

京都大学工学部 正員 丹羽 義次
 京都大学工学部 正員 渡辺 英一
 高 知 高 専 正員○勇 秀憲
 阪神高速道路公団 正員 谷口 信彦

1. はじめに

円筒シェル構造は、貯蔵タンク、パイプライン、原子力発電所や海洋構造物等の土木構造物に多く採用されている。特に、軸圧縮力を受ける円筒シェルの耐荷力は一般に初期不整に対し非常に敏感であり、その安定性を評価することは重要な問題である。

本報告は、軸圧縮力を受ける円筒シェルの弾塑性耐荷力と初期不整の陽な関係を、カタストロフィー理論に基づき評価する簡易法を提案するものである。

2. 耐荷力評価法

[1] 材料はすべて完全弾塑性体とし、断面内の残留応力は初期自己平衡状態にある適当な分布形状を有し、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、弾性有効断面率の関数として容易に記述できる。

[2] 弾塑性座屈モードは、円筒シェルの面外たわみに関して軸対称モードと非対称モードの独立した2つを対象にする。

[3] 弾塑性域における釣り合い方程式は、Donnellの式にBleichの $\sqrt{\tau}$ 理論を適用して定義する。当該の2つの座屈モードに対し、この釣り合い式から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が求められる。

[4] 弾塑性座屈点の近傍で、座屈モードの3次項までを考慮した擬似弾性ポテンシャルを定義する。その形は、弾性有効断面率の関数として

$$\alpha xy^2 + \frac{1}{2}(1-\lambda)x^2 + \frac{1}{16}(\beta-\lambda)y^2 - \lambda x \varepsilon_1 - \frac{1}{8}\lambda y \varepsilon_2 \quad (1)$$

ここに、 α 、 β 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る。また、 λ は弾塑性座屈応力で無次元化した一般化軸圧縮応力、 x と y はそれぞれ軸対称座屈モードと非対称座屈モードの大きさを板厚で無次元化した一般化座標、 ε_1 と ε_2 はそれぞれ対応する一般化初期たわみを示す。式(1)は、明らかに「放物的へそ」のカタストロフィー開折の4次項を無視したものに等価である。これより、弾塑性分岐点近傍の後座屈経路が定められる。

[5] 円筒シェルの弾塑性耐荷力は上記の擬似弾性ポテンシャルからカタストロフィー分岐集合

$$\frac{16}{3\alpha\sqrt{6}} \left[2\alpha\varepsilon_1 + \frac{1}{8}(1-\lambda)(\beta-\lambda) \right]^{\frac{3}{2}} = \lambda(1-\lambda)\varepsilon_2 \quad (2)$$

として初期たわみに関する敏感性の形で表現される。

[6] 次式の一般化半径-板厚比 R の各値に対し、(1)～(5)が実行される。

$$R \equiv \sqrt{3(1-\nu^2)} \frac{r}{t} \frac{\sigma_Y}{E} \quad (3)$$

ここに、 t 、 r 、 E および σ_Y はそれぞれ円筒シェルの板厚、半径、弾性係数および降伏応力である。

[7] なお、円筒シェルの弾塑性耐荷力は、上記のように後座屈経路に關与する特異分岐集合のみならず、いわゆるダイヤモンド型やリング型の塑性崩壊機構の影響を受ける。このとき、すでに筆者らの提案してきた統一的簡易評価法の適用が必要となる。

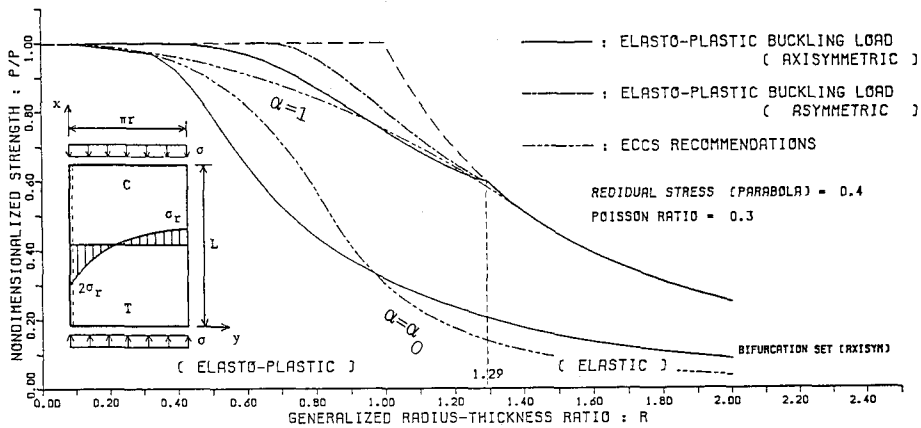
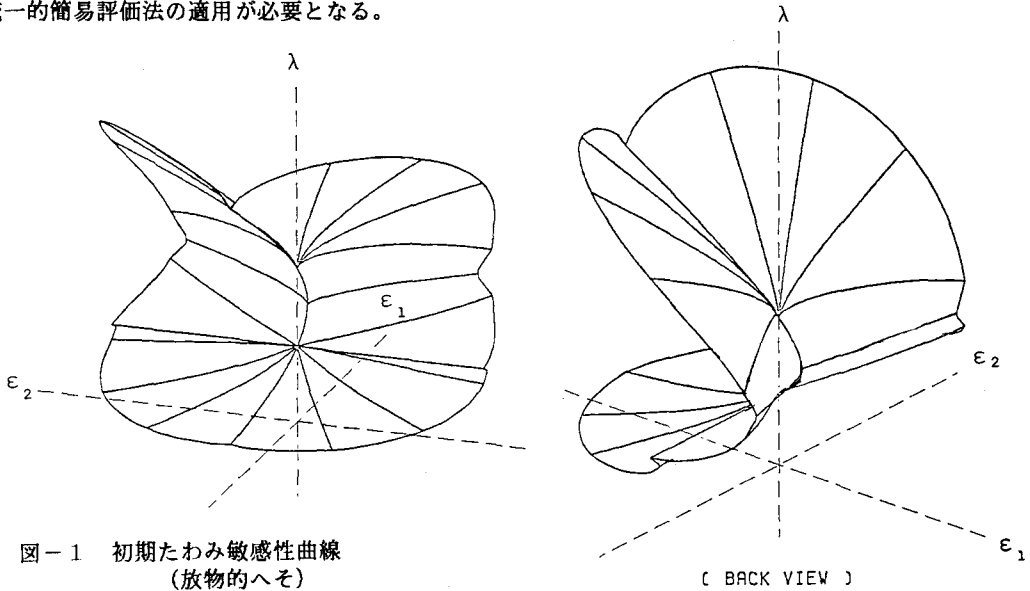


図-2 円筒シェルの耐荷力曲線

3. 数値計算例

軸方向に一ヶ所で溶接接合された無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。断面の残留応力は放物線分布とし、その最大圧縮応力の大きさを降伏応力の 40 % と仮定する。また、非対称座屈モードとして正方形モードを採用した。

図-1 は式 (2) の放物的へそのカタストロフィー分岐集合、つまり 2 つの初期たわみモードによる円筒シェルの弾塑性耐荷力の典型的な敏感性曲面である。さらに、図-2 は円筒シェルの耐荷力曲線を示す。図中下側の実線が板厚の半分の軸対称初期たわみに対する本数値計算結果である。

なお、詳細は当日発表する予定である。

- 1) Niwa, Y. et al., Stability of Metal Structures, Preliminary Report, 313-317, 1984.
- 2) Calladine, C. R., Theory of Shell Structures, Cambridge Univ. Press, 1983.