

I-112 軸圧縮円筒パネルの弾塑性耐荷力について

高知高専 正員 ○勇 秀憲
京都大学 正員 渡辺 英一

1. まえがき

本報告は、軸圧縮円筒パネルの弾塑性耐荷力評価の2つの新しいアプローチをまとめたものである：評価法Ⅰは、通常の弾塑性分岐点近傍で釣り合い曲線の「安定性限界」から直接求めるものであり、評価法Ⅱは塑性崩壊機構を考慮した「等価分岐点」近傍での初期不整敏感性評価により統一的に求めるものである。数値計算例により、設計耐荷力曲線等と2手法を比較検討し、その適用性・有用性について考察する。

2. 弾塑性耐荷力

材料はすべて完全弾塑性体とし、断面内の残留応力はある適当な分布形状を有し、初期自己平衡状態にあり、軸方向に一定であると仮定する。弾塑性域において円筒パネルの平均軸圧縮応力 $\tilde{\sigma} = \sigma / \sigma_y$ (σ_y は降伏応力)と対応する平均軸ひずみは、弾性有効断面率(断面の接線係数) k の関数として陽な形で表現できる。

円筒パネルは周辺単純支持であり(図-1)、弾性および弾塑性座屈モード w は面外たわみ W について

$$W = w \sin(aX) \sin(bY) \quad \text{ただし、} a = m\pi/L, b = n\pi/(\beta r) \quad (1)$$

ここに、 m と n はモードの波数、 L と r は円筒パネルの長さ半径、 β は中心角、 X と Y は座標軸方向である。

弾塑性域における釣り合い方程式は、修正したDonnellの式にBliechの $\sqrt{\epsilon}$ 理論を適用して定義する。これより、上記の座屈モードに対しGalerkin法を用いて次式の釣り合い曲線が求められる：

$$-0.5\alpha_s \tilde{w}^2 + (1-\lambda) \tilde{w} - \lambda \epsilon = 0 \quad (2)$$

ここに、 α_s は残留応力分布(大きさ)、座屈モード、弾塑性座屈点における諸特性から決定される定数で、 $\lambda = \tilde{\sigma} / \tilde{\sigma}_{cr}$ (最小の弾塑性座屈応力 $\tilde{\sigma}_{cr} = \sigma_{cr} / \sigma_y$)、 $\tilde{w} = w/t$ (t は板厚)、 $\epsilon = w_0/t$ (w_0 に対応する初期たわみ w_0) である。ただし、弾塑性臨界座屈モードは

$$a^2 = b^2 = \sqrt{3(1-\nu^2)} \sqrt{E_s/E} / [(\sqrt{k_c} + 1) t r] \quad (3)$$

である。ここに、 E_s は断面の割線係数、 E は弾性係数、 k_c は上記係数 k の弾塑性座屈点での値である。

評価法Ⅰ 釣り合い曲線(2)上の「安定性限界」つまり λ が最大となる条件から、弾塑性耐荷力 $\sigma_n = \sigma_m / \sigma_y$ は初期不整の敏感性曲線の形で求められる[1]：

$$\tilde{\sigma}_n = \tilde{\sigma}_{cr} [1 + \alpha_s \epsilon - \sqrt{\alpha_s \epsilon (2 + \alpha_s \epsilon)}] \quad (4)$$

評価法Ⅱ 塑性崩壊機構は図-2を考えると、次式の塑性崩壊機構曲線が定義できる[2]：

$$w = \sqrt{1 - \tilde{\sigma}^2} / \tilde{\sigma} \quad (5)$$

このとき、弾塑性釣り合い曲線(2)と塑性崩壊機構曲線(5)との交点を「等価分岐点」($\tilde{w}^*$, $\tilde{\sigma}^*$)と定義し、この点の近傍において、弾塑性耐荷力 σ_n は式(3)と同様の形で求められる[1, 3]：

$$\tilde{\sigma}_n = \tilde{\sigma}^* [1 + \alpha^* \epsilon - \sqrt{\alpha^* \epsilon (2 + \alpha^* \epsilon)}] \quad (6)$$

ここに、係数 α^* は等価分岐点における各崩壊機構曲面の勾配から近似的に決定される。

なお、式(4)と(6)の初期たわみ ϵ は「等価初期たわみ」 ϵ^* に置き換えられ計算される[1-3]：

$$\epsilon^* = \mu(R) \epsilon \quad \text{かつ} \quad \mu(R) = \mu_0(R/R_p)^\beta, \mu_0 = 1, \beta = 2(1 - R/R_p) \quad (7)$$

ここに、 $R_p = 1/\sqrt{1 - \tilde{\sigma}_r}$ ($\tilde{\sigma}_r = \sigma_r / \sigma_y$: 最大圧縮残留応力の大きさ)である。

3. 数値計算例

図-1のような円筒パネル($\beta=\pi/4$)の軸圧縮座屈に対し、その弾塑性耐荷力を評価する。断面の残留応力は放物分布とし、その最大圧縮応力の大きさを $\tilde{\sigma}_r=0.4$ と仮定する。図-3は初期たわみの大きさがECCS制限値 $\ell_r/100$ ($\ell_r=4\sqrt{rt}$:ゲージ長)に対して得られた耐荷力曲線である。縦軸は耐荷力 σ_m 、横軸は一般化細長比 $R=\sqrt{3(1-\nu^2)}(r/t)(\sigma_y/E)$ である。ここでは本評価法 I、II に対応する円筒シェルのECCS設計耐荷力曲線、実験結果[1, 3]とが比較されている。なお、詳細は当日発表する予定である。

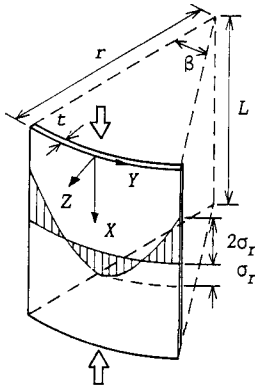


図-1 円筒パネルモデルと残留応力分布

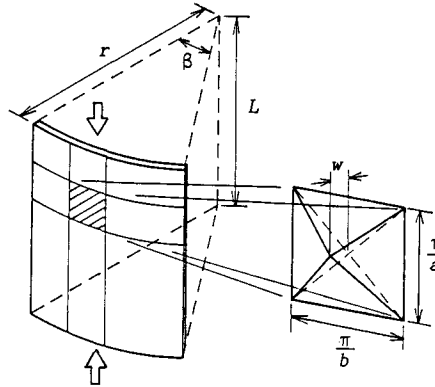


図-2 塑性崩壊機構

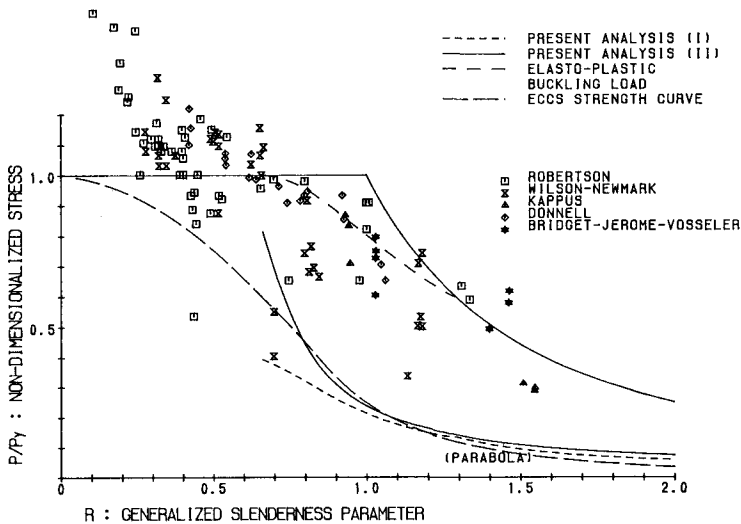


図-3 耐荷力曲線($\beta=\pi/4$)

$\sigma_r=0.4\sigma_y$, 放物線残留応力分布, 初期たわみ=ECCS制限値

- 1) 勇, 渡辺, 丹羽, 京極: 第36回応用力学連合講演会, 227D, 1986.
- 2) Niwa, Watanabe & Isami: Struct. Eng./Earthq. Eng., Proc. JSCE, Vol.2, 281s-290s, 1985.
- 3) Watanabe, Isami & Kyougoku: Struct. Eng./Earthq. Eng., Proc. JSCE, Vol.4, 105s-113s, 1987.