

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-1037 改1
提出年月日	平成30年9月14日

## V-3-別添6-6 制御棒案内管の応力計算書

## 目次

1. 一般事項	1
1.1 記号の説明	1
1.2 適用基準	1
1.3 形状・寸法・材料	1
1.4 解析範囲	1
1.5 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 設計条件	5
2.2 重大事故等時の条件	5
2.3 荷重の組合せ及び供用状態	5
2.4 材料	5
2.5 物性値	5
2.6 荷重の組合せと応力評価	5
2.7 許容限界	5
2.8 応力の記号と方向	5
3. 外荷重の条件	6
3.1 死荷重	6
4. 応力計算	6
4.1 応力評価点	6
4.2 差圧による応力	6
4.2.1 荷重条件 (L02)	6
4.2.2 計算方法	6
4.3 外荷重による応力	7
4.3.1 荷重条件 (L04)	7
4.3.2 計算方法	7
4.4 応力の評価	7
5. 応力強さの評価	8
5.1 一次一般膜応力強さの評価	8
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8
6. 特別な評価	9
6.1 圧縮応力の評価	9
6.1.1 計算データ	9
6.1.2 圧縮応力	9
6.1.3 許容圧縮応力	9
6.1.4 圧縮応力の評価	10
6.2 外圧の評価	10

6.2.1	外圧	10
6.2.2	許容外圧	10
6.2.3	外圧の評価	10

## 図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	断面性状	11
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	12
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	13
表 6-1	圧縮応力の評価	14
表 6-2	外圧の評価	14

## 1. 一般事項

本計算書は、制御棒案内管の応力計算書である。

制御棒案内管は、炉心支持構造物であるため、添付書類「V-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づくものとする。

### 1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」の2章に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
D <sub>i</sub>	内径	mm
D <sub>o</sub>	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
R <sub>o</sub>	外半径	mm
t	厚さ	mm
σ <sub>ca</sub>	許容圧縮応力	MPa
P <sub>a</sub>	許容外圧	MPa
L	長さ	mm

### 1.2 適用基準

適用基準は、「応力解析の方針」の1.3節に示す。

### 1.3 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図1-1に示す。

### 1.4 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

### 1.5 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を本計算書に記載している。

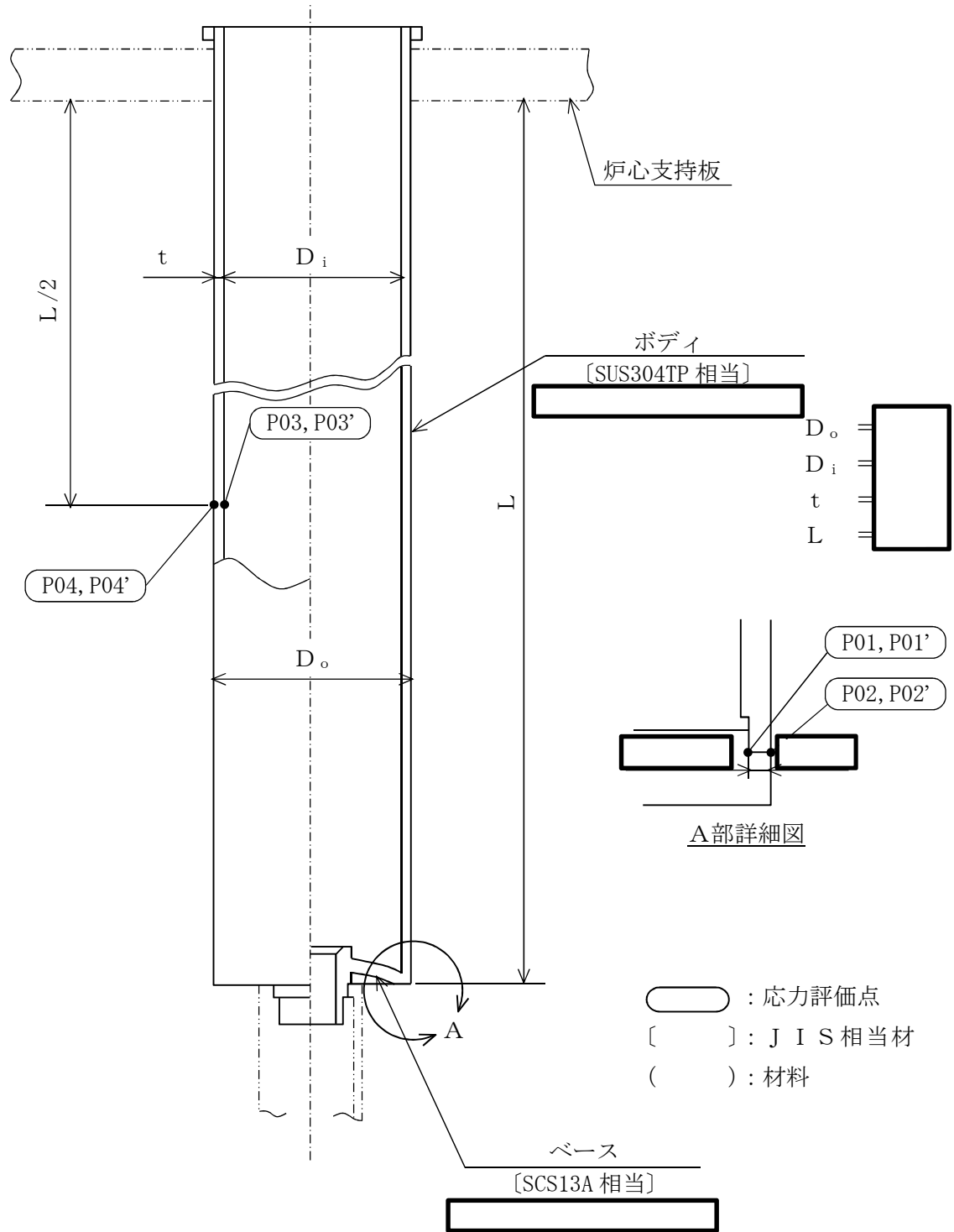



図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ (MPa)		
		応力 強さ	許容値	応力 評価面	応力 強さ	許容値	応力 評価面
下部溶接部 SCS13A	E	10	113	P01-P02	10	170	P01-P02
長手中央部 SUS304TP	E	9	130	P03-P04	9	195	P03-P04

表 1-1(2) 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	圧縮応力の評価 (MPa)		外圧の評価 (MPa)	
		圧縮応力	許容圧縮応力	外圧	許容外圧
ボディ SUS304TP	E	5	55		0.89



## 2. 計算条件

### 2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

### 2.2 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

### 2.3 荷重の組合せ及び供用状態

荷重の組合せ及び供用状態は、「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

### 2.4 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

### 2.5 物性値

物性値は、「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

### 2.6 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価は、「応力解析の方針」の 4.5 節に示す。

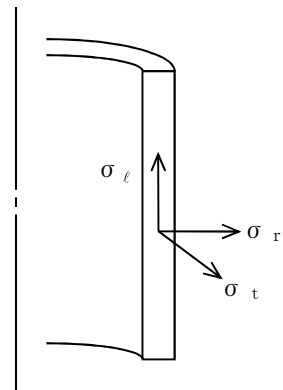
### 2.7 許容限界

許容限界は、「応力解析の方針」の 3.5 節に示す。

### 2.8 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- $\sigma_t$  : 周方向応力
- $\sigma_\ell$  : 軸方向応力
- $\sigma_r$  : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$  : せん断応力



### 3. 外荷重の条件

#### 3.1 死荷重

制御棒案内管の評価に用いる死荷重を「応力解析の方針」の 4.4.1 項に示す。

### 4. 応力計算

#### 4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

#### 4.2 差圧による応力

##### 4.2.1 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件による差圧を「応力解析の方針」の 4 章の図 4-1 に示す。

計算は、設計条件に対して行い、供用状態 E での応力は、比例計算により求める。

##### 4.2.2 計算方法

###### (1) 一次一般膜応力

差圧  $P_{13}$  による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = -\frac{Y}{Y-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_l = 0$$

$$\sigma_r = -\frac{Y}{Y+1} \cdot P_{13}$$

$$\text{ここで、 } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

###### (2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は一次一般膜応力と同じである。

### 4.3 外荷重による応力

#### 4.3.1 荷重条件 (L04)

制御棒案内管に働く外荷重を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

#### 4.3.2 計算方法

##### (1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{t\ell} = \frac{V}{A} + \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{H}{A}$$

##### (2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

### 4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は、応力を分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求め応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は「応力解析の方針」の5.4節に示す。

## 5. 応力強さの評価

### 5.1 一次一般膜応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 5-1 に示す。

表 5-1 より、供用状態Eの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.5 節に示す許容値を満足する。

### 5.2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価

供用状態Eにおける評価を、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、供用状態Eの一次一般膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.5 節に示す許容値を満足する。

6. 特別な評価

6.1 圧縮応力の評価

制御棒案内管に圧縮応力を発生させる荷重は、「応力解析の方針」の 4.4.1 項の表 4-1(6)に示す鉛直力である。これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

6.1.1 計算データ

外径 :  $D_o = \boxed{\phantom{0000}} \text{ mm}$

内径 :  $D_i = D_o - 2 \cdot t$

$= \boxed{\phantom{0000}}$

断面積 :  $A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_o^2 - D_i^2)$

$= \boxed{\phantom{0000}}$

6.1.2 圧縮応力

重大事故等時の条件での圧縮応力は、次のように求める。

供用状態 E

$$\sigma_c = \frac{V}{A} = \boxed{\phantom{0000}}$$

= 5 MPa

6.1.3 許容圧縮応力

重大事故等時の条件での許容圧縮応力は、次のように求める。

供用状態 E における許容圧縮応力は、次の 2 つの値のうち小さい方の値を用いる。

$2.0 \cdot S_m = 229 \text{ MPa}$

$2.0 \cdot B = 111 \text{ MPa}$

(供用状態 E の温度  $\boxed{\phantom{0000}} \text{ }^\circ\text{C}$  における値)

ここで、B 値は次のようにして求める。

設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図 11 より、

$$\frac{0.125}{R_o / t} = \frac{0.125}{\boxed{\phantom{0000}} / \boxed{\phantom{0000}}} = 0.0038$$

を用いて、

$2.0 \cdot B = 111 \text{ MPa}$

ゆえに、許容圧縮応力は継手効率を考慮し、

$\sigma_{ca} = 55 \text{ MPa}$

#### 6.1.4 圧縮応力の評価

供用状態Eにおける圧縮応力の評価を表 6-1 に示す。

表 6-1 より、供用状態Eにおける圧縮応力は、6.1.3 項に示す許容圧縮応力を満足する。

### 6.2 外圧の評価

ボディに作用する外圧の評価を行う。

#### 6.2.1 外圧

重大事故等時の条件における外圧を「応力解析の方針」の4章の図 4-1 に示す。

#### 6.2.2 許容外圧

供用状態Eにおける許容外圧を次に示す。

(単位：MPa)

条件	許容外圧
供用状態E	$2.0 \cdot \frac{4 \cdot B^* \cdot t}{3 \cdot D_o} = 0.89$

注記 \*：設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図 11 より

求めた供用状態Eの温度  °CにおけるBの値

=22 MPa

#### 6.2.3 外圧の評価

供用状態Eにおける外圧の評価を表 6-2 に示す。

表 6-2 より、供用状態Eにおける外圧は6.2.2 項に示す許容外圧を満足する。

表 4-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D <sub>o</sub> (mm)	D <sub>i</sub> (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	I (mm <sup>4</sup> )
P01, P02					
P03, P04					

表 5-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	供用状態E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	10	124*
P01' P02'	10	124*
P03 P04	9	130*
P03' P04'	9	130*

注記 \*：継手効率  を乗じた値を示す。



表 5-2 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力 評価面	供用状態 E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	10	186*
P01' P02'	10	186*
P03 P04	9	195*
P03' P04'	9	195*

注記 \*：継手効率  を乗じた値を示す。

表 6-1 圧縮応力の評価

(単位：MPa)

条件	圧縮応力	許容圧縮応力
供用状態E	5	55

表 6-2 外圧の評価

(単位：MPa)

条件	外圧 $P_{13}$	許容外圧 $P_a$
供用状態E		0.89