

鋼管の局部座屈強度に及ぼすひずみ硬化特性の影響

正会員 NKK ○鈴木 信久 松山 英治
NKK 遠藤 茂 吉川 正樹 堀川 浩之

1 概要

鋼管の局部座屈強度は、パイプラインや鋼管を構造部材とする構造物の設計において、重要なパラメータの一つである。既往の研究や設計基準、設計指針では、鋼管の局部座屈ひずみの推定式が管径 D と管厚 t の関数で表されており、鋼材のひずみ硬化特性が変数として考慮されていない。そこで本文では、ひずみ硬化特性が異なる数種類の鋼管の局部座屈実験結果に基づいて、ひずみ硬化特性が鋼管の局部座屈強度に及ぼす影響について報告する。

2 既往の研究による鋼管の局部座屈ひずみ

既往の研究¹⁾ および設計基準^{2,3,4)} における鋼管の局部座屈ひずみの推定式を表 1 に示す。海外の基準では、鋼管の局部座屈実験で得られた局部座屈ひずみを下限包絡する曲線で表されている。またガス導管耐震設計指針⁴⁾ では、軟鋼系の鋼管の局部座屈実験に基づいて、応力ひずみ曲線をべき乗硬化則で表した場合の硬化指数を一定値とした推定式が提案されている。各推定式による局部座屈ひずみの計算値を図 1 に示す。

表 1 局部座屈ひずみの推定式

基準等	推定式
Sherman ¹⁾	$\epsilon_b = 16(t/D)^2$
BMI ²⁾	$\epsilon_b = 2.42(t/D)^{1.59}$
CSA ³⁾	$\epsilon_b = 0.5(t/D) - 0.0025$
JGA ⁴⁾	$\epsilon_b = 35(t/D)(\%)$

3 ひずみ硬化特性を考慮した鋼管の局部座屈ひずみ

(1) ラウンドハウス型 (RH 型)

鋼材の応力ひずみ曲線が図 2 に示すように RH 型で連続硬化する場合、応力ひずみ曲線は (1) 式のようにべき乗硬化則で表され、局部座屈ひずみは (2) 式で表される^{5,6)}。

$$\sigma = A\epsilon^n \dots\dots\dots (1)$$

$$\epsilon_b = \frac{4}{3}\sqrt{n} \frac{t}{D} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 σ : 公称応力、 ϵ : 公称ひずみ、 A : 比例定数、 n : ひずみ硬化指数。

(2) バイリニア型 (BL 型)

応力ひずみ曲線が図 2 に示すように BL 型で線形硬化する場合、降伏後の応力ひずみ曲線を (3) 式のように表すと、局部座屈ひずみは (4) 式のように表される。

$$\sigma = mE\epsilon + C \dots\dots\dots (3)$$

$$\epsilon_b = -\frac{\epsilon_y}{2m} + \sqrt{\left(\frac{\epsilon_y}{2m}\right)^2 + \left(\frac{4t}{3D}\right)^2} \approx \frac{16}{9} \frac{m}{\epsilon_y} \left(\frac{t}{D}\right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 mE : 塑性域の接線係数、 m : ひずみ硬化係数、 C : 定数、 ϵ_y : 降伏ひずみ。

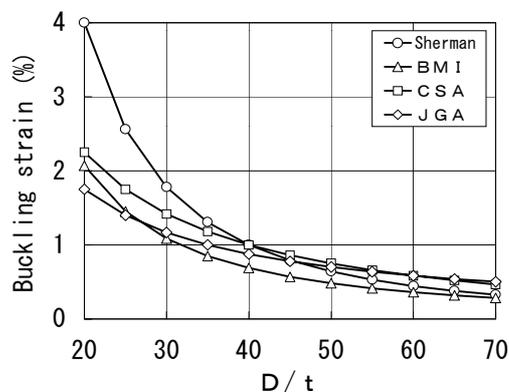


図 1 推定式による局部座屈ひずみ

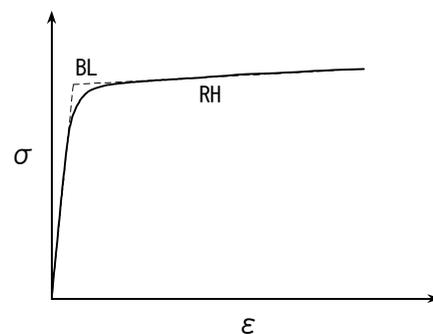


図 2 応力ひずみ曲線

キーワード : 鋼管、局部座屈、塑性座屈、座屈ひずみ、ひずみ硬化

〒210-0815 川崎市川崎区南渡田町 1-1 NKK エンジニアリング研究所 Tel:044-322-6234 Fax:044-322-6511

4 鋼管の局部座屈ひずみに及ぼすひずみ硬化特性の影響

(1) 座屈実験の概要

ひずみ硬化特性が鋼管の局部座屈強度に及ぼす影響を調べるため、管径管厚比 $D/t=40, 44$ を試作して圧縮座屈実験を行った。供試管の寸法緒元と材料の機械的性質を表 2 に示す。

(2) 座屈ひずみ推定式の精度

座屈実験で得られた座屈ひずみと座屈ひずみ推定式 (表 1) の比較を図 3 に示す。図に示すように、座屈実験で得られた座屈ひずみは 0.9~1.6%と変化しているのに対し、推定式では同一 D/t の供試体の座屈ひずみが同一になっている。これは、供試体の管径管厚比が $D/t=40, 44$ と一定であるためである。この図によると、Sherman と CSA 以外の推定式は座屈ひずみを安全側に推定できるが、全体的には、鋼管の優れた変形特性を過少評価していることが分かる。

(3) ひずみ硬化特性の影響

供試体の局部座屈ひずみを (2) 式および (4) 式で計算した結果と実験結果の比較を図 4 に示す。図に示すように、両式とも D/t の他にひずみ硬化指数 n またはひずみ硬化係数 m を考慮しているため、局部座屈ひずみの計算値は横軸に沿って展開しており、推定精度が向上している。図 4 に示すひずみ硬化指数 n について計算した結果の方がひずみ硬化係数 m の結果よりも実験結果に対する推定精度が高い。

5 まとめ

鋼管の局部座屈強度に及ぼすひずみ硬化特性の影響を調べるため、 $D/t=40, 44$ でひずみ硬化特性が異なる鋼管を試作して局部座屈実験を行った。今回行った局部座屈実験データの範囲ではあるが、座屈ひずみ推定式は D/t の関数のみで表されているために局部座屈ひずみを安全側に推定することができるが、ひずみ硬化特性を考慮していないために鋼管の座屈ひずみを過少評価する傾向がある。

したがって、鋼管の局部座屈ひずみを向上させるために製造時に鋼材のひずみ硬化特性を制御する場合には、(2) 式あるいは (4) 式に示すひずみ硬化特性を考慮した推定式によって鋼管の変形性能を適切に評価することができる⁷⁾。

参考文献

- 1) Sherman, D : Tests on Circular Steel Tubes in Bending, ASCE Journal of Structural Division, Vol.102, ST11, 1976.
- 2) Stephens, D.R. Olson, R.J. and Rosenfeld, M.J. : Topical Report on Pipeline Monitoring-Limit State Criteria, BMI, 1991.
- 3) CAN/CSA-Z662-96 : Oil and Gas Pipeline Systems, Can. St. Assoc., Etobicoke, Ontario, Canada, M9W 1R3.
- 4) (社)日本ガス協会 (ガス工作物等技術基準調査委員会) : ガス導管耐震設計指針, JGA 指-206-00, 2001.
- 5) Gerard, G. : Compressive and Torsional Buckling of Thin Wall Cylinders in Yielded Region, NACA, TN-No.3726, 1976.
- 6) 加藤 勉, 秋山 宏, 鈴木弘之 : 軸圧縮力を受ける鋼管の塑性局部座屈耐力, 日本建築学会論文報告集, 第 204 号, 9-17, 1973.
- 7) Suzuki, N., Endo, S., Yoshikawa, M. and Toyoda, M. : Effect of Work Hardening Parameters on Inelastic Local Buckling Strength of Linepipes, ASME OMAE01/MAT-3104, June, 2001.

表 2 座屈実験供試体の諸元

No.	D(mm)	D/t	n	m
No.1	610	40	0.07	0.0056
No.2	610	40	0.08	0.0085
No.3	610	40	0.19	0.0557
No.4	711	44	0.11	0.0152
No.5	711	44	0.14	0.0308

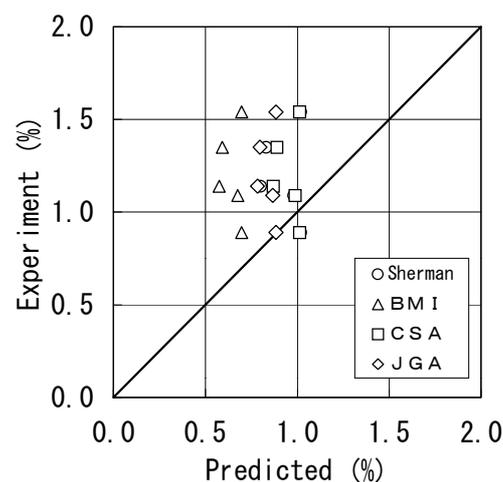


図 3 局部座屈ひずみの比較

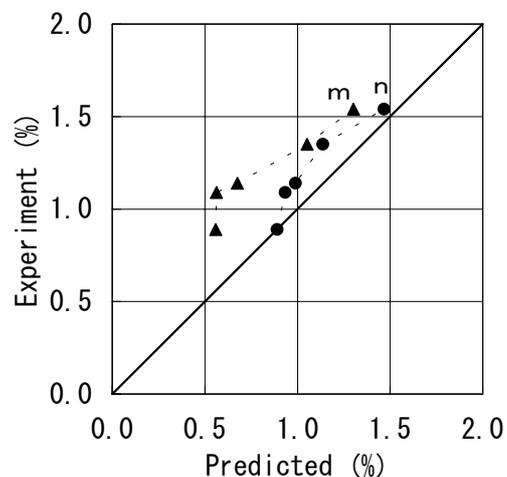


図 4 n、m を考慮した局部座屈ひずみ