

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-970 改2
提出年月日	平成30年9月14日

V-2-3-3-2-2 炉心シュラウドの耐震性についての計算書

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	運転条件	5
2.3	重大事故等時の条件	5
2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	5
2.5	材料	5
2.6	物性値	5
2.7	荷重の組合せと応力評価	5
2.8	許容限界	5
2.9	応力の記号と方向	5
3.	外荷重の条件	6
3.1	死荷重	6
3.2	地震荷重	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, L14 及び L16)	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	7
5.1	一次一般膜応力強さの評価	7
5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7
6.	特別な評価	8
6.1	支圧応力の評価	8
6.1.1	支圧面積	8
6.1.2	支圧荷重	8
6.1.3	平均支圧応力	8

6.1.4	支圧応力の評価	8
6.2	座屈に対する評価	9
6.2.1	計算データ	9
6.2.2	許容値	9
6.2.3	座屈に対する評価	10

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 6-1	支圧荷重の支持面	11
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	断面性状	12
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	13
表 5-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	14
表 6-1	支圧応力の評価	15
表 6-2	座屈に対する評価	15

1. 一般事項

本計算書は、炉心シュラウドの耐震性についての計算書である。

炉心シュラウドは、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 ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
R _o	外半径	mm
R	平均半径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
t	厚さ	mm
σ _b	平均支圧応力	MPa
σ _{b a}	許容支圧応力	MPa
g	重力加速度	m/s ²

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

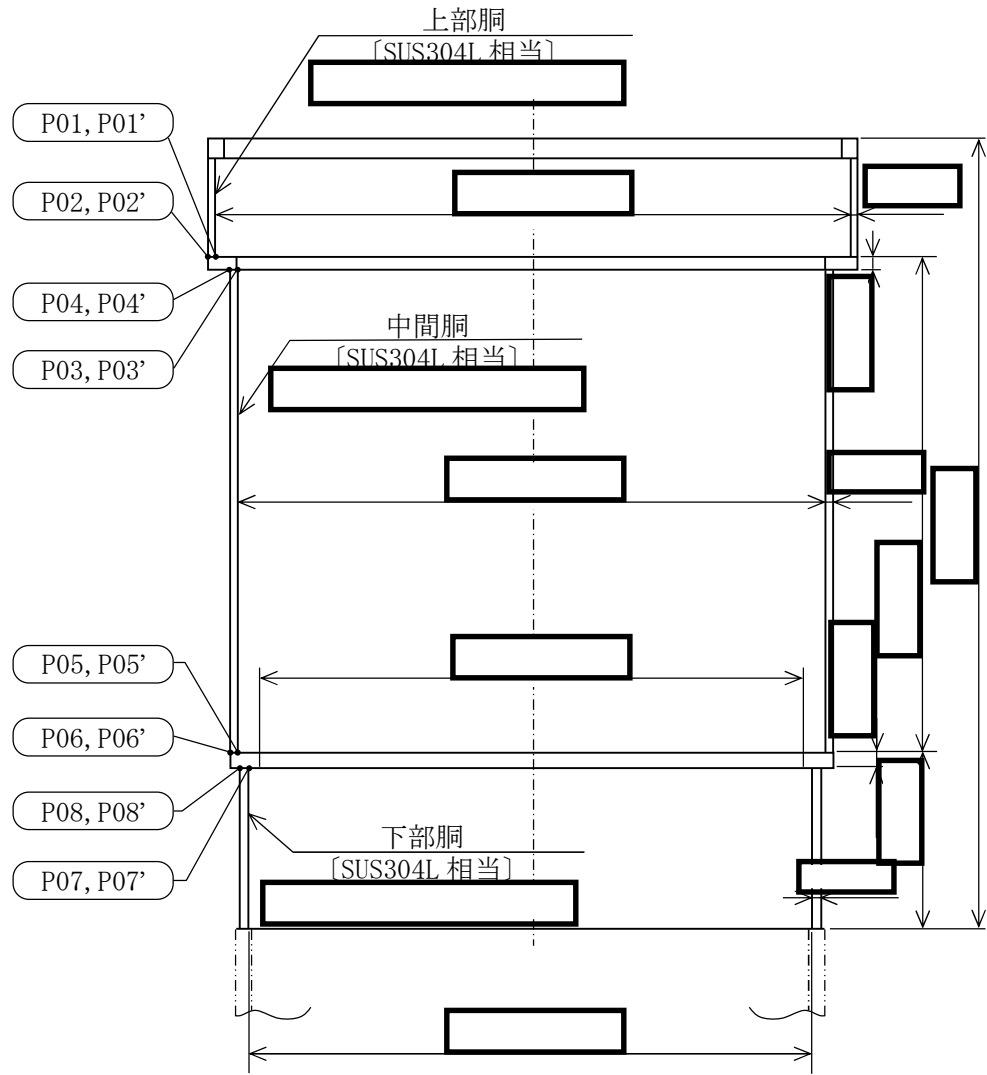
解析範囲を図1-1に示す。

なお、下部胴とシュラウドサポートとの接合部の応力解析及び評価は、添付書類「V-2-3-3-2-3 シュラウドサポートの耐震性についての計算書」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。



- : 応力評価点
- [] : J I S 相当材
- () : 材 料

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	許容応力状態	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
上部胴 SUS304L	Ⅲ _A S	18	94	P01'-P02'	18	141	P01'-P02'
	Ⅳ _A S	25	150	P01'-P02'	25	226	P01'-P02'
中間胴 SUS304L	Ⅲ _A S	45	94	P05'-P06'	45	141	P05'-P06'
	Ⅳ _A S	68	150	P05'-P06'	68	226	P05'-P06'
下部胴 SUS304L	Ⅲ _A S	51	94	P07'-P08'	51	141	P07'-P08'
	Ⅳ _A S	75	150	P07'-P08'	75	226	P07'-P08'

表 1-1(2) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	支圧応力(MPa)	
		平均支圧応力	許容値
上部格子板支持面 SUS304L	Ⅲ _A S	2	163
	Ⅳ _A S	3	217
炉心支持板支持面 SUS304L	Ⅲ _A S	1	163
	Ⅳ _A S	1	217

表 1-1(3) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	座屈に対する評価	
		座屈応力 との比	許容値
下部胴 SUS304L	Ⅲ _A S	0.36	1.0
	Ⅳ _A S	0.56	1.0

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 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

2.3 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。

2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態は、「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

2.5 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.6 物性値

物性値は、「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.7 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。

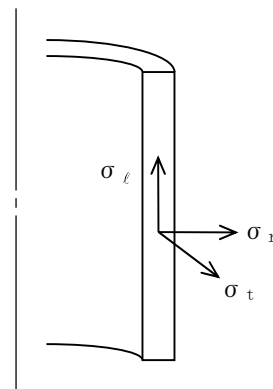
2.8 許容限界

許容限界は、「応力解析の方針」の 3.5 節に示す。

2.9 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。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力
- $\tau_{\ell r}$: せん断応力



3. 外荷重の条件

3.1 死荷重

炉心シュラウド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。

3.2 地震荷重

炉心シュラウドの評価に用いる地震荷重を「応力解析の方針」の 4.4.3 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)

各運転条件による差圧を「応力解析の方針」の 4 章の図 4-1 に示す。

計算は、設計差圧に対して行い、各許容応力状態での応力は、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 による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P$$

$$\sigma_l = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P$$

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

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, L14 及び L16)

炉心シュラウドに働く外荷重を「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。

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

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

(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

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-1 に示す。

表 5-1 より、各許容応力状態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

各許容応力状態における評価をまとめて、表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜＋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

炉心シュラウドの上部格子板支持面及び炉心支持板支持面には、鉛直荷重により支圧応力が生じるため、支圧応力の評価を行う。

また、J E A G 4 6 0 1・補-1984 を用いて炉心シュラウド下部胴について、地震時の軸圧縮荷重と曲げモーメントによる座屈に対する評価を行う。

6.1 支圧応力の評価

6.1.1 支圧面積

- (1) 上部格子板支持面 (図 6-1(1) 参照)

上部格子板支持面の支圧荷重を受ける面積は次のようになる。



- (2) 炉心支持板支持面 (図 6-1(2) 参照)

炉心支持板支持面の支圧荷重を受ける面積は次のようになる。



6.1.2 支圧荷重

各運転条件における上部格子板支持面及び炉心支持板支持面に作用する鉛直力を「応力解析の方針」の 4.4 節の表 4-1(1) (荷重作用点 F 及び G) に示す。

6.1.3 平均支圧応力

平均支圧応力 σ_b は、次式により求める。

$$\sigma_b = \frac{V}{A}$$

6.1.4 支圧応力の評価

各許容応力状態における支圧応力の評価を表 6-1 に示す。

表 6-1 より、各許容応力状態における平均支圧応力は、「応力解析の方針」の 3.5 節の表 3-4(4) に示す許容値を満足する。

6.2 座屈に対する評価

地震荷重を考慮し、J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 を用いて、軸圧縮荷重及び曲げモーメントに対する評価を実施する。

6.2.1 計算データ

内径 : $D_i =$

外径 : $D_o = D_i + 2 \cdot t$

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

断面二次モーメント : $I = \frac{\pi}{64} \cdot (D_o^4 - D_i^4)$

6.2.2 許容値

許容応力状態Ⅲ_AS及びⅣ_ASにおいて圧縮応力の座屈応力 (f_c) に対する比と曲げ応力の座屈応力 (f_b) に対する比の和が 1 以下であることを示す。座屈に対する評価は次式による。

$$\frac{\alpha \cdot \left(\frac{V}{A} \right)}{f_c} + \frac{\alpha \cdot \left(\frac{M \cdot D_o}{I \cdot 2} \right)}{f_b} \leq 1.0$$

ここで、

f_c : 軸圧縮荷重に対する座屈応力で次の計算式により計算した値

$$\eta < \eta_1 \text{ より}$$

$$f_c = F = 146 \text{ MPa}$$

f_b : 曲げモーメントに対する座屈応力で次の計算式により計算した値

$$\eta < \eta_1 \text{ より}$$

$$f_b = F = 146 \text{ MPa}$$

α : 安全率で次の値

$$\eta < \eta_1 \text{ より}$$

$$\alpha = 1$$

ここで,

$$\eta : R / t = \boxed{} = 49.6880$$

$$\eta_1 : 1200 \cdot g / F = 1200 \times 9.80665 / 146 = 80.6026$$

F は、以下の3つの値のうち小さい方の値を用いる。

$$1.35 \cdot S_y = 146 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態 A 及び B の最高温度 } \boxed{} \text{ C における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = 253 \text{ MPa} \quad (\text{供用状態 A 及び B の最高温度 } \boxed{} \text{ C における値})$$

$$S_y = 175 \text{ MPa} \quad (\text{室温における値})$$

したがって、 $F = 146 \text{ MPa}$ とする。

6.2.3 座屈に対する評価

評価に用いる応力は、圧縮応力については死荷重及び地震荷重による鉛直力を、曲げ応力については地震荷重によるモーメントを考慮する。それぞれの荷重を「応力解析の方針」表 4-1(1)に示す。

許容応力状態Ⅲ_AS 及びⅣ_AS における座屈に対する評価を表 6-2 に示す。

表 6-2 より、許容応力状態Ⅲ_AS 及びⅣ_AS における応力は、J E A G 4 6 0 1・補-1984 の座屈に対する評価式を満足する。

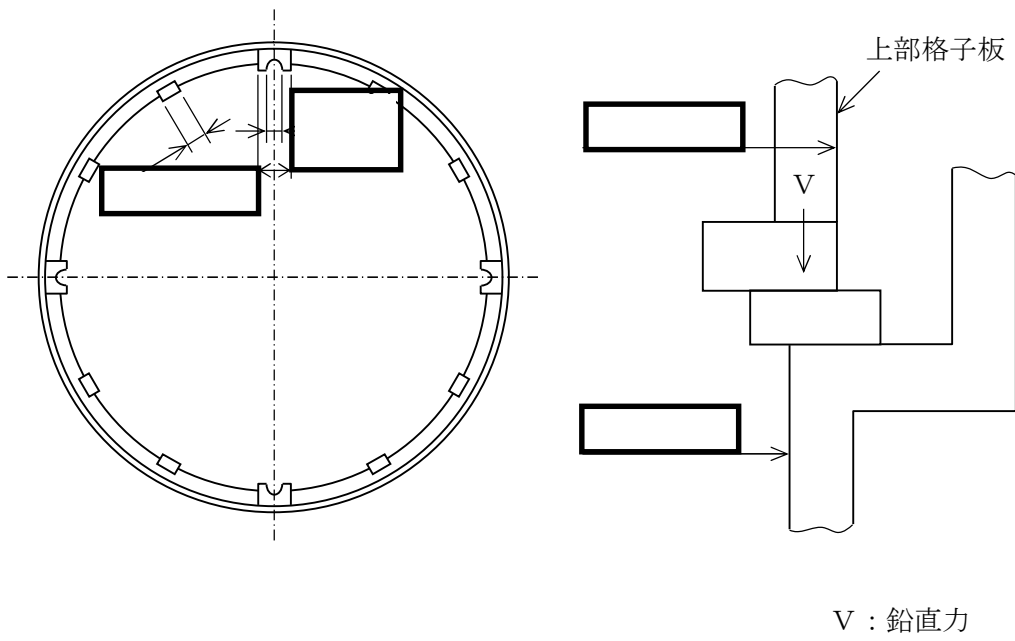


図 6-1(1) 支圧荷重の支持面 (上部格子板) (単位 : mm)

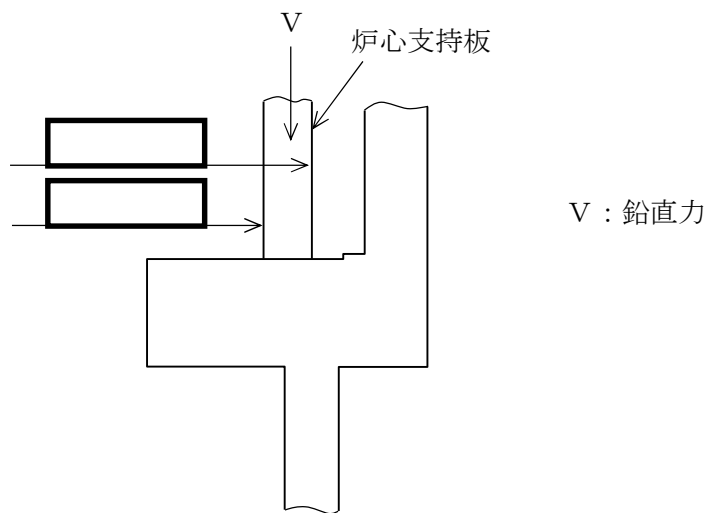


図 6-1(2) 支圧荷重の支持面 (炉心支持板) (単位 : mm)

表 4-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, P02				
P03, P04				
P05, P06				
P07, P08				

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	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	16	94*	22	150*
P01' P02'	18	94*	25	150*
P03 P04	18	94*	27	150*
P03' P04'	21	94*	31	150*
P05 P06	41	94*	62	150*
P05' P06'	45	94*	68	150*
P07 P08	47	94*	69	150*
P07' P08'	51	94*	75	150*

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	許容応力状態 Ⅲ _A S		許容応力状態 Ⅳ _A S	
	応力 強さ	許容値	応力 強さ	許容値
P01 P02	16	141*	22	226*
P01' P02'	18	141*	25	226*
P03 P04	18	141*	27	226*
P03' P04'	21	141*	31	226*
P05 P06	41	141*	62	226*
P05' P06'	45	141*	68	226*
P07 P08	47	141*	69	226*
P07' P08'	51	141*	75	226*

注記 *：継手効率 を乗じた値を示す。

表 6-1(1) 支圧応力の評価

応力評価面 : 上部格子板支持面 (単位 : MPa)

条件	平均支圧応力 σ_b	許容支圧応力 σ_{ba}
許容応力状態Ⅲ _A S	2	163
許容応力状態Ⅳ _A S	3	217

表 6-1(2) 支圧応力の評価

応力評価面 : 炉心支持板支持面 (単位 : MPa)

条件	平均支圧応力 σ_b	許容支圧応力 σ_{ba}
許容応力状態Ⅲ _A S	1	163
許容応力状態Ⅳ _A S	1	217

表 6-2 座屈に対する評価

応力評価部位 : 下部胴

条件	座屈応力 との比	許容値
許容応力状態Ⅲ _A S	0.36	1.0
許容応力状態Ⅳ _A S	0.56	1.0