

問題 2-6 内圧を受ける円筒胴と平鏡板構造部の設計

図 1 に示すような、円筒胴に平鏡板（円板状ふた板）を取付けた圧力容器構造が内圧 $P=10\text{MPa}$ を受ける場合について、円筒と円板を接合する形として、図 2（a）の直接接合構造を基準構造として、図 2（b）の内接 r 部付き構造、図 2（c）の内溝 r 部付き構造に対する応力・強度特性を検討する。材料は SB450 とし、ヤング率 205GPa 、ポアソン比 0.3 、降伏応力 250MPa 、引張強さ 450MPa とする。寸法は、円筒胴の内半径 $R=500\text{mm}$ 、円筒胴の板厚 $t=35\text{mm}$ 、平鏡板の板厚 $T=100\text{mm}$ とする。図 2（b）および（c）の r 部の $r=T/2$ とする。有限要素法において、円筒胴は接合点 J から $L=400\text{mm}$ の範囲をモデル化し、境界位置で軸方向拘束する。

（1）解析モデルの妥当性の検討を検討する。

（1-1）薄肉円筒の式を用いて円筒胴のオーダーエスティメーションを行え。

（1-2）周辺単純支持の円板の計算式を用いて平鏡板のオーダーエスティメーションを行え*1)。

（1-3）円筒胴のモデル化の範囲 L は、 $L=3\sqrt{Rt}$ を目安に決定されているが、妥当な長さといえるか考察せよ。

（2）応力特性

（2-1）図 2（a）、（b）、（c）について、メッシュ図・変形図を示し、それぞれの構造に対する変形特性を述べよ。

（2-2）図 2（a）、（b）、（c）について、主応力と **Mises** 相当応力の応力コンター図を示し、それぞれの構造に対する応力特性を述べよ。

（2-3）図 2（a）の基準構造を基準として、図 2（b）および（c）の接合構造について応力特性を比較して述べよ。

（3）強度評価

図 2（a）、（b）、（c）のそれぞれについて、円筒胴一般部 A、円板中心部 B、接合部 J における下記の強度を評価せよ。

（3-1）円筒胴一般部の塑性崩壊（膜降伏）強度について、崩壊限界に対する安全余裕を求めよ（材料を弾完全塑性体と見なして評価する）。

（3-2）円板中心部の塑性崩壊強度について、崩壊限界に対する安全余裕を求めよ。

（3-3）接合部の疲労強度の評価として、下記条件に対する疲労寿命（破断繰返し回数）を求めよ*2)。

疲労強度評価の条件：

1、内圧変動 $P=0\sim 10\text{MPa}$

2、図 3 に示す S-N 曲線（両振り疲労）を用いて評価する。ただし、平均応力の修正（シフト）を行い、等価応力振幅を求めて S-N 曲線（両振り疲労）に適用して評価せよ。

（4）上記の検討結果から、図 2（a）、（b）（c）の強度の差について比較検討して結果を述べよ。

*1) 参考資料：「機械工学便覧基礎編α 3 材料力学」の第5章、b.円板の曲げ、表5. 1

*2) 図2 (a) の接合部における最大応力は、円板と円筒胴の内面接合点近傍における最大応力要素の値を用いてよい。

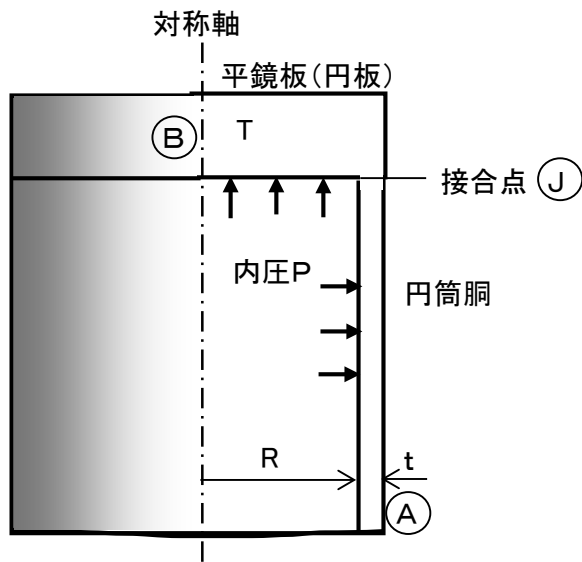


図1 平鏡板付き压力容器構造

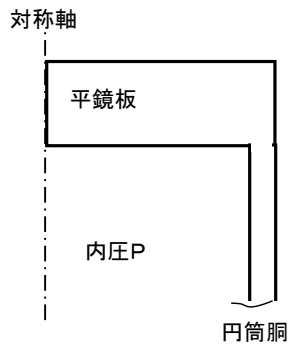


図2(a) 直接接合
基準構造

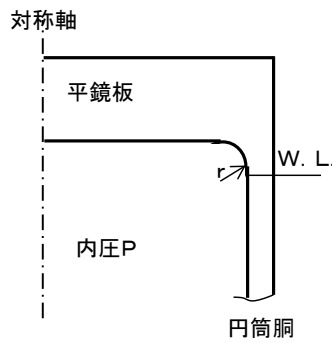


図2(b) 内接r付き
接合構造

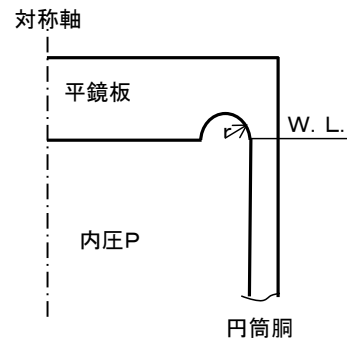
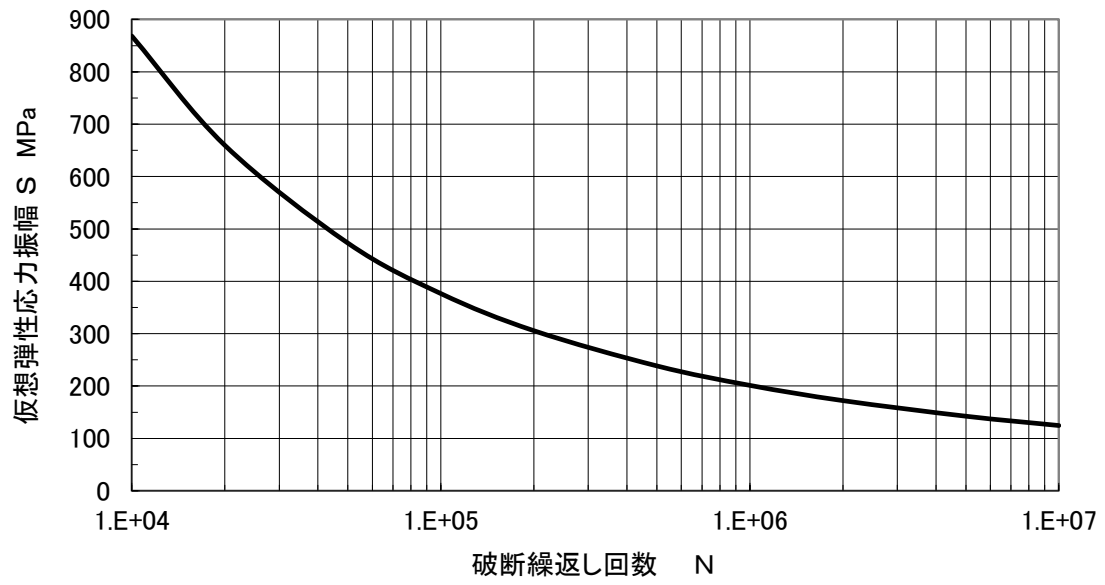


図2(c) 内溝r付き
接合構造

図3 SB450のSN曲線（両振り疲労線図）



略解) 材料力学の excel による見積もり

一般部Cにおける応力と変位 MPa, mm			
応力成分	理論解 薄肉円筒		
σ_{θ} (内面)			
(板厚平均)	148		
σ_z (板厚平均)	74		
σ_r (板厚平均)	-5		
半径方向変位 δ	0.317		
軸方向変形量 δz	0.058		
円板中心Aにおける応力と変位			
応力成分	支持円板	(固定円板)	
$\sigma_r = \sigma_{\theta}$ (上面)	331	58	
$\sigma_r = \sigma_{\theta}$ (下面)	-331	-58	
σ_z (板厚中央)	-5.0	-5.0	
円板中心の変形量			
$w = w' - \delta z$	2.43	0.6	
接合部Jにおける応力		MPa	
最大主応力	FEM結果 (ミーゼス積分点)		
	基準構造(a)	内接r構造(b)	内溝r構造(c)
σ_{max}	700	433	474

(4)

- 円筒胴一般部の塑性崩壊 (膜降伏) 強度について、
円筒胴一般部においては、不連続部の構造によらず一様な応力分布になることから塑性崩壊強度も構造 (a)、(b)、(c) で差はない (崩壊限界に対する安全余裕 ≈ 1.8)。
- 円板中心部の塑性崩壊強度について、
上面の最大応力の大きさが、円筒胴との接続部の形状による総体的拘束度合いの差により構造 (b) < 構造 (a) < 構造 (c) となっていることから、塑性崩壊強度は逆の順になっている (崩壊限界に対する安全余裕 構造 (b) : 構造 (a) : 構造 (c) = 1.86 : 1.62 : 1.42)。
- 接合部の疲労強度について、
局部的最大主応力は、構造 (b) < 構造 (c) < 構造 (a) の関係になっており、平均応力の修正を行った相当応力振幅もこの関係になっていることから、破断繰返し回数 (寿命) でみた疲労強度は構造 (b) > 構造 (c) > 構造 (a) となっている。とくに、構造 (a) は構造 (b)、構造 (c) と比べて数倍小さい疲労寿命を与えている。