

円筒構造物の変形パターンについての一考察

広島大学 学生会員 ○石井 崇之
 広島大学 正会員 有尾 一郎
 広島大学 正会員 藤井 堅

1. 本研究の目的

本研究は、高次の対称性を持つ円筒構造に、ある力学パラメーターのもとで様々な変形パターンが現れた時のパターン変化に伴う「対称性の自発的破れ」の現象について実験を行った。ある一連の階層的なパターン変化である「対称性の自発的破れ」を実証するために、円筒構造物の対称性崩壊実験を通してその変形挙動を確認した。

2. Couette-Taylor 流

図-1のような隙間を液体で満たした供試体の内側の円筒をゆっくり回転させ、流れの状態を調べた。最初無限に対称性を持っている流れは、回転速度のパラメータを上げ Taylor 渦になると鉛直方向に対する無限の並進対称性から渦の高さの整数倍という部分群へと破れ、波状渦になると、さらに対称性は落ち、すべての角度で成り立っていた無限の回転対称性が、有限の回転対称性に落ちる。また波状渦は定常な流れではなく、任意の時間並進に対して不変な定常流から、周期の整数倍の時間並進に対してのみ不変な流れとなる。乱流に至っては明白なパターンを持たず、対称性をほとんど持たないものと考えられている。

3. 円筒構造の圧縮

円筒供試体を上下方向から圧縮する。この時の表面に現れるパターンの変化を、対称変換に注目しながら観察する。圧力を上昇すると、ダイヤモンド、斜め縞、エcheロンパターンと階層的に対称性は破れていく。この変化を図-3に示す。

(1) 円筒構造と流れの比較

Couette-Taylor 流れと、円筒構造の対称性の破れについての対称変換を着目する。表-1に Couette-Taylor 流れ、円筒供試体に表れるパターンの持つ対称変換を表した表中の項目が右側にあるほど対称性が落ちていく。また、Taylor 流れは時間的に変化するので時間対称性も落ちていくが、円筒供試体では時間対称性は残る。この点を除くと二つの対称破れは同じように変化

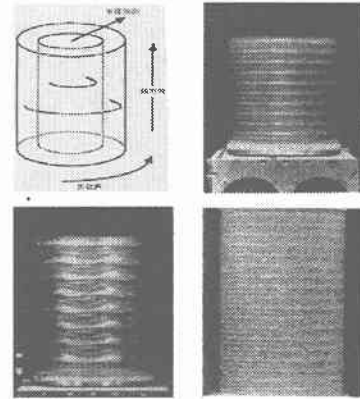


図-1 円筒流れのパターン変化



(a) ダイヤモンド (b) 斜め縞 (c) エcheロン

図-2 パターン変化

している。

4. 対称性崩壊パターンの実験

図-4のような表面を格子状に切ったポリエステルでできた円筒の円中心外径 13mm、内径 9mm の穴をあけ管を差し込む。管と穴の隙間には空気が漏れないように、シーリング材を塗り、完全密閉にし空気が抜けるのを防ぐ。空気を一定の強さで抜き、表面上の格子状の点の変化量を計測した。これらを繰り返して円筒の表面の起伏変化を定量的に測定した。

5. 実験結果と考察

高さ 15cm の円筒供試体の側面の変形パターンは図-3のように変形した。円形であった供試体は圧力を減少

表- 1 各種運動に伴う対称性の退化

Taylor 流	流れ	Taylor 渦	波状渦	乱流 Taylor 渦
対称変換	$C_{\infty}(\psi), t_{\infty}(z), t_{\infty}(t)$ $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	$C_{\infty}(\psi), t_n(z), t_{\infty}(t)$ σ_y, σ_z	$C_n(\psi), t_n(z), t_n(t)$ σ_y, σ_z	$t_n(z)$
円筒供試体	C	DI	OB	EC
対称変換	$C_{\infty}(\psi)$ $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	$c(\frac{\pi}{n})t(\frac{L}{2n})$ $\sigma_y \sigma_z$	$c(\psi)t(l)$ $\sigma_y \sigma_z$	$c(\frac{-2\pi n}{k})tL(\frac{n}{k})$

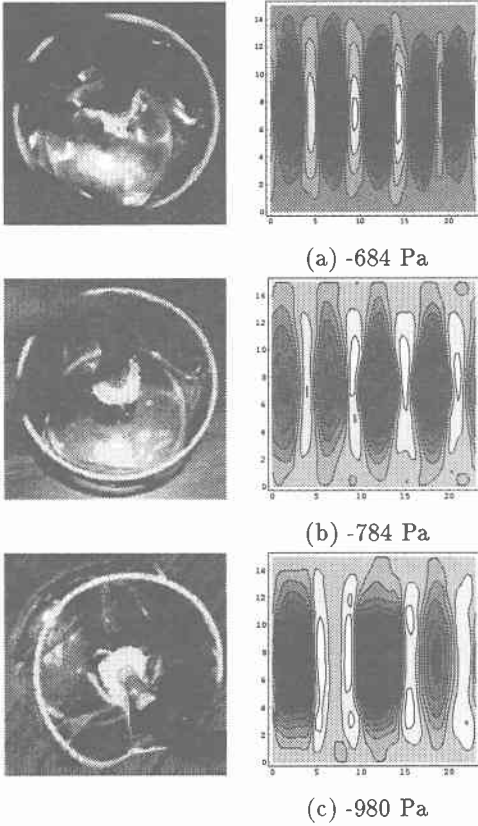


図- 3 パターン変形図

すると、-686Pa、-784Pa、-980Paで5角形、4角形、台形と対称性が低下していく様子が観察できた。他の供試体についても同様な結果が得られた。ここに高さ15cm 供試体の圧力と、体積変化の関係を図-5に表す。圧力が-620Pa までは体積変化は全く無い。-620Paを超えると体積はゆっくりと減少する。そしてパターンを変えながら、体積は変化していった。このように実験からも、供試体が階層的に対称性が破れていく様子が得られた。この対称性の破れは既往の研究とも一致する点が多く、一連のパターン変化が存在すること

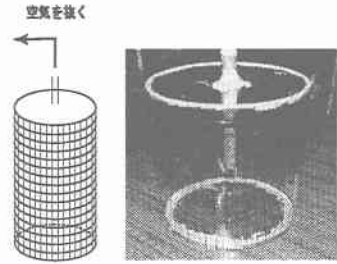


図- 4 実験供試体

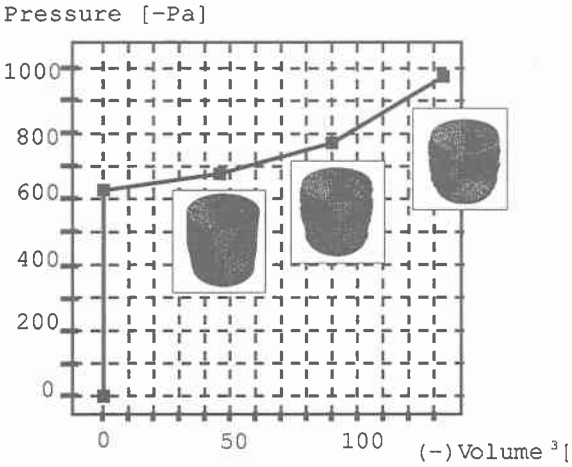


図- 5 高さ15cm 供試体の圧力と体積変化の関係

が確かめられた。

参考文献

J.M.T.Thompson and H.B.Stewart :Nonlinear Dynamics and Chaos Geometrical Methods for Engineers and Scientists ,John Wiley & Sons Ltd ,1986