

局所的な外面不整形を有する円筒の座屈特性

東邦ガス株式会社 正会員 〇三輪昌隆 愛知工業大学 正会員 青木徹彦
名城大学 フェロー 宇佐美勉 名古屋大学大学院 正会員 葛西 昭
JIP テクノサイエンス(株) 正会員 深津真之 名古屋大学大学院 学生員 杉山弘晃

1. 目的

軸方向圧縮荷重を受ける円筒の座屈荷重が、円筒の形状の不整に影響を受けることはよく知られている⁽¹⁾。円筒に対する不整の導入には、円筒そのものの形状不整等の内的要因や、土木構造物、各種流体輸送など実用環境における溶接変形や外力等の外的要因が考えられ、座屈特性に与える影響が検討されてきた^{(2)・(3)}。ところが、現在もなお、比較的厚肉の円筒に対して、表面の比較的狭い範囲において肉厚に満たない薄肉化が生じた場合、またこれに内圧が加わった場合の座屈特性については、十分に解明されていないようである。そこで、本研究では、径厚比 $R/t=19.6$ 程度の比較的厚肉の鋼管を対象に、表面を機械加工により局所的に減肉加工し、加工範囲と内圧が軸方向圧縮座屈特性に与える影響を検討した。

2. 供試体および試験パラメータ

供試体は、一般的な流体輸送用鋼管（材質：SGP-200A、公称直径 $2R=216.3\text{mm}$ 、公称肉厚 $t=5.8\text{mm}$ ）とした。材料の機械的特性は、鋼管から軸方向に機械加工した3本のJIS5号試験片を用い静的引張試験により計測した。表1に静的引張試験から得られた機械的特性を示す。

試験体は、軸方向圧縮時の全体座屈の影響を排除することを目的に、全長を $L=500\text{mm}$ とした。両端には固定用のフランジを溶接した。初期不整として、試験体長の中央部で縦シーム溶接部から 180° の位置に、一様深さの矩形減肉部を機械加工した。減肉部サイズパラメータとして、軸方向長さ L_a を古典軸対称座屈の半波長 $\lambda_{cl}=1.73\sqrt{Rt}$ で除した無次元軸方向長さ λ_a 、周方向幅 L_c を円周で除した無次元周方向幅 λ_c 、深さ L_d を肉厚で除した無次元深さ λ_d を採用し、それぞれ3水準変化させた。同時に、座屈特性に与える要因として内圧を考え、減肉がない場合に発生するフープ応力 σ_h を降伏応力 σ_Y で除した無次元フープ応力を採用し3水準変化させた。ここでは、それぞれの影響が独立であると仮定し、各パラメータを直交表 $L_9(3^4)$ に割付け、9体の試験体により各パラメータが強度に与える影響を検討した。

表1 鋼管材料の機械的特性（3試験片の平均値）

引張強さ σ_u (MPa)	破断歪み ε_u (%)	ヤング率 E (GPa)	ポアソン比 ν	降伏応力 σ_Y (MPa)	降伏歪み ε_Y (%)	硬化開始歪み ε_{st} (%)
383.9	29.1	198.2	0.283	350.0	0.177	1.28

3. 試験装置

軸方向荷重の载荷には油圧アクチュエータ (RIKEN DRK40-S2-1000) で行い、軸方向荷重をロードセル（東京測器研究所製 TCLP200/400S）で測定した。試験体変位は、試験体中央部の $l=400\text{mm}$ を標点間距離する検査部に 90° 毎に4本設置した変位計（東京測器研究所製 CDP25）の平均値 ε_a とした。内圧は、水圧で与え、座屈時の円筒内体積変化はアキュムレータにより吸収した。鋼管の拘束は、荷重側単純支持、片側完全固定とした。試験は、愛知工業大学耐震試験センターで実施した。

4. 荷重－平均歪み関係および座屈形状の例

図1に試験体 AS-7 の荷重 P －平均歪み曲線 ε_a を示す。図は、変形の基本経路から軸対称座屈モードの局所化に至る第1分岐点までの経路を示した。図2には、同試験体の変形形状を示した。このケースでは、減肉

キーワード 円筒殻, 軸方向圧縮, 初期不整, 塑性座屈, 局所化

連絡先 〒476-8501 東海市新宝町 507-2 東邦ガス総合技術研究所 TEL 052-603-5311

部には3波長分の座屈波形が現れたが、局所化は減肉部端で生じた。

5. 解析結果—座屈に対する各因子の影響

図3から図6に各因子と内圧が座屈の塑性仕事 W_{pl} に与える影響を示した。図中の W_{pl} は、第1分岐点までの変形仕事 W から弾性仕事 W_{el} を差し引いた値とした。ここで、 $W_{el} = A l \sigma_Y \varepsilon_Y / 2$ で、 A は全試験体の非加工部平均断面積で、図では W_{pl} は W_{el} により無次元化した。同時に、各試験の最大荷重 P_{max} を

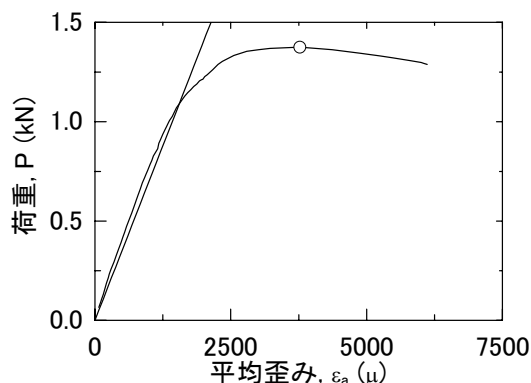


図1 荷重—平均歪み曲線



図2 局所化

降伏荷重 P_Y で除した無次元最大荷重の変化を示した。図3は λ_a の影響を示す。 λ_a の増加に対して、 P_{max} が微増し、 W_{pl} が増加することから、 λ_a の増加が変形の局所化を抑制した。 Teng ら⁽³⁾は、sin 波状の全周初期不整の場合、不整の半波長が λ_{cl} 付近で座屈荷重が最小となることを数値的に示した。本実験範囲 $\lambda_a > 2$ では、同様の傾向となった。図4は λ_c の影響を示す。 λ_c の増加は、鋼管の有効断面積の減少となり局所化を起りやすくするため、塑性仕事、最大荷重共に減少した。図5は λ_d の影響を示す。本実験では、局所化に対する λ_d の影響は、単調ではなかった。図6は σ_h / σ_Y の影響である。 σ_h / σ_Y の増加により、最大荷重は増加傾向を示し、塑性仕事は減少した。これは、鋼管変形の抑制作用を示し、本実験のように低い内圧レベルでも作用した。

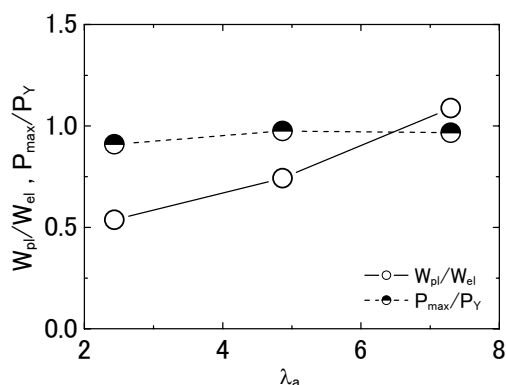


図3 塑性仕事に対する λ_a の影響

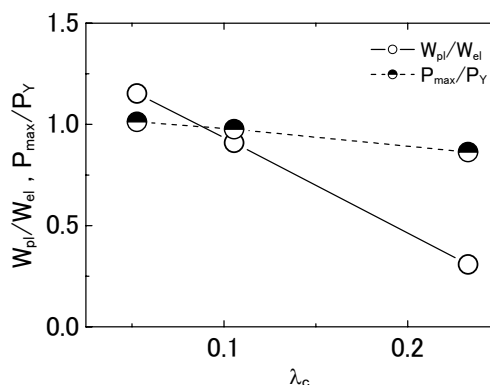


図4 塑性仕事に対する λ_c の影響

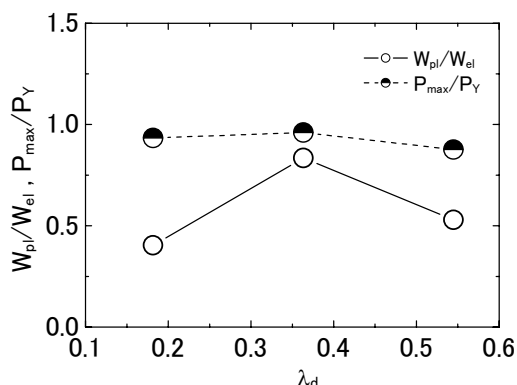


図5 塑性仕事に対する λ_d の影響

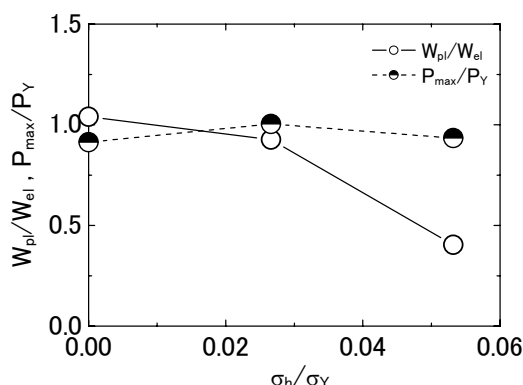


図6 塑性仕事に対する σ_h / σ_Y の影響

参考文献

- (1) 例えば、シェルの振動と座屈ハンドブック，日本機械学会編(2003)
- (2) Berry, P. A. et al., J. Eng. Mech., Vol. 126-4(2000), pp. 405-413.
- (3) Teng, J. G. et al., J. Eng. Mech., vol. 118-2(1992), pp. 229-247.