

円周方向圧縮力を受ける円筒パネルの劣化域における複合非線形解析のための近似理論

関西大学工学部 正会員 三上 市蔵
 関西大学大学院 学生員 中野 唯史
 駒井 鉄 工 正会員○篠田 隆広

1. まえがき

三上・辻¹⁾は、周辺単純支持された、初期たわみおよび残留応力を有する円筒パネルが円周方向面内力を受ける場合の終局強度を越えた領域（以下、劣化域）における挙動を解析するために、通常用いられている非線形方程式より高次の微小項を含む基礎微分方程式を導いた。しかし、導入された高次微小項の中には挙動にあまり影響を与えないものも含まれているものと考えられる。このような項を除くことができれば、基礎方程式が簡単になるばかりでなく、解析に要する時間が著しく短縮されるものと予想される。本研究では、三上・辻¹⁾の非線形理論を基本にして、劣化域において十分な精度を有する、一部の高次微小項を省略した近似非線形理論を提案する。

2. 高次微小項を含む非線形理論

解析の対象モデルを図-1に示す。変位および断面力の正の方向は図-2のように定義され、作用力としては、両直線辺に一樣な円周方向強制変位 v_m を考える。

近似非線形理論の基本となる三上・辻の理論¹⁾（以下、Case A⁺）は、初期たわみおよび残留応力を有する弾塑性無補剛円筒パネルの劣化域における挙動を正確に解析するために、薄いシェルに対するWashizu²⁾の幾何学的非線形理論を参考に、Kirchhoff-Loveの仮定が成り立ち、変形による板厚の変化がないものとして、従来省略されていた微小項を省略しないで、さらにFlügge³⁾流に面の長さに対する曲率の影響 Λ をも考慮して導かれたものである。ただし、 Λ は次式で表される。

$$\Lambda = 1 - (w_0 + z)/R \quad (1)$$

ここに、 w_0 は初期たわみである。

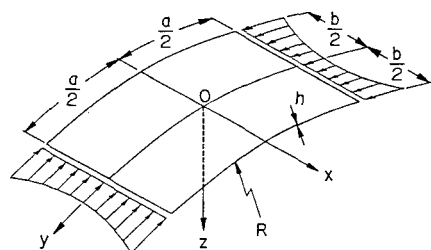


図-1

3. 近似非線形理論

短時間で高精度の解析を行うために、ひずみ-変位関係を簡単化した次の2種類の近似非線形理論を考える。

①Case A': 面内変位が面外変位に比べて小さいことから、文献1)のひずみ-変位関係式(1), (2)において、面内変位の関数である中央面の線形ひずみ成分 $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{xy}$ および回転成分 ϕ_x, ϕ_y が、面外変位の関数である中央面の回転成分 ϕ_x, ϕ_y および初期たわみによる中央面の回転成分 ϕ_{0x}, ϕ_{0y} に比べて微小であるとして、高次項を省略する。これは、Kármán流⁴⁾の板の非線形理論に相当している。

②Case A: Case A'のひずみ-変位関係において、曲率の影響 Λ が微小であると考えて、 $\Lambda \approx 1$ とする。なお、ひずみ-変位関係をさらに簡単化すると、Donnell⁵⁾型の線形関係となる。

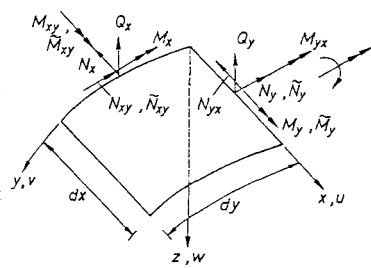


図-2

4.解析結果

種々の曲率と幅厚比を持つ円筒パネルに対し、これら近似非線形理論によって、差分法を適用したDRM(Dynamic Relaxation Method)を用いて解析し、その結果をCase A⁺ による結果と比較した。結果の一例として、縦横比 $\alpha=1.0$ 、幅厚比 $\beta=22.50$ 、曲率パラメータ $z=2.0$ の場合の平均作用応力-面内変位関係を図-3に、また劣化域において平均作用応力が初期降伏応力まで低下した状態(以下、劣化限界)までの解析に要する時間を表-1に示す。

これらから、次のようなことがわかった。

- 1) Case A⁺ とCase A', Case Aの結果には、大きな差異はなく、ひずみ-変位関係において ε_x , ε_y , ε_{xy} および ϕ の影響は微小である。
- 2) Case A' とCase Aの結果に差異がないので、劣化域においても $\Lambda \approx 1$ とみなしてよい。
- 3) Case Aでは、Case A⁺ に比べて約60%のCPU時間で解析ができる。

5.あとがき

劣化域における解析では、面内変位に関する高次の項を省略すると、短時間に、Case A⁺ と同様の解析結果が得られることがわかった。また、曲率の影響 $\Lambda \approx 1$ と考えても、結果に影響しない。この解析結果から、劣化域における解析には、Case Aが最も効率のよい理論であるといえる。

なお、基礎方程式の詳細、および解析結果の詳細については講演会に譲る。

表-1

Case	解析所要時間 (秒)	所要時間比
A ⁺	6 4 8 6 1	1.0 0
A'	5 2 0 2 6	0.8 0
A	3 6 8 6 0	0.5 7

$$\alpha = 1.0, \quad \beta = 22.50, \quad Z = 2.0, \\ \bar{w}_0 = -\beta/150, \quad \bar{\sigma}_{rc} = -0.3$$

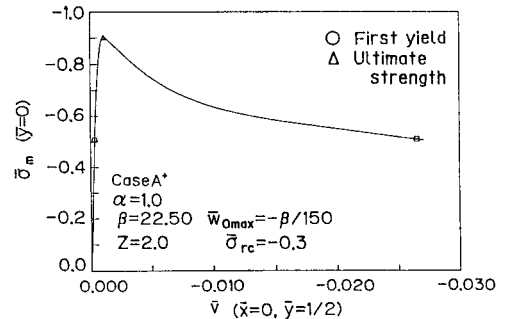


図-3(a)

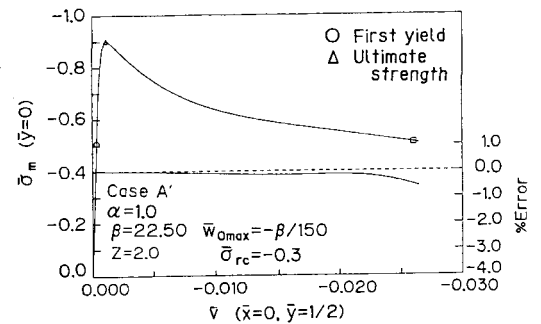


図-3(b)

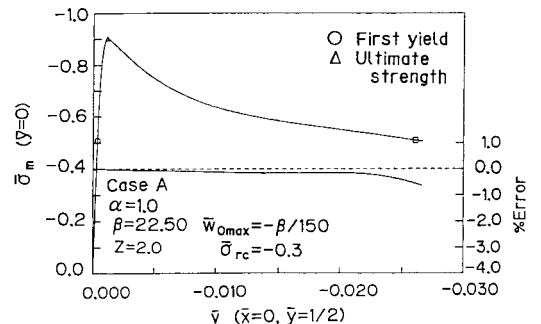


図-3(c)

- 1) 三上・辻: 構造工学論文集Vol.37A, 1991. 2) Washizu: Variational Method in Elasticity and Plasticity, 3rd ed., Pergamon Press, 1982. 3) Flugge: Stresses in Shells, 2nd ed., Springer-Verlag, 1973. 4) Kármán: Festigkeitsprobleme im Maschinenbau, Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften, Vol. IV, 1910. 5) Donnell: Stabilität der Kreiszylinderschale, Ingenieur-Archiv, Vol. 3, 1932.