I-56　軸圧縮補剛円筒シェルの弾塑性耐荷力について

京都大学工学部　渡辺英一
高知高専土木　○勇　秀憲

１．まえがき

本報告は、軸圧縮補剛円筒シェルの弾塑性耐荷力の評価アプローチを提案するものである。本評価法は塑性崩壊機構を考慮した「等価分岐点」近傍での初期不整の敏感性評価により統一的に弾塑性耐荷力を求めるものである[1,2]。 数値計算例により、本法の結果と従来の設計耐荷力曲線等を比較検討し、その適用性、有用性について考察する。

２．弾塑性耐荷力評価法

①補剛円筒シェルは、軸方向の縦補剛材のみを有し、補剛材自身のねじり剛性は無視する。補剛材本数ｎｓ、薄肉円筒シェルに対する断面積比δsおよび曲げ剛比γsをパラメータとして、与えられた一般化半径－板厚比Ｒの各値に対し、下記の②～⑥が実行される。

②材料はすべて完全弾塑性体とし、断面内および縦補剛材内の残留応力はある適当な分布形状を有し全体として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。このとき、弾塑性域において円筒シェルの平均軸圧縮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）の関数として陽な形で表現できる。

③弾性および弾塑性座屈モードは、円筒シェルの面外たわみについて軸対称モード$\tilde{w}_1=w_1/t$と非対称モード$\tilde{w}_2=w_2/t$の独立した２つを仮定し、その連成を考慮する。以下、下添字"1"と"2"はそれぞれ軸対称および非対称のモードに対応すことを示す。

④弾塑性域における釣り合い方程式を与えるために、補剛円筒シェルを直交異方性体と考え、その曲げ剛性、ねじり剛性を評価する。このとき、この方程式は、修正した Donnellの式に Bliechの$\sqrt{\tau}$理論を適用して定義する[1-3]。これより、上記の２つの座屈モードに対し Galerkin法を用いて最小の弾塑性座屈応力を与える臨界座屈モードと、釣り合い方程式が求められる[1,2]：

$$C\tilde{w}_2^2+(\tilde{\sigma}_{cr1}-\tilde{\sigma})\tilde{w}_1=0$$

$$2C\tilde{w}_1\tilde{w}_2+(\tilde{\sigma}_{cr2}-\tilde{\sigma})\tilde{w}_2/8=0 \qquad (1)$$

ここに、Ｃは残留応力分布、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あり、$\tilde{\sigma}_{cr1}$と$\tilde{\sigma}_{cr2}$は降伏応力σ_Yで無次元化した弾塑性座屈応力であり、$\tilde{\sigma}$も同様に無次元化平均軸圧縮応力である。

⑤軸圧縮円筒シェルの塑性崩壊機構は次の２つを独立して考える：１つは軸対称モードに対応する「リング」機構であり、もう１つは非対称モードに対応する「ダイアモンド」機構である[1,2]：

$$\tilde{w}_i=A_{pi}(1-\tilde{\sigma}^2)/\tilde{\sigma} \qquad (i=1,2) \qquad (2)$$

ここに、A_{pi}は２つの崩壊機構に対しそれぞれ与えられた定数である。

⑥弾塑性釣り合い方程式(1)と塑性崩壊機構曲面(2)との交点を「等価分岐点」Ｃ（$\tilde{w}_1^*,\ \tilde{w}_2^*,\ \tilde{\sigma}^*$）と定義する。このとき、点Ｃの近傍において、弾塑性耐荷力$\tilde{\sigma}_{mi}=\sigma_{mi}/\sigma_Y\ (i=1,2)$は軸対称あるいは非対称の２つの独立した初期たわみモード$\tilde{w}_{oi}=w_{oi}/t\ (i=1,2)$ に対し初期不整の敏感性曲線の形で求められる[1,2]。

$$\frac{\tilde{\sigma}_{mi}}{\tilde{\sigma}^*}=1+\alpha^*\tilde{w}_{oi}-\sqrt{2\alpha^*\tilde{w}_{oi}\left(1+\frac{1}{2}\alpha^*\tilde{w}_{oi}\right)} \qquad (i=1,2) \qquad (3)$$

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。また、初期たわみモード$\tilde{w}_{oi}$は「等価初期たわみ」$\hat{w}_{oi}^*$に置き換えられ計算される：

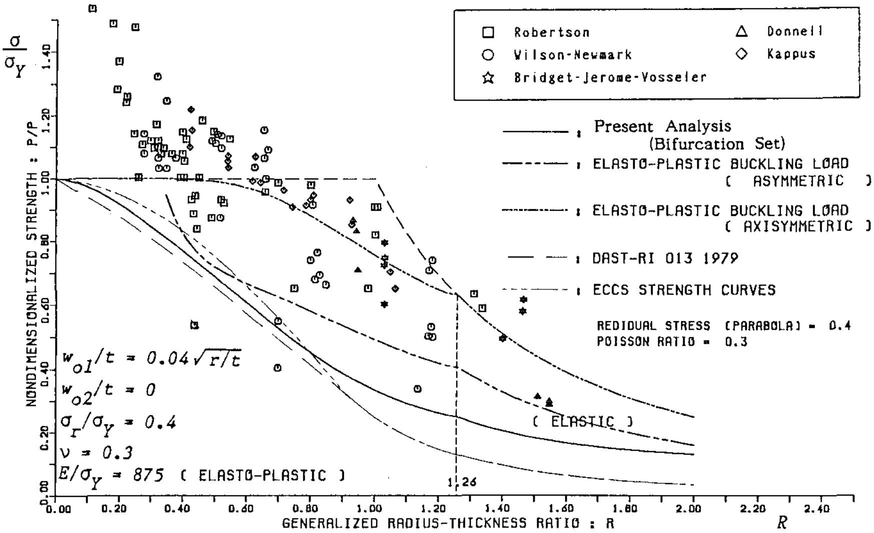
$$\hat{w}_{oi}^*=\mu c\,(R/Rp)^{\beta}\,\tilde{w}_{oi} \qquad (i=1,2) \qquad (4)$$

ここに、$\mu c=1$、$\beta=2(1-R/Rp)$で、Ｒpは弾性座屈と弾塑性座屈の遷移一般化半径－板厚比である。

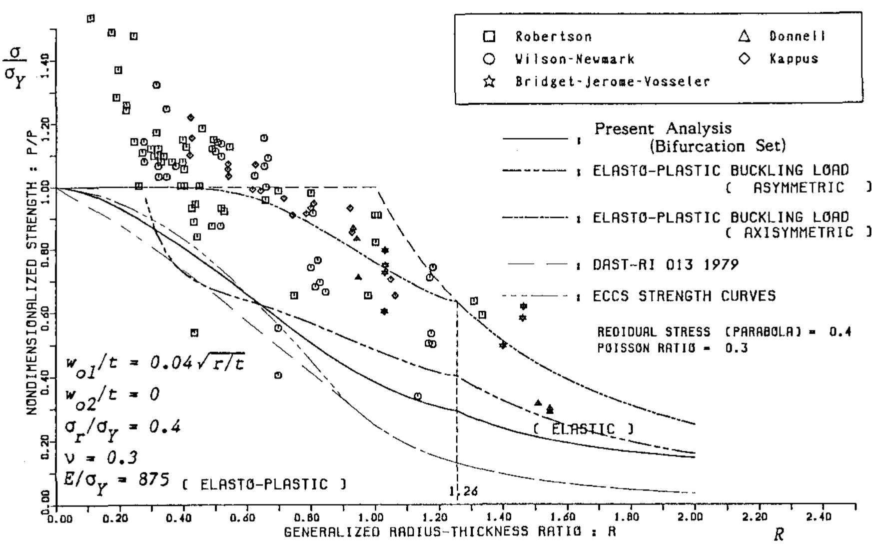
３．数値計算例

縦補剛材をｎs=４本有する補剛円筒シェルの軸圧縮座屈に対し、その弾塑性耐荷力を評価する。薄肉断面内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降伏応力の４０％と仮定する。さらに、縦補剛材内では、降伏応力の２０％の一様な引張り残留応力が存在するものと仮定する。また、弾塑性座屈モードとして軸対称モードと正方形の非対称モードを採用した。図－１と２は断面積比δs=0.05で、曲げ剛比γs=5.0と10.0である縦補剛材を有する補剛円筒シェルの耐荷力曲線である。初期たわみとしてはともに、軸対称初期たわみ（ECCS制限値 ℓr/100 ；ℓrはゲージ長＝$4\sqrt{rt}$）のみを考慮した。

なお、詳細は当日発表する予定である。



図－１　耐荷力曲線
（軸対称初期たわみ）
ｎs=4, δs=0.05,
γs=5.0



図－２　耐荷力曲線
（軸対称初期たわみ）
ｎs=4, δs=0.05,
γs=10.0

４．参考文献

1) Niwa, Watanabe & Isami, Theoretical Applied Mechanics, Vol. 34, 265-273, 1986.
2) Watanabe, Isami & Kyogoku, Proc. JSCE, No. 380/I-7, 760-769, 1987.
3) Timoshenko & Gere, Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill, 1961