

軸圧縮を受ける円筒シェルの耐荷力の簡易評価法について

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
 阪神高速道路公団 正員 〇谷口信彦

1. まえがき

今日、円筒シェルは、海洋構造物・原子力発電所・貯蔵タンクなど、様々な土木構造物に使用されている。しかし、円筒シェルは、軸圧縮を受ける場合、初期不整に対して非常に敏感となるため、その安定性と耐荷力を評価することは、非常に重要な問題である。

本研究では、弾性の不安定現象の解析に有力なポテンシャル理論を、弾塑性域に拡張することによつて、軸圧縮を受ける無補剛円筒シェルの、弾塑性耐荷力と材料学的・幾何学的初期不整との関係を、陽な形で評価する。

2. 解析手法

本研究では、系の弾塑性域における釣合式が、弾塑性域における系のポテンシャルエネルギーの、一階微分が零であることと同値であると考え、さらに、弾塑性域における系の後座屈挙動が、分岐点における系の、接線弾性係数を用いて表わせることを考慮して、円筒シェルの弾塑性耐荷力の解析を行った。

なお、残留応力分布は、円筒シェルの長さ方向に一樣で、全体として、初期自己平衡状態を満足するものとし、円筒シェルの挙動は、軸対称と非対称の、2つのモードの相互作用として捉える。以下に、本簡易評価法の概略を述べる。(Fig.1)

第1に、Donnellの式に、Bleichの近似理論を適用した、円筒シェルの支配方程式を解き、2つの釣合式と分岐点を求める。第2に、分岐点において、ひずみ-変位関係を増分的に捉え、分岐点近傍における擬似的なポテンシャルを求める。この擬似ポテンシャルに、弾性ポテンシャルと同様の手法を用いて、Hessian Matrixの行列式を、零とした式と、一階微分を零として得られる2つの釣合式を、連立させて解くと、円筒シェルの耐荷力は、初期たわみに対する敏感性の形で、次のように表わせる。

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

ただし、 λ は、座屈荷重で無次元化した耐荷力、 ε_1 ・ ε_2 は、それぞれ、板厚で無次元化した、軸対称モードと非対称モードの初期たわみを示す。また、 α ・ β は、残留応力分布、座屈モード、分岐点における接線弾性係数などより決定される定数である。

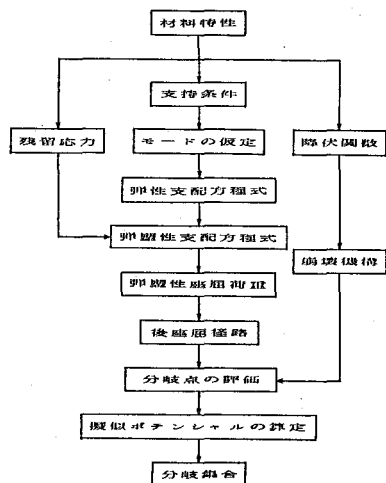


Fig.1 耐荷力算定のフローチャート

Yoshiji NIWA, Eiichi WATANABE, Nobuhiko TANIGUCHI

ここで、特に、 $\varepsilon_2=0$ あるいは $\varepsilon_1=0$ の場合を考えると、(2)式で示す、2つの敏感性曲線が得られる。

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{16\alpha} \frac{(1-\lambda)(\beta-\lambda)}{\lambda} \quad (\varepsilon_2=0), \quad \varepsilon_2 = \frac{1}{6\sqrt{3}\alpha} \frac{(\beta-\lambda)\sqrt{(1-\lambda)(\beta-\lambda)}}{\lambda} \quad (\varepsilon_1=0) \quad (2)$$

3. 数値解析例

軸方向の一ヶ所で溶接接合された、無補剛円筒シェルの数値解析例を、Fig.2～Fig.4に示す。なお、非対称モードとしては、Calladineの研究を参考に、正方形モードを仮定し、残留応力分布は、最大圧縮応力 σ_r が、 $\sigma_r=0.4\sigma_y$ の放物線分布を考えた。

Fig.2は、(1)式で示した、円筒シェルの敏感性曲面の概形を、表したものである。

Fig.3は、(2)式で示す、2つの敏感性曲線を、鈴木・浅野の行った実験結果等とともに示したもので、縦軸と横軸は、それぞれ、座屈荷重と板厚で無次元化した、耐荷力と初期たわみを示す。

Fig.4は、円筒シェルの耐荷力曲線である。なお、図中、縦軸は、降伏荷重で無次元化した耐荷力を示し、横軸は、(3)式で示す、円筒シェルの一般化半径-板厚比 R である。

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

また、下側の実線は、板厚の1/2の、軸対称モードの初期たわみが存在する場合の、耐荷力曲線を示す。

ECCSの、無補剛円筒シェルに対する、耐荷力曲線との比較には、普通鋼の一般的値の、 $E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_y=2.4 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ を用いた。詳細は当日発表する。

参考文献

- 1) Calladine, C.R.: Theory of SHELL STRUCTURES. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 1983.
- 2) 鈴木五月: I型梁、十字断面柱、円筒シェルの弾塑性カストロフイーに関する考察, 京都大学修士論文, 1982.
- 3) 浅野剛: 軸圧縮を受ける円筒シェルのカストロフイー特性に関する実験的研究, 京都大学卒業論文, 1982.
- 4) Niva, Y., E. Watanabe, and H. Isami: A New Approach to predict the Strength of Compressed Steel Plates, Proc. of JSCE, No.341, 1984

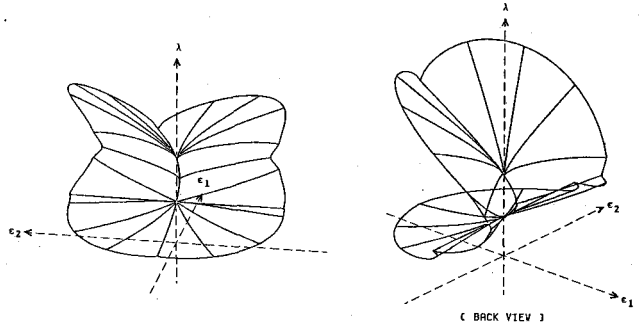


Fig.2 敏感性曲面の概形

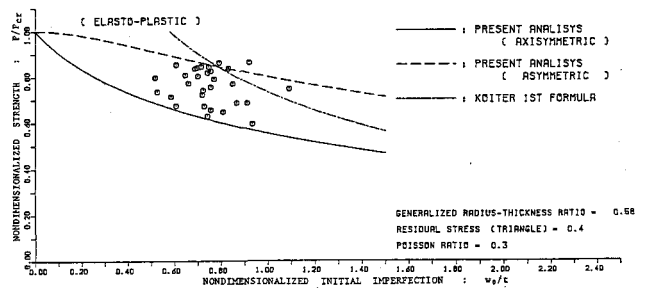


Fig.3 敏感性曲線

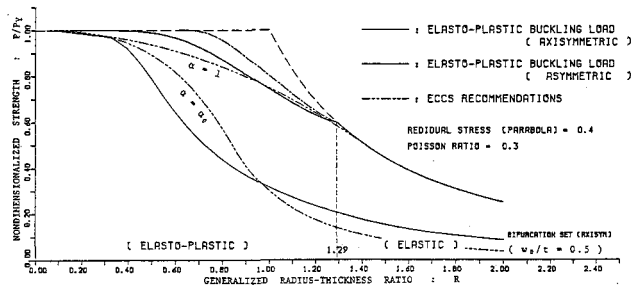


Fig.4 耐荷力曲線