雰囲気温度 (T31-TE-029K)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

2.7 評価結果

2.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウエル雰囲気温度の重大事故等時の状態を考慮した場合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。

【ドライウエル雰囲気温度 (T31-TE-029K) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 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	
ドライウエル雰囲気温度 (T31-TE-029K)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子格納容器 T. M. S. L. -3.000 (T. M. S. L. -2.100*)		0.05 以下	—	—	C _H =1.19	C _V =1.24	200

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉本体基礎

部材	W (N)	ℓ (mm)	a (mm)	s (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₃ (mm)	h ₄ (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	A _w (mm ²)	A _{wx} (mm ²)	A _{wy} (mm ²)	A _{wz} (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _z (mm ³)	Z _p (mm ³)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F* (MPa)
溶接部		140	2.8	4	—	—	50	50	60	60	616.0	336.0	280.0	—	1.052 ×10 ⁴	1.149 ×10 ⁴	—	1.624 ×10 ⁴	193 (板厚 ≤ 16mm)	373 (板厚 ≤ 16mm)	—	231

1.2.2 サポート

部材	W (N)	ℓ (mm)	a (mm)	s (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₃ (mm)	h ₄ (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	A _w (mm ²)	A _{wx} (mm ²)	A _{wy} (mm ²)	A _{wz} (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _z (mm ³)	Z _p (mm ³)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F* (MPa)
溶接部	—	—	2.8	4	—	—	—	—	48	48	268.8	179.2	—	179.2	2.742 ×10 ³	—	2.150 ×10 ³	3.188 ×10 ³	193 (板厚 ≤ 16mm)	373 (板厚 ≤ 16mm)	—	231

1.2.3 温度計支持構造物

部材	W (N)	ℓ (mm)	a (mm)	s (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₃ (mm)	h ₄ (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	A _w (mm ²)	A _{wx} (mm ²)	A _{wy} (mm ²)	A _{wz} (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _z (mm ³)	Z _p (mm ³)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F* (MPa)
溶接部	—	—	2.1	3	—	—	50	50	—	—	210.0	140.0	140.0	—	1.750 ×10 ³	4.213 ×10 ³	—	4.102 ×10 ³	144	402	205	194

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 (原子炉本体基礎)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
溶接部 (サポート)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
溶接部 (温度計支持構造物)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

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 (原子炉本体基礎)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
溶接部 (サポート)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
溶接部 (温度計支持構造物)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

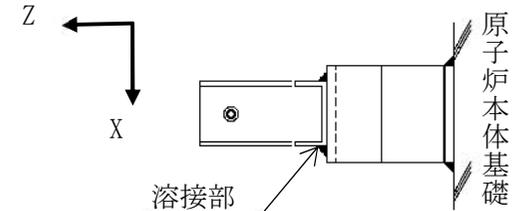
1.4.1 溶接部の応力

(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 (原子炉本体基礎)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_t = 0$	$f_t = 133^*$
		せん断	—	—	$\tau = 1$	$f_s = 133^*$
		曲げ	—	—	$\sigma_b = 2$	$f_b = 133^*$
		組合せ	—	—	$\sigma_w = 2$	$f_w = 133^*$
溶接部 (サポート)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_t = 1$	$f_t = 133^*$
		せん断	—	—	$\tau = 2$	$f_s = 133^*$
		曲げ	—	—	$\sigma_b = 8$	$f_b = 133^*$
		組合せ	—	—	$\sigma_w = 8$	$f_w = 133^*$
溶接部 (温度計支持構造物)	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_t = 1$	$f_t = 112^*$
		せん断	—	—	$\tau = 3$	$f_s = 112^*$
		曲げ	—	—	$\sigma_b = 5$	$f_b = 112^*$
		組合せ	—	—	$\sigma_w = 6$	$f_w = 112^*$

すべて許容応力以下である。

注記*：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。



46

1.4.2 電気的機能の評価結果

($\times 9.8m/s^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ドライウェル雰囲気温度 (T31-TE-029K)	水平方向	0.99	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.03	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) 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

項目	記号	単位	入力値
縦弾性係数	E	MPa	191000 (SS400) 183000 (SUS304)
ポアソン比	ν	—	0.3

