

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-994 改3
提出年月日	平成30年9月6日

V-2-3-4-4-2 蒸気乾燥器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	2
1.3 形状・寸法・材料	2
1.4 解析範囲	2
1.5 計算結果の概要	2
2. 計算条件	8
2.1 設計条件	8
2.2 運転条件	8
2.3 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
2.4 材料	8
2.5 物性値	8
2.6 荷重の組合せと応力評価	8
2.7 許容限界	8
2.8 応力の記号と方向	8
3. 外荷重の条件	9
3.1 死荷重	9
3.2 地震荷重	9
4. 応力計算	9
4.1 応力評価点	9
4.2 差圧による応力	9
4.2.1 荷重条件 (L02)	9
4.2.2 計算方法	9
4.3 外荷重による応力	11
4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)	11
4.3.2 計算方法	11
4.4 応力の評価	12
5. 応力強さの評価	13
5.1 一次一般膜応力強さの評価	13
5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	13
6. 特別な評価	14
6.1 純せん断応力の評価	14
6.1.1 計算データ及び荷重	14
6.1.2 計算方法	14
6.1.3 純せん断応力の評価	14

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3
図 4-1	解析モデル	15
表 1-1	計算結果の概要	6
表 4-1	断面性状	16
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	17
表 5-2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	18
表 6-1	純せん断応力の評価	19

1. 一般事項

本計算書は、蒸気乾燥器の耐震性についての計算書である。

蒸気乾燥器は、原子炉压力容器内部構造物であるため、添付書類「V-2-3-4-4-1 原子炉压力容器内部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	ユニットサポートの断面積	mm ²
A ₀	耐震サポートのせん断断面積	mm ²
b	受圧幅	mm
e ₁	中立軸から各応力評価点までの距離	mm
e ₂	中立軸から各応力評価点までの距離	mm
e ₃	中立軸から各応力評価点までの距離	mm
e ₄	中立軸から各応力評価点までの距離	mm
F ₁	ユニットサポートに働くせん断力	N
F ₂	ユニットサポートに働くせん断力	N
F ₃	ユニットサポートに働くせん断力	N
F ₄	ユニットサポートに働くせん断力	N
F ₅	ユニットサポートに働くせん断力	N
h	受圧高さ	mm
I _y	ユニットサポートの断面二次モーメント	mm ⁴
I _z	ユニットサポートの断面二次モーメント	mm ⁴
L	最長蒸気乾燥器ユニット列の全長	mm
ℓ	最長蒸気乾燥器ユニット長さ	mm
M ₁	ユニットサポートに働くモーメント	N・mm
M ₂	ユニットサポートに働くモーメント	N・mm
M ₃	ユニットサポートに働くモーメント	N・mm
M ₄	ユニットサポートに働くモーメント	N・mm
M ₅	ユニットサポートに働くモーメント	N・mm
w ₁	ユニット列に働く単位長さ当たりの分布荷重	N/mm
w ₂	ユニット列に働く単位長さ当たりの分布荷重	N/mm
w ₃	ユニット列に働く単位長さ当たりの分布荷重	N/mm
w ₄	ユニット列に働く単位長さ当たりの分布荷重	N/mm
w ₅	ユニット列に働く単位長さ当たりの分布荷重	N/mm
τ _a	許容せん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
l_1	耐震サポート溶接部長さ	mm
l_2	耐震サポート溶接部長さ	mm
l_3	耐震サポート溶接部長さ	mm
l_4	耐震サポート溶接部長さ	mm
b_1	耐震サポート溶接部脚長	mm
b_2	耐震サポート溶接部脚長	mm

1.2 適用基準

適用基準は、「応力解析の方針」の3.1節に示す。

1.3 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・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。

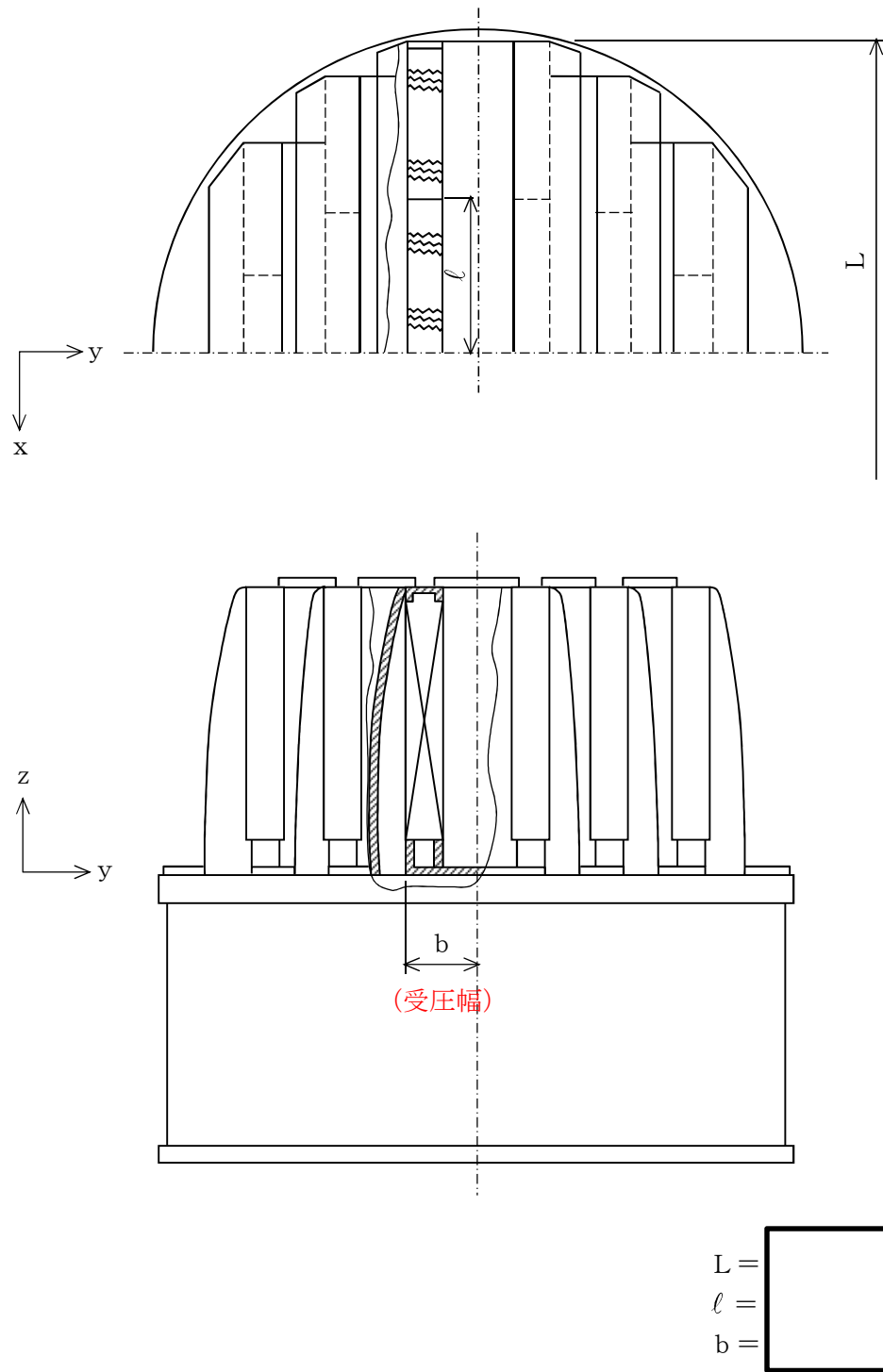


图 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (蒸気乾燥器) (単位 : mm)

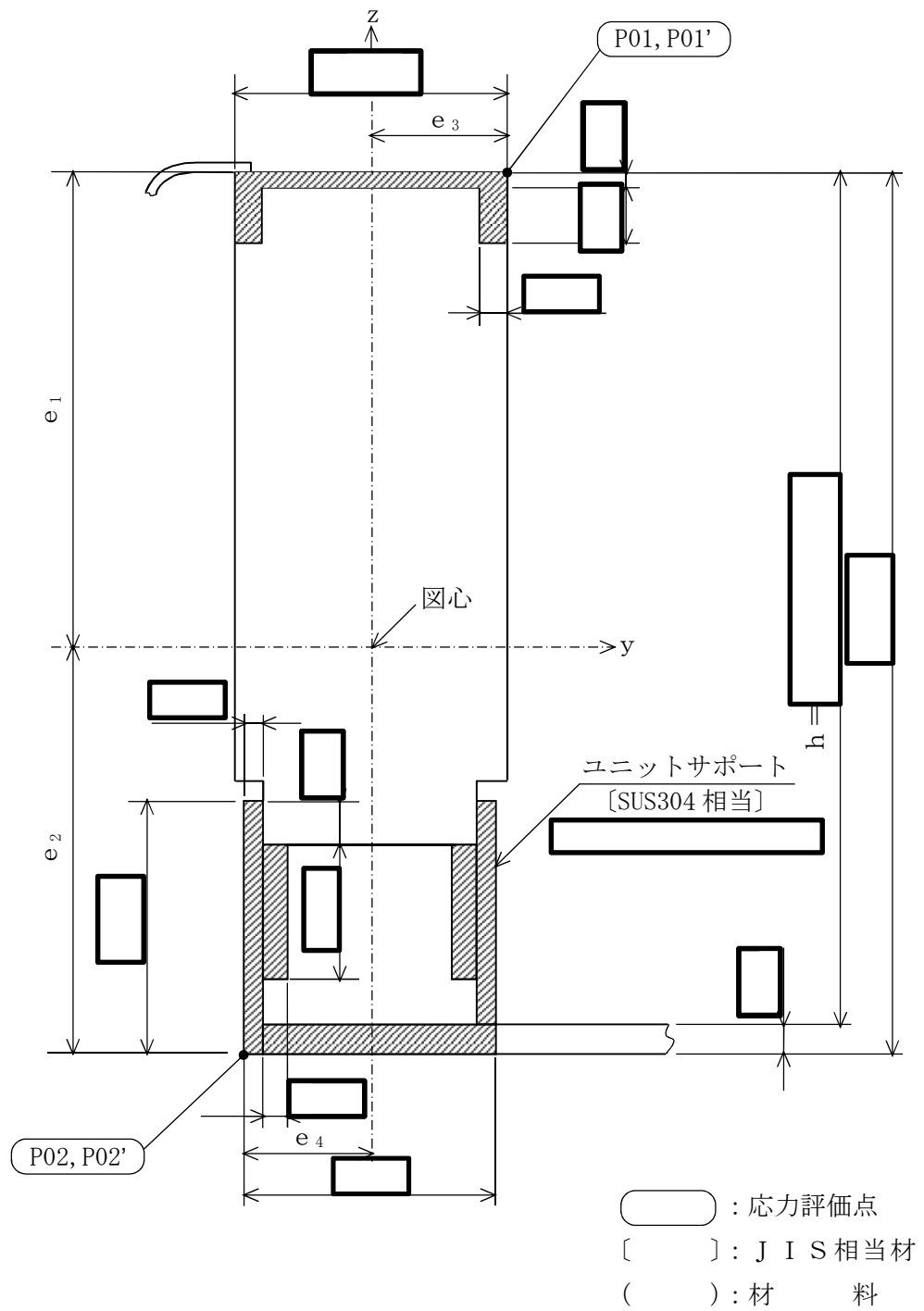


図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点
(ユニット及びユニットサポート) (単位: mm)

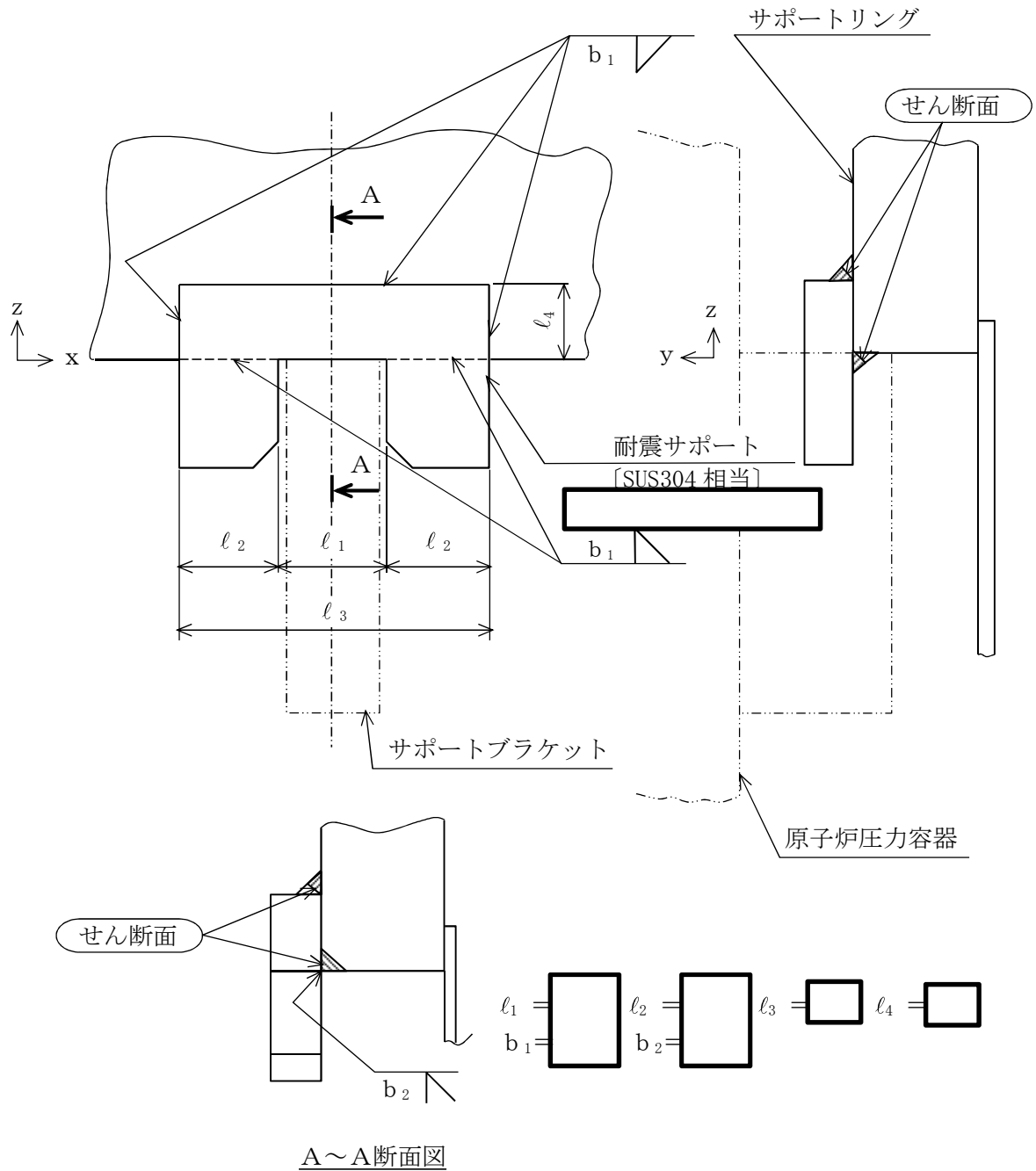


図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点 (耐震サポート) (単位: mm)

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	応力評価点
ユニットサポート SUS304	Ⅲ _A S	2	172	P01-P02	10	258	P01'
	Ⅳ _A S	3	260	P01-P02	15	391	P01'

表 1-1(2) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	純せん断応力 (MPa)	
		平均せん断応力	許容値
耐震サポート SUS304	Ⅲ _A S	39	61
	Ⅳ _A S	63	82

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 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3.5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3.4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3.6節に示す。

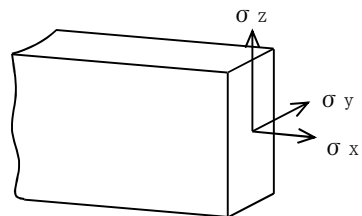
溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.7節に示す。

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。

なお、主応力の算出は、「応力解析の方針」の5.4.1項に示される式において σ_t 、 σ_l 、 σ_r 、 τ_{tl} をそれぞれ σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} に添字を置き換えて求める。

- σ_x : x 方向応力
- σ_y : y 方向応力
- σ_z : z 方向応力
- τ_{xy} : せん断応力



3. 外荷重の条件

3.1 死荷重

蒸気乾燥器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

蒸気乾燥器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(2)及び(3)に示す。

また、各応力評価点の断面性状を表 4-1 に示す。

蒸気乾燥器には、6 列の蒸気乾燥器ユニット列が配置されているが、このうち最大応力の生じる最長のものについて評価する。

なお、強度は、図 1-1(2)の斜線で示した部分（ユニットサポート）が有効であるものとして評価する。

耐震サポートについては、6 章で純せん断応力の評価を行う。

4.2 差圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L02)

各運転条件における差圧を「応力解析の方針」の 4.1 節に示す。

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

差圧 P_{59} による応力は、以下により求める。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を、図 4-1 に示す。

(1) 差圧による荷重

a. 鉛直方向荷重

ユニット列にかかる鉛直方向、単位長さ当たりの分布荷重 w_1 は、次式で求める。

$$w_1 = P_{59} \cdot b$$

b. 水平方向荷重

ユニット列にかかる水平方向、単位長さ当たりの分布荷重 w_2 は、次式で求める。

$$w_2 = P_{59} \cdot h$$

(2) 中央部及び端部のモーメント，せん断力

a. 中央部

ユニット列全長の中央部のユニットサポートにかかるモーメント M_1 及びせん断力 F_1 は，次式で求める。

$$M_1 = \frac{w_1 \cdot L^2}{8}$$

$$F_1 = 0$$

b. 端部

各ユニットの端部のユニットサポートにかかるモーメント M_2 及びせん断力 F_2 は，次式で求める。

$$M_2 = \frac{w_2 \cdot \ell^2}{12}$$

$$F_2 = \frac{w_2 \cdot \ell}{2}$$

(3) 一次一般膜応力

$$\begin{array}{l} P01 \text{ 及び } P01' \\ P02 \text{ 及び } P02' \end{array} : \tau_{xy} = \frac{F_2}{A}$$

(4) 一次曲げ応力

$$P01 \text{ 及び } P01' : \sigma_x = \frac{M_1}{I_y} \cdot e_1 + \frac{M_2}{I_z} \cdot e_3$$

$$P02 \text{ 及び } P02' : \sigma_x = -\frac{M_1}{I_y} \cdot e_2 - \frac{M_2}{I_z} \cdot e_4$$

4.3 外荷重による応力

4.3.1 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

蒸気乾燥器ユニット列に働く外荷重を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

4.3.2 計算方法

外荷重による応力は、以下により求める。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図 4-1 に示す。

(1) 死荷重 (L04)

- a. ユニット列にかかる鉛直方向，単位長さ当たりの分布荷重 w_3 は，次式で求める。

$$w_3 = \frac{V_2}{L}$$

- b. ユニット列全長の中央部のユニットサポートにかかるモーメント M_3 及びせん断力 F_3 は，次式で求める。

$$M_3 = \frac{w_3 \cdot L^2}{8}$$

$$F_3 = 0$$

- c. 一次曲げ応力

$$P01 \text{ 及び } P01' : \sigma_x = -\frac{M_3}{I_y} \cdot e_1$$

$$P02 \text{ 及び } P02' : \sigma_x = \frac{M_3}{I_y} \cdot e_2$$

なお，せん断力 $F_3 = 0$ であることより，一次一般膜応力は発生しない。

(2) 地震荷重 S_d^* , S_s (L14, L16)

- a. 地震荷重 S_d^* , S_s による荷重

(a) 鉛直方向荷重

ユニット列にかかる鉛直方向，単位長さ当たりの分布荷重 w_4 は，次式で求める。

$$w_4 = \frac{V_2}{L}$$

(b) 水平方向荷重

ユニット列にかかる水平方向，単位長さ当たりの分布荷重 w_5 は，次式で求める。

$$w_5 = \frac{H_2}{L}$$

b. 中央部及び端部のモーメント，せん断力

(a) 中央部

ユニット列全長の中央部のユニットサポートにかかるモーメント M_4 及びせん断力 F_4 は，次式で求める。

$$M_4 = \frac{w_4 \cdot L^2}{8}$$

$$F_4 = 0$$

(b) 端部

各ユニット端部のユニットサポートにかかるモーメント M_5 及びせん断力 F_5 は，次式で求める。

$$M_5 = \frac{w_5 \cdot \ell^2}{12}$$

$$F_5 = \frac{w_5 \cdot \ell}{2}$$

c. 一次一般膜応力

$$\begin{array}{l} P01 \text{ 及び } P01' \\ P02 \text{ 及び } P02' \end{array} : \tau_{xy} = \frac{F_5}{A}$$

d. 一次曲げ応力

$$P01 \text{ 及び } P01' : \sigma_x = \frac{M_4}{I_y} \cdot e_1 + \frac{M_5}{I_z} \cdot e_3$$

$$P02 \text{ 及び } P02' : \sigma_x = \frac{M_4}{I_y} \cdot e_2 + \frac{M_5}{I_z} \cdot e_4$$

4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力は，応力の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 3.6 節及び 3.7 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 3.6 節及び 3.7 節に示す許容値を満足する。

6. 特別な評価

耐震サポートには，地震荷重 S_d^* (L14)，地震荷重 S_s (L16) の水平力 H_1 により，純せん断応力が生じるため，純せん断応力の評価を行う。

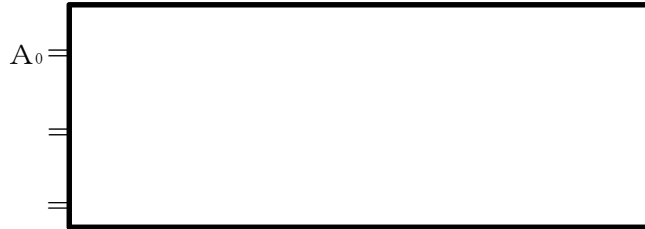
6.1 純せん断応力の評価

耐震サポートには，水平力 H_1 により純せん断応力が生じる。

6.1.1 計算データ及び荷重

(1) 計算データ

耐震サポート溶接部のせん断断面積 (図 1-1(3) 参照)



(2) 荷重

各運転条件における水平力を，「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

6.1.2 計算方法

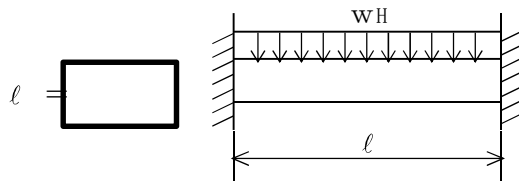
せん断面に発生する平均せん断応力 τ は，

$$\tau = \square$$

6.1.3 純せん断応力の評価

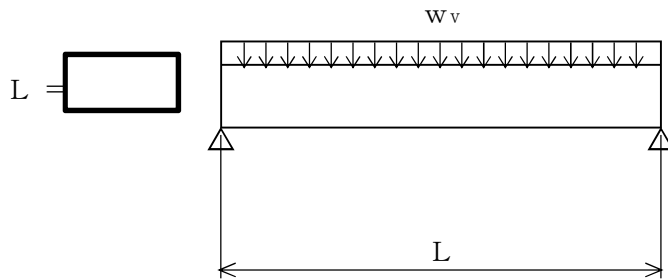
各許容応力状態における純せん断応力の評価を表 6-1 に示す。

表 6-1 より，各許容応力状態における平均せん断応力は，「応力解析の方針」の表 3-5(3)及び 3.7 節に示す許容値を満足する。



w_H : 水平方向分布荷重 (w_2 又は w_5)

図 4-1(1) 解析モデル (水平方向荷重) (単位 : mm)



w_V : 鉛直方向分布荷重 (w_1, w_3, w_4)

図 4-1(2) 解析モデル (鉛直方向荷重) (単位 : mm)

表4-1 断面性状

応力評価点	b (mm)	h (mm)	L (mm)	ℓ (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	e_3 (mm)	e_4 (mm)	A (mm ²)	I _y (mm ⁴)	I _z (mm ⁴)
P01, P01'											
P02, P02'											

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	2	172	3	260
P01' P02'	0	172	1	260

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 評価点	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	4	258	10	391
P01'	10	258	15	391
P02	4	258	6	391
P02'	4	258	6	391

表 6-1 純せん断応力の評価

(単位：MPa)

状態	平均せん断応力 τ	許容せん断応力 τ_a
許容応力状態Ⅲ _A S	39	61*
許容応力状態Ⅳ _A S	63	82*

注記 *：継手効率 を乗じた値を示す。