

円筒の軸圧潰における初期ピーク応力の評価

春山繁之^{*1} 牛島邦晴^{*2} 陳玳珩^{*2}

Evaluation of First Peak Stress in Axial Collapse of Circular Cylindrical Shell

Shigeyuki Haruyam, Kuniharu Ushijima, Dai-Heng Chen

FEM解析で求めた薄肉円筒の軸圧潰時におけるピーク応力 σ_1 に対し、これまでに提案された座屈応力 σ_{cr} に基づく σ_1 の評価法の有効性について検討を行った結果、弾性問題の場合、 σ_{cr} と σ_1 はほぼ一致し、座屈応力 σ_{cr} を用いてピーク応力を評価できるといえる。しかしながら、弾塑性問題の場合、これまで提案された座屈応力の各種算定法では、円筒のピーク応力が生じるまでの応力状態を正確に表現していないため、円筒のピーク応力を精度よく評価できないことを明らかにした。従って本報では、FEMによる弾塑性数値解析結果に基づいて、軸圧潰下でのピーク応力に及ぼす円筒幾何形状ならびに加工硬化特性の影響を整理した上で、ピーク応力に対する工学的評価法の提案を試み、その有効性を確認した。

1 はじめに

自動車車体などの基本構成部材として、薄肉円筒あるいは角筒形状の部材が幅広く用いられている。その理由として、自動車衝突時の乗客の安全性を確保するため、衝突時に車体の一部を適度に圧潰させ、運動エネルギーをできるだけ効率よく吸収する必要がある点が考えられる。そこで、乗客の安全を確保するため、基本構成部材に対し、衝突時の吸収エネルギー量 W をできるだけ大きくすると同時に、初期のピーク応力 σ_1 をできるだけ抑える設計が、一般的に望まれる。

そのため、こうした基本構成部材として使用される薄肉形状部材に対し、軸方向の圧縮荷重下での理論的、実験的あるいは解析的研究が、これまで数多く行われてきた。

しかしながら、ピーク応力 σ_1 について弾塑性問題の場合、これまで提案された座屈応力の各種算定法では、円筒のピーク応力が生じるまでの応力状態を正確に表現していないため、円筒のピーク応力を精度よく評価できないことをからFEMによる弾塑性数値解析結果に基づいて、軸圧潰下でのピーク応力に及ぼす円筒幾何形状ならびに加工硬化特性の影響を整理した上で、ピーク応力に対する工学的評価法の提案を試みた。

2 研究、実験方法

2-1 解析方法

本研究では有限要素法汎用ソフトMSC.Marcを用い、

*1 機械電子研究所

*2 京東京理科大学

図1に示す円筒形状(長さ L 、円筒平均半径 R 、肉厚 t) について弾塑性大変形解析を行った。解析モデルは二次元軸対称モデルを用い、境界条件として円筒右端を固定壁に完全拘束し、左端より別の剛体を変位制御 u_x で円筒に押し付けたシミュレーションとした。

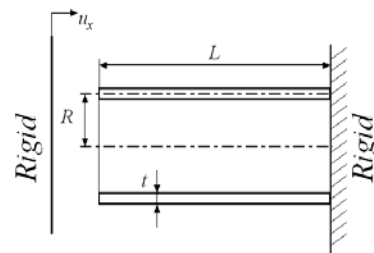


図1 解析モデル

3 結果と考察

3-1 形状パラメータの影響

図2は加工硬化係数 $E_h = E/20$ で、円筒の肉厚 t と半径 R との比 t/R を $t/R = 0.077$ と固定した各円筒モデルでの、軸方向の応力 σ_x と軸方向ひずみ u_x/L との関係を示したものである。この図からわかるように、肉厚 t の違いに関わらず同じ肉厚比 t/R で第1ピーク応力 σ_1 はほぼ一致する。また、図3は各円筒モデルでの、肉厚比 t/R と第1ピーク応力 σ_1 との関係を示したものである。この図からわかるように、同じ肉厚比 t/R を持つ円筒で、ほぼ同一の第1ピーク応力 σ_1 を持ち、その値は肉厚比 t/R の増加とともに比例的に増加する。以上のことから、第1ピーク応力 σ_1 に及ぼす形状パラメータの影響を整理すると、 σ_1 は次式

$$\sigma_1 = f_1(L, t, R, E, E_h) = f_2(t/R, E, E_h) \quad (1)$$

のように、主に肉厚比 t/R の関数として表すことができる。

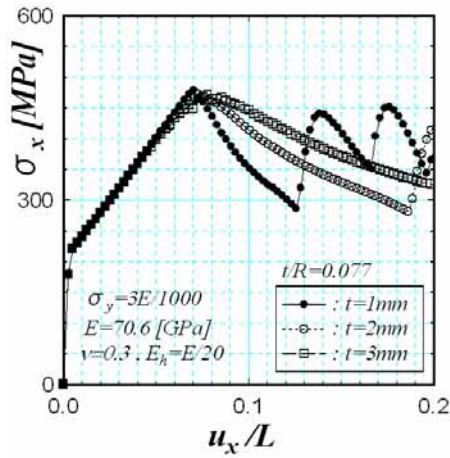


図2 軸方向の応力 σ_x と軸方向ひずみ u_x との関係

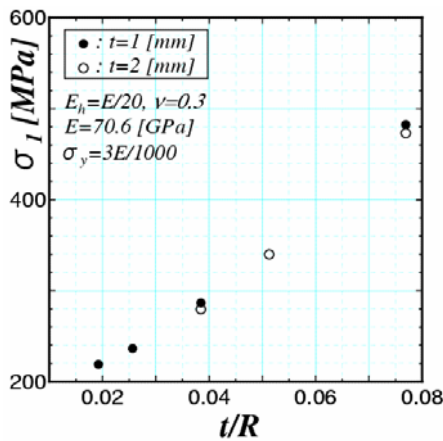


図3 肉厚比 t/R と第1ピーク応力 σ_1 との関係

また、同様に材料パラメータについても検討を行った結果、 σ_1 は次式

$$\sigma_1/E = f_2(t/R, E, E_h) = f_3(t/R, E_h/E) \quad (2)$$

のように肉厚と内半径の比、および硬化係数の比の関数として表すことができる。ここで、本研究では解析結果に基づいて、二直線硬化則に従う円筒の第1ピーク応力に対し、以下の近似式を提案した。(圧縮を正)

$$\frac{\sigma_1}{E} = \frac{t}{R\sqrt{3(1-\nu^2)}} \left(\frac{E_h}{E} \right)^{0.7(1-\frac{E_h}{E})} \quad (3)$$

さらに、種々の肉厚比 t/R を持つ円筒に対し、FEMによる解析結果(、、印)と(3)式による近似結果(実線)との比較を図4に示す。この結果から分かるように、加工硬化が小さく($E_h/E = 1/20$)、肉厚の薄い

($t/R < 0.06$)円筒を除けば、近似式による誤差は最大7程度であり、(3)式による第1ピーク応力の工学的評価は有効であるといえる。

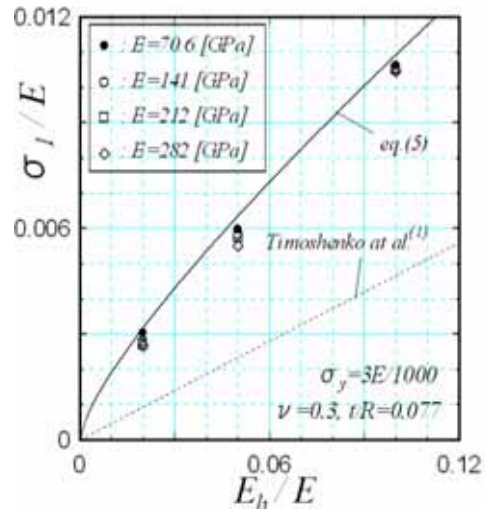


図4 無次元化した第1ピーク応力の比較

4 まとめ

本研究では、静的な軸方向圧縮荷重を受ける薄肉円筒問題について、有限要素法(FEM)による弾塑性数値解析を行い、初期ピーク応力 σ_1 に及ぼす各種形状ならびに材料パラメータの影響について、検討を行い解析結果により、以下の点が明らかになった。

- (1) 円筒形状の影響として、円筒の軸方向長さ L が円筒半径 R より大きければ、ピーク応力 σ_1 は L に無関係で、肉厚 t と半径 R との比 t/R の関数として整理できる。
- (2) 塑性降伏後のピーク応力 σ_1 は、 $\sigma_1 > \sigma_y$ であれば、降伏応力 σ_y に無関係である。
- (3) 加工硬化特性の影響として、加工硬化則の違いに関わらず、ピーク応力 σ_1/E (E は縦弾性係数)は σ_1 における応力勾配の関数として整理できる。

5 掲載論文

日本機械学会論文集A編, Vol170, No700, p. 1695(2004)