

I-A 56

繰り返し荷重を受ける円筒殻の軸対称座屈モードの局所化に関する実験

日本道路公団 正会員 小野 聖久  
名古屋工業大学 正会員 後藤 芳顯  
愛知県 山田 浩司

1. はじめに

軸圧縮力を受ける径厚比  $R/t$  の比較的小さな鋼管では、軸対称塑性座屈モードの局所化により塑性変形が一箇所に集中するいわゆるちょうちん座屈が生じ、変形能が大きく低下することが知られている。この種の鋼管に対する既存の载荷実験のほとんどは単調圧縮载荷条件下のものであり、繰り返し荷重下の挙動についてはほとんど明らかにされていない。本研究では、軸対称変形する円筒殻の単調载荷ならびに繰り返し载荷実験を行うことで、繰り返し荷重下の軸対称塑性座屈モードの局所化現象を耐力の低下、ひずみの集中化などの観点から検討を行う。また、単調载荷条件下の挙動については著者らが文献1)で提示した解析手法による数値解析結果との比較も行う。

2. 実験の概要

試験体は高压配管用炭素鋼鋼管 (STS35) より、図1に示す  $R/t$ ,  $L/R$  を変化させた3種類のものを旋盤により製作した。3種類の基本寸法を表1に示す。材料特性を知るために、鋼管の軸方向と平行に切り出した12号(B)試験片を用いて引張試験を行った。材料試験結果と解析に用いたバイリニア型の材料構成則（ヤング係数  $E = 2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$ , 降伏応力  $\sigma_y = 298.9 \text{ MPa}$ , ひずみ硬化  $E/100$ ）を重ねて図2に示す。

実験では、図1の試験体両端をボルトにより载荷治具に固定し両端固定の条件が満足されるようにした。载荷はMTS社製材料試験機を用い、変位制御により行う。繰り返し载荷では両振りの定変位振幅を6サイクル与える。このとき、荷重  $P$  は試験機のロードセルにより、また変形量  $\delta$  はボルトの遊びを含めように円筒の長さ  $L$  間（標点間距離）の変位を軸伸び計により計測する。また、鋼管外側に貼付した2軸のひずみゲージにより局所的なひずみについても計測する。

3. 実験結果

まず、単調载荷試験結果としてCS30-3の平均応力（荷重  $P$  を変形前の円筒断面  $A$  で除した値）—平均ひずみ（変位  $\delta$  を円筒長さ  $L$  で除した値）曲線と、フープ方向と軸方向のひずみの実験結果と解析結果を併せて図3に示す。また、単調载荷条件下の変形モードを写真1に示す。写真1より、荷重のピークである  $\delta/L = 0.5 \times 10^{-2}$  付近までは、ほぼ上下対称な座屈変形が現れるが、途中から変形が上側に集中する局所化が生じ、図3のように大きく荷重が低下する。円筒殻では曲げによる軸方向のひずみだけでなく、フープ方向にも大きな伸びひずみが集中している。実験と解析を比較すると、局所化発生後の荷重低下は実験値の方がわずかに大きい。また解析では、フープ方向ひずみ、軸方向ひずみとも一方の端に伸び・縮みが集中しているが、実験では他端にもややひずみの集中がみられる。これらは図2に示す材料構成則、特に降伏棚の存在とその後のひずみ硬化による影響が大きいと思われるが、全体的な局所化の傾向として両者はよい一致を見

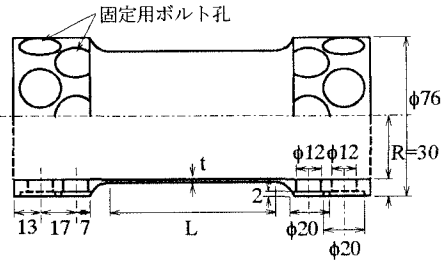


図1 試験体

表1 試験体の寸法

|        | R(mm) | L(mm) | t(mm) | R/t | L/R |
|--------|-------|-------|-------|-----|-----|
| CS30-3 | 30.0  | 90.0  | 1.0   | 30  | 3.0 |
| CS30-4 | 30.0  | 120.0 | 1.0   | 30  | 3.0 |
| CS20-3 | 30.0  | 90.0  | 1.5   | 20  | 4.0 |

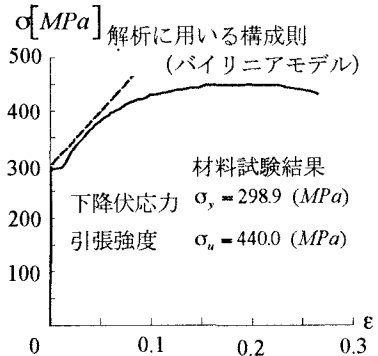


図2 材料試験結果

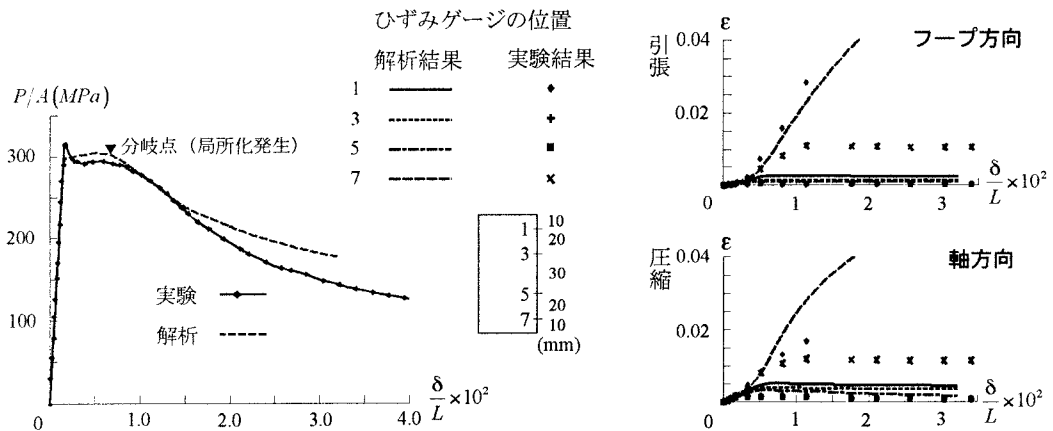


図3 CS30-3の単調載荷時の挙動と各位置のひずみ

せている。

つぎに、繰り返し載荷試験結果としてCS30-3の平均応力-平均ひずみ曲線を図4に示す。また、各サイクルでの最大荷重をCS30-4, CS20-3の結果と併せて図5に、各試験体の繰り返し

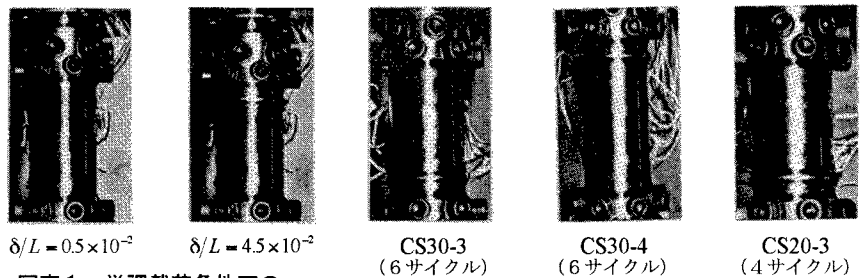


写真1 単調載荷条件下の変形モード(CS30-3)

写真2 繰り返し荷重下の変形モード

荷重下の変形モードとして圧縮側繰り返し点（CS30-3, CS30-4 は6サイクル目, CS20-3 は4サイクル目）での変形形状を写真2に示す。CS30-3では1サイクル目にはほぼ上下対称の変形が生じ、2サイクル目での荷重の低下はほとんどみられないが、2サイクル目には変形の局所化が下端に生じる。このため、3サイクル目以降最大荷重は大きく低下する。写真1, 2より、繰り返し荷重下では単調載荷下と比べ座屈による変形がより顕著に一箇所に集中し、局所化の影響が大きく現れる。

R/tの影響については、図5よりR/tが小さいCS20-3はCS30-3に比べ座屈モードの局所化は発生しにくく、最大荷重の低下は小さい。これは写真2で示すようにR/tが大きいほど座屈波長が小さく、より局所的にひずみが集中するためである。L/Rの影響については、L/Rが大きいCS30-4はCS30-3に比べ最大荷重の低下率が大きい。これは、R/tが一定であればL/Rによらず局所化による変形はほぼ同一であるにもかかわらず、平均ひずみ $\delta/L$ で評価する場合、この値が同一でもLが大きくなると変位 $\delta$ が大きくなり、劣化傾向が顕著に現れるためである。

〔参考文献〕1) 後藤、小野、鳥羽、小畑：軸対称変形する円筒殻の座屈モ

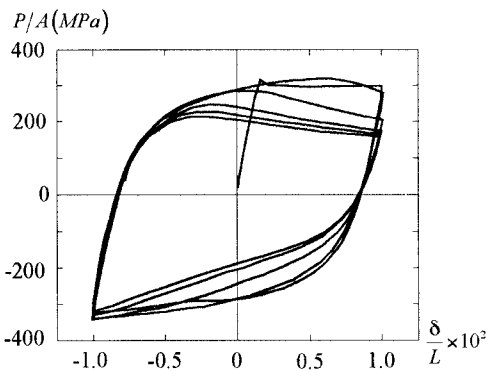


図4 CS30-3の繰り返し荷重下の挙動

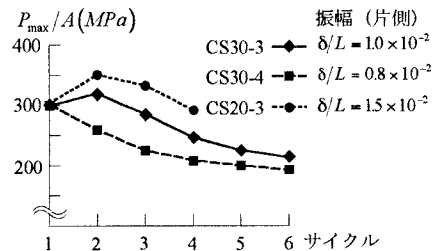


図5 各サイクルでの最大荷重の推移

ードの局所化と繰り返し荷重下の挙動、第44回応用力学連合講演会、講演予稿集、pp193-194、1994年12月