

I-90

薄肉短円筒の塑性せん断曲げ座屈試験と解析

電力中央研究所 正会員 ○中村 秀治
電力中央研究所 正会員 松浦 真一
電力中央研究所 正会員 桜井 彰雄

1. まえがき

本報告は、電力中央研究所が実施した半径・板厚比 $(R/t) \approx 200$ 、高さ・半径比 $(L/R) = 1.0 \sim 1.2$ の SUS304 製短円筒のせん断曲げ座屈試験結果および、解析の概要を述べたものである。座屈荷重、座屈モード、座屈後の繰返し復元力特性を実験的に求め、座屈荷重以上の地震力が作用した場合の動的挙動について検討するための基礎的データを得ることを目的としている。

2. 座屈試験方法

座屈試験装置は Fig. 1 に示した通りであり、スクリュウ式(油圧式ではない)ジャッキの水平方向載荷容量は 100Ton である。供試体の下端は床に固定し、上端に治具を介して水平方向荷重を加えた。

供試体は Fig. 2 に示した形状であり、試験部円筒はステンレス板をまいた後、溶接で仕上げている。計測項目は、円筒の板厚、材料物性、形状不整、荷重、変位、ひずみである。

3. 試験結果と考察

各々の供試体について、ほぼ仕様通りの板厚が確保出来ており、形状不整も真円からのずれが最大でも 1.3mm 以内に入っていることを確認した。座屈試験結果は Table.1 の通りであり、試験結果の再現性の良いことを確認しつつ進めた。試験の結果、明らかになった特徴的な事項は以下の通りである。

- (i) 最大荷重を支配するのは、Fig. 3, に示すせん断座屈モードであり、周方向波数は、10～12であった (Fig. 4)。座屈後の変形が大きくなると、圧縮縁基部に曲げ座屈による二次モードが現われた。
- (ii) 0.2% 耐力の約 80～90% でせん断座屈した。
- (iii) 座屈後の繰返し荷重による履歴特性の一例は、Fig. 5 に示した通りである。座屈後の荷重の低下は、軸圧縮座屈の場合と比べて、全般的に緩やかである。座屈時水平変位の 3 倍、4 倍、5 倍で荷重方向を反転したが、反対方向荷重が初めて作用した場合の最高荷重は座屈荷重とほぼ等しかった。

なお、設計の観点から次に示す ϕ -Method の適用性を検討した。

$$\frac{1}{Q_{\max}^2} = \frac{1}{Q_0^2} + \frac{1}{Q_{cr}^2}$$

ここで、 Q_{cr} : Elastic Buckling Load

Q_0 : $\pi r t \sigma_0 = \pi r t \sigma_0 / \sqrt{3}$ (σ_0 : 0.2% proof stress)

$Q_{\max}$: Plastic Buckling Load

その結果、この場合に限って言えば、 ϕ -Method を用いてかなり試験値に近い値を推定できることが明らかになった。

4. 解析結果との比較

コードとしては MARC を用い、番号 4 の要素 (4 辺形、2 重曲面シェル要素) を用いて解析した。対称性を考慮して 180° モデルとし、高さ方向に 10 要素、周方向に 20 要素に分割した。円筒下端を固定、上端に剛性の高いリングを配置し、リング部に水平方向強制変位を与えた。応力-ひずみ関係は材料試験結果に基づいて、多直線近似で与えた。

形状不整を与える場合は、座屈モードの観察に基づいて周方向 14 波成分までとし、不整測定結果に基づき最大不整量は 1.25mm (板厚の半分) とした。上下方向には sin カーブであたえ、上下端では不整無しとした。

Fig. 6 に解析結果の一例を示すが、座屈荷重は解析値の方が実験値より少し高く (10～20% 程度) なり、傾向として変位-荷重曲線の勾配が急になる。座屈後の荷重の低下も解析値の方が少ない。形状不整については、座屈荷重を下げる効果を有するが、顕著に座屈荷重を引き下げるほどの支配的要因ではない。

現状では、円筒殻のせん断曲げ座屈荷重そのものの推定に解析値を用いることは難しいが、各種要因の感度解析等には適用出来そうである。

参考文献

- 1) Galletly, G. D. and Blachut, J. : Plastic Buckling of Short Vertical Cylindrical Shells Subjected to Horizontal Edge Shear Loads, Transactions of ASME, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 107, May 1985

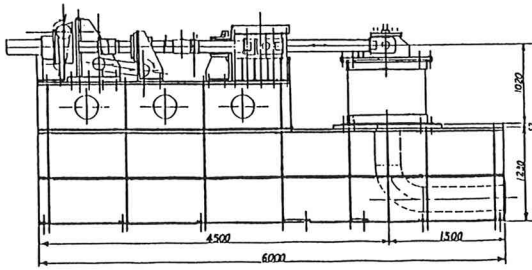


Fig.1 Buckling test setup

Table.1 Buckling test results

Test No.	Buckling load	displacement
(L=500mm) 1	45.8(ton)	1.44(mm)
2	46.1	1.56
(L=600mm) 3	42.7	1.67
4	43.8	1.82

Young's Modulus= $1.97 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$, 0.2% Proof Stress= 25.4 kg/mm^2

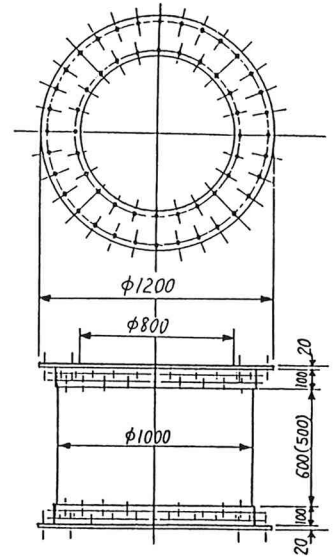


Fig.2 Configuration of cylinder models

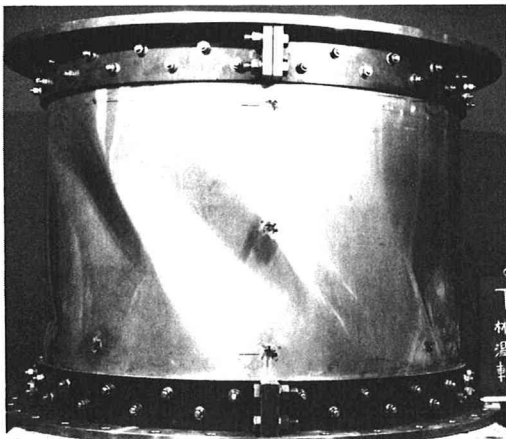


Fig.3 A buckled cylinder model

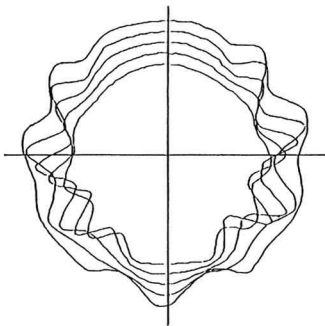


Fig.4 Measured buckling mode shape

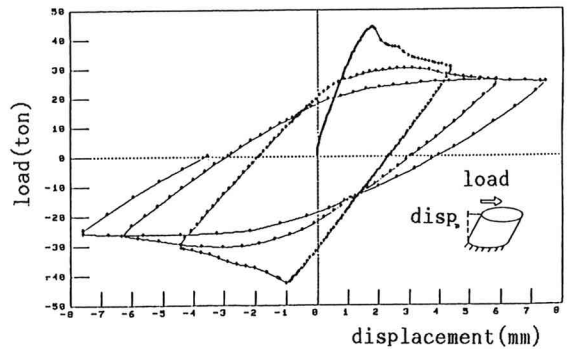


Fig.5 Load-displacement relation (experimental)

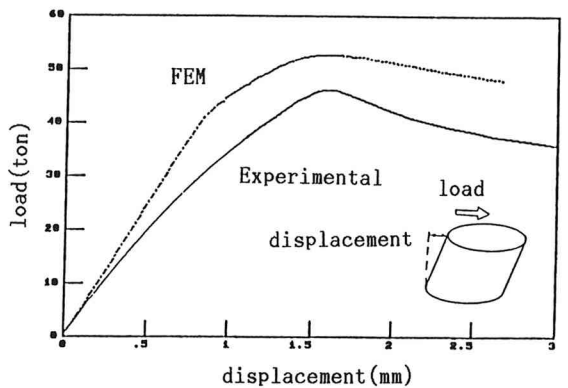


Fig.6 Comparison of load-displacement relations