

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- 993 改0
提出年月日	平成30年 8月 7日

V-3-3-2-2 差圧検出・ほう酸水注入管（ティーよりN10ノズル
までの外管）の応力計算書

目次

1.	概要	1
1.1	構造の説明	1
1.2	記号の説明	3
1.3	適用基準	4
1.4	形状・寸法・材料	4
1.5	解析範囲	4
1.6	計算結果の概要	4
2.	計算条件	7
2.1	設計条件	7
2.2	重大事故等時の条件	7
2.3	荷重の組合せと応力評価	7
2.4	材料	7
2.5	物性値	7
2.6	荷重の組合せ及び供用状態	7
2.7	許容応力	8
2.8	応力の記号と方向	8
3.	応力解析の手順	9
3.1	解析手順の概要	9
3.2	荷重条件の選定	9
3.3	応力計算と応力の分類	9
3.3.1	応力計算の方法	9
3.3.2	応力の分類	9
3.4	応力の評価	9
3.4.1	主応力	9
3.4.2	応力強さ	10
3.4.3	一次応力強さ	10
4.	応力計算	11
4.1	応力評価点	11
4.2	内圧による応力	11
4.2.1	荷重条件 (L01)	11
4.2.2	計算方法	11
4.3	外荷重による応力	12
4.3.1	荷重条件 (L04)	12
4.3.2	計算方法	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 一次膜+一次曲げ応力強さの評価	13
6. 引用文献	14

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	5
図 3-1	応力解析の手順	15
表 1-1	差圧検出・ほう酸水注入管の構造計画	2
表 1-2	計算結果の概要	6
表 2-1	外荷重	16
表 2-2	荷重の組合せ	17
表 2-3	材料の分類	18
表 2-4	荷重の組合せ及び供用状態	19
表 2-5	許容応力	20
表 3-1	応力の分類	22
表 4-1	断面性状	23
表 5-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	24
表 5-2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	25

1. 概要

本計算書は、「V-3-1-6 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」に基づいて、差圧検出・ほう酸水注入管（ティーより N10 ノズルまでの外管）（以下「差圧検出・ほう酸水注入管」という。）の応力計算を行う。

1.1 構造の説明

差圧検出・ほう酸水注入管の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1 差圧検出・ほう酸水注入管の構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図
	基礎・支持構造	主体構造	
差圧検出・ほう酸水注入管	原子炉圧力容器ノズルに溶接され、制御棒駆動機構ハウジングにUボルトにて支持される。	差圧検出管が外管、ほう酸水注入管が内管の二重構造となっている。	<p>原子炉圧力容器ノズル</p> <p>差圧検出・ほう酸水注入管</p> <p>制御棒駆動機構ハウジング</p>

1.2 記号の説明

本計算書において、下記の記号を使用する。ただし、本文中に別途記載ある場合は、この限りではない。

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
I	断面二次モーメント	mm ⁴
F _L	軸力	N
F _S	せん断力	N
M	曲げモーメント	N・mm
P _b	一次曲げ応力	MPa
P _L	一次局部膜応力	MPa
P _m	一次一般膜応力	MPa
S ₁₂	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S ₂₃	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S ₃₁	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S _m	設計応力強さ	MPa
S _u	設計引張強さ	MPa
T	ねじりモーメント	N・mm
t	厚さ	mm
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ^l	軸方向応力	MPa
σ^r	半径方向応力	MPa
σ^t	周方向応力	MPa
τ^{lr}	せん断応力	MPa
τ^{rt}	せん断応力	MPa
τ^{tl}	せん断応力	MPa

1.3 適用基準

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 2007年）（以下「設計・建設規格」という。）を適用する。

注：本計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△△△(◇)a. (a)」として示す。

1.4 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。

1.5 解析範囲

応力計算は、図1-1に示す応力評価点について行う。

1.6 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-2に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続、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。

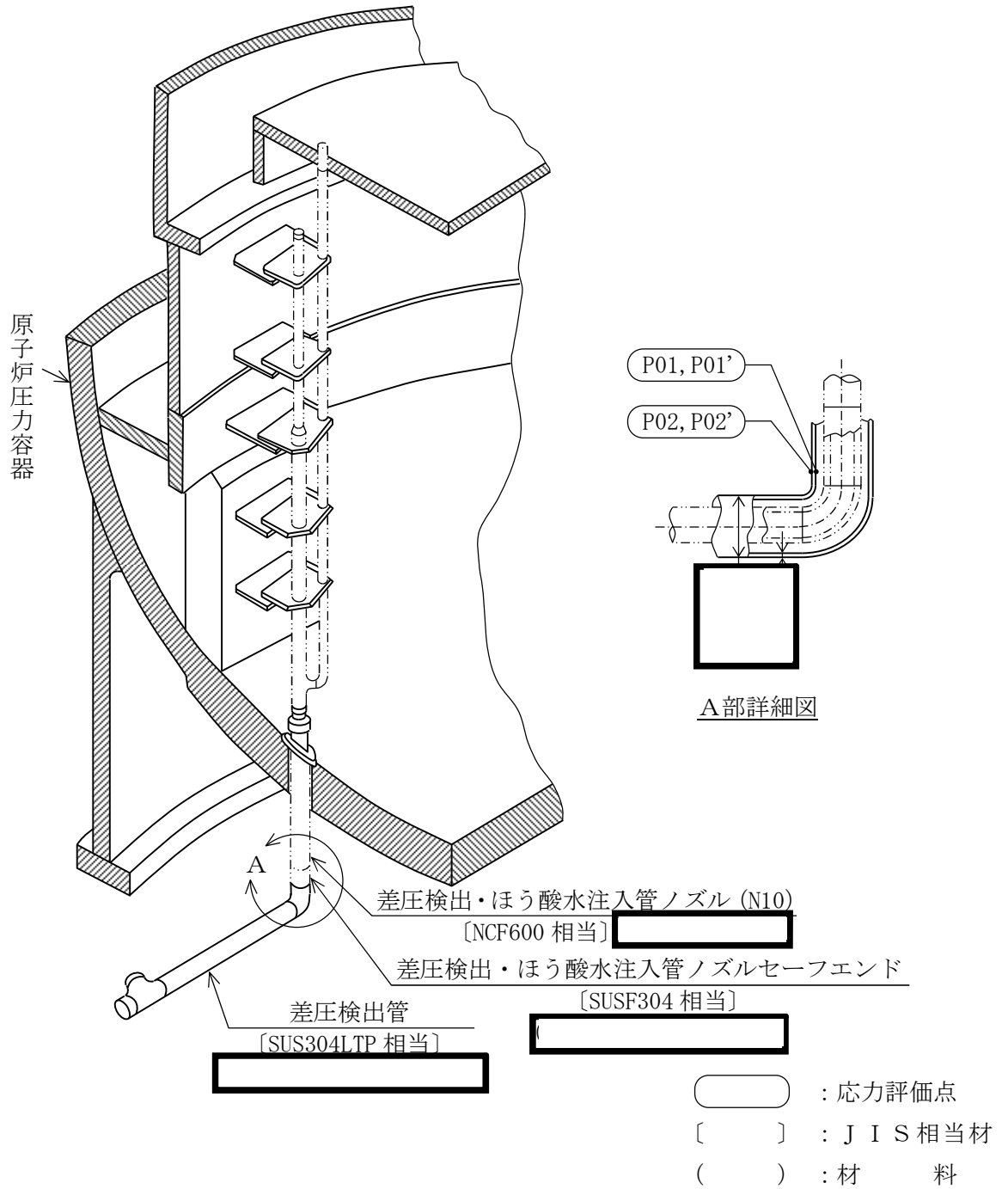


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位 : mm)

表 1-2 計算結果の概要

部分及び材料	供用状態	一次一般膜応力 (MPa)			一次膜＋一次曲げ応力 (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
差圧検出管 SUS304LTP	E	37	232	P01-P02	37	323	P01-P02

2. 計算条件

差圧検出・ほう酸水注入管は、以下の荷重条件に耐えるように設計する。
機器の応力解析には本章に示す荷重を考慮する。

2.1 設計条件

原子炉压力容器の最高使用圧力 : 8.62 MPa
最高使用温度 : 302 °C

2.2 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：設計条件と同じ。

圧力条件：設計条件と同じ。

外荷重 : 表 2-1 に示す。

2.3 荷重の組合せと応力評価

荷重の組合せと応力評価項目の対応を表 2-2 に示す。表 2-2 及び本計算書において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

荷重	記号
(1) 原子炉压力容器の内圧	[L01]
(2) 死荷重 (機器の自重により生じる荷重)	[L04]

2.4 材料

材料は、次に示すとおりである。

パイプ : SUS304LTP 相当

2.5 物性値

応力計算に使用する材料は、表 2-3 に従って分類する。

2.6 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、表 2-4 に示すとおりである。また、供用状態 E で考慮する荷重は、2.2 節に示すとおりである。

2.7 許容応力

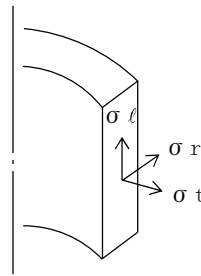
- (1) 設計応力強さ S_m 及び設計引張強さ S_u は、それぞれ設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 及び表 9 に定められたものを使用する。
- (2) 供用状態 E* の一次応力の評価には、運転状態 V における評価温度条件 (302 °C) に対する許容応力を用いる。
- (3) 差圧検出・ほう酸水注入管の重大事故等時の条件の応力評価に用いる許容応力は、設計・建設規格 PVB-3110 により表 2-5 に示すとおりである。

注記 * : 供用状態 E とは、重大事故等時の状態 (運転状態 V) であり、供用状態 D を超える状態である。許容応力の算出式は供用状態 D と同様とする。

2.8 応力の記号と方向

応力の記号と方向は、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
- τ_{tl} : せん断応力



3. 応力解析の手順

応力解析の手順について述べる。

3.1 解析手順の概要

解析手順の概要を図3-1に示す。本図において、内圧による応力とその他の荷重による応力の計算で考慮する荷重を「機械荷重」という。

3.2 荷重条件の選定

応力解析においては、2章に示した荷重条件のうちから、その部分に作用する荷重を選定して計算を行う。それぞれの部分について考慮した荷重を表2-1に示す。

3.3 応力計算と応力の分類

3.3.1 応力計算の方法

- (1) 応力計算は、2.3節に示す荷重の種類ごとに行う。
- (2) 溶接部は、溶接金属に相当する鋼材と同じ物性値及び機械的性質を用いる。
- (3) 構造の不連続を考慮して応力の最も厳しい箇所に応力評価点（面）を選ぶ。なお、軸対称モデル解析において、非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合、荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は [例 P01] と表し、極小となる方位の応力評価点には、プライム（'）を付けて [例 P01'] と表す。

一次応力の評価は、内外面の応力評価点を含む断面（応力評価面）について行う。

3.3.2 応力の分類

応力の計算結果は、表3-1の応力の分類方法に従って分類し、計算を行う。

3.4 応力の評価

3.4.1 主応力

3.3節で計算された応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求める。

組合せ応力は、一般に σ_t , σ_l , σ_r , τ_{tl} , τ_{lr} , τ_{rt} の6成分をもつが、主応力 σ は、

引用文献(1)の1.3.6項により、次式を満足する3根 σ_1 , σ_2 , σ_3 として計算する。

$$\begin{aligned} &\sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_l + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_l + \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{tl}^2 \\ &- \tau_{lr}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_l \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{lr}^2 + \sigma_l \cdot \tau_{rt}^2 + \sigma_r \cdot \tau_{tl}^2 \\ &- 2 \cdot \tau_{tl} \cdot \tau_{lr} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力を求める。

3.4.2 応力強さ

以下の3つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

3.4.3 一次応力強さ

供用状態Eにおいて生じる一次一般膜応力及び一次膜＋一次曲げ応力の応力強さが、2.7節に示す許容値を満足することを示す。

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 内圧による応力

4.2.1 荷重条件 (L01)

重大事故等時の条件における内圧を 2.2 節に示す。

計算は、最高使用圧力に対して行い、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

内圧 P による一次一般膜応力は、次式で求める。

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

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

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

$$\text{ここで, } Y = \frac{D_o}{D_i}$$

(2) 一次膜+一次曲げ応力

内圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次膜+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)

差圧検出・ほう酸水注入管に働く外荷重を表 2-1 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。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot r_m$$

ここで, $r_m = \frac{D_i + D_o}{4}$

(2) 一次膜+一次曲げ応力

外荷重による一次膜+一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\ell} = \frac{F_L}{A} \pm \frac{M}{I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau_{t\ell} = \frac{F_S}{A} + \frac{T}{2 \cdot I} \cdot \frac{D_o}{2}$$

5. 応力強さの評価

5.1 一次一般膜応力強さの評価

一次一般膜応力強さの評価結果をを表 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，2.7 節に示す許容値を満足する。

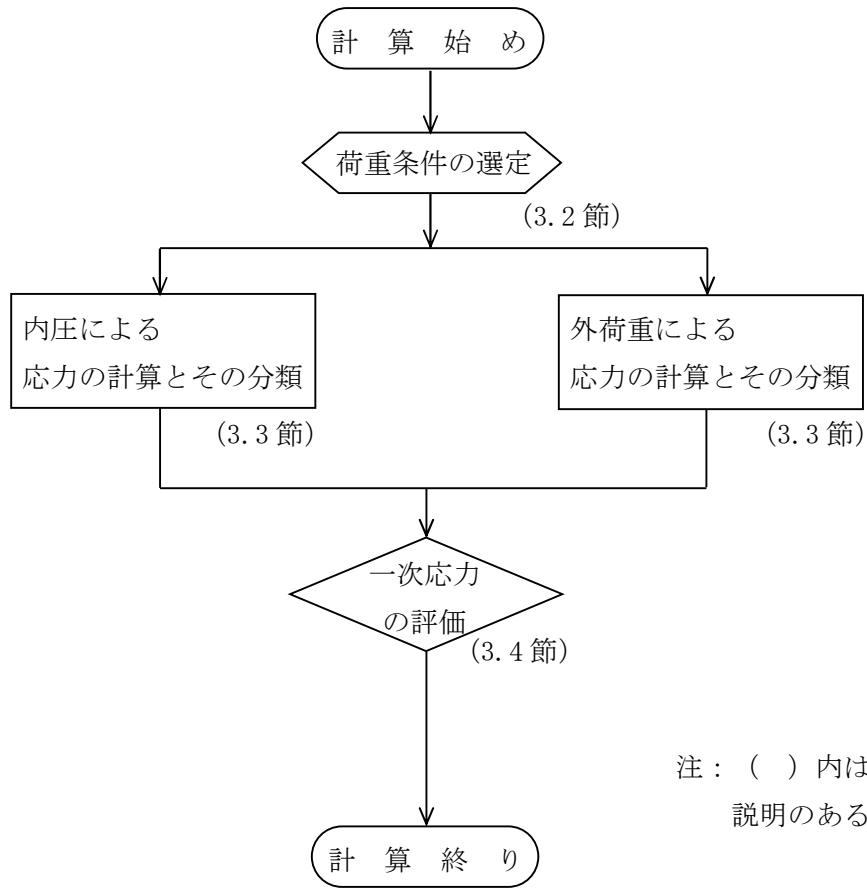
5.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

一次膜＋一次曲げ応力強さの評価結果を表 5-2 に示す。

表 5-2 より，供用状態Eの一次膜＋一次曲げ応力強さは，2.7 節に示す許容値を満足する。

6. 引用文献

- (1) 機械工学便覧 基礎編 α3 (日本機械学会)



注：（ ）内は，本書において説明のある節の番号を示す。

図 3-1 応力解析の手順

表 2-1 外荷重

差圧検出・ほう酸水注入管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F_L (N)	F_s (N)	T (N・mm)	M (N・mm)
L04	死荷重	A				

注：応力評価のための荷重の組合せ方は 2.3 節による。

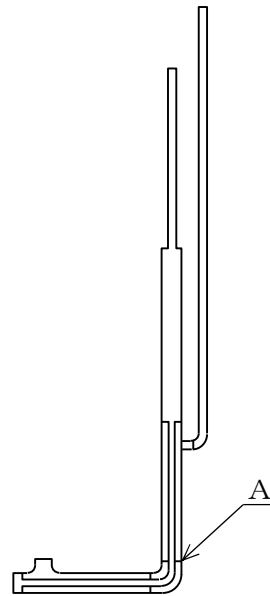
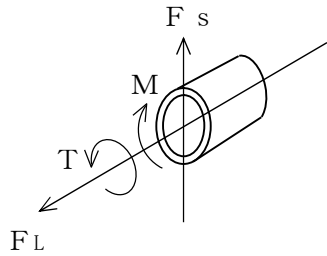


表 2-2 荷重の組合せ

条件	荷重の組合せ	応力評価
供用状態E	L01+L04	P_m $P_L + P_b$

表 2-3 材料の分類

種類	使用材料
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304LTP 相当 <input data-bbox="924 441 1236 488" type="text"/>

表 2-4 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	機器等の区分	供用状態	荷重の組合せ
原子炉 本体	原子炉 圧力容器 付属 構造物	差圧検出・ほう酸水 注入管	重大事故等* クラス 2 配管	E	$D + P_{SA}$

[記号の説明]

D : 死荷重

 P_{SA} : 供用状態 E における圧力

注記 * : 設計・建設規格 PPC-1210 の規定により重大事故等クラス 2 容器の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 2-5(1) 許容応力

(単位 : MPa)

応 力 分 類		一次一般膜応力 (P_m)
供用状態 (許容応力状態)		E
温 度 ($^{\circ}\text{C}$)		302
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304LTP	232
許容応力の算出式		$\text{Min } (2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u)$

表 2-5(2) 許容応力

(単位：MPa)

応力分類		一次膜+一次曲げ応力 (P _L +P _b)
供用状態 (許容応力状態)		E
温度 (°C)		302
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304LTP	323
許容応力の算出式		$\alpha \cdot \text{Min} (2.4 \cdot S_m, 2/3 \cdot S_u)$

注： α は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は 1.5 のいずれか小さい方の値とする。

本表には、 $\alpha = 1.392$ の場合の値を示す。

表 3-1 応力の分類

配管の要素	位 置	荷重の種類	応力の分類	
管状構造物	不連続部より遠い部分	内圧	一般膜応力	P_m
		外荷重又はモーメント	全断面について平均した一般膜応力 曲げ応力	P_m P_b
	不連続部又はその付近	内圧	膜応力	P_L
		外荷重又はモーメント	膜応力 曲げ応力	P_L P_b

注：

P_m : 圧力又は機械的荷重によって生じる膜応力であって、構造上の不連続性及び局部的形状の変化によって生じる膜応力は除く。

ただし、実際の応力評価では、応力評価面を、構造上の不連続部にとることが多いので、内径、板厚がその応力評価面での値に等しい単純な殻を仮定し、シェル理論又ははり理論を用いて計算した応力を、その応力評価面における P_m とする。

P_b : 外力、内力及びモーメントに対して、単純な平衡の法則を満足する曲げ応力をいう。

P_L : 圧力又は機械的荷重によって生じる局部膜応力をいう。応力評価では、応力評価面における膜応力を P_L とする。

表 4-1 断面性状

応力評価点	t (mm)	D _o (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)
P01, 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	供用状態 E	
	応力 強さ	許容値
P01 P02	43	232
P01' P02'	43	232

表 5-2 一次膜+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	43	323
P01' P02'	43	323