九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

回転同軸円筒間の流れにおける有限円筒長の効果

烏谷, 隆
九州大学応用力学研究所 : 助手

https://doi.org/10.15017/4743702

出版情報：應用力學研究所所報. 59, pp.37-42, 1983-09. 九州大学応用力学研究所
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

回転同軸円筒間の流れにおける有限円筒長の効果

烏　谷　　隆*

概　　要

内側の円筒が回転する同軸円筒間の流体に誘起される流れに関して，Taylor 渦流，周期流への転移点と転移後の状態に対する液柱の長さの変化による影響を調べた。

可視化実験より次のことが明らかになった.

1. 渦流への転移点はアスペクト比が20以上ではほぼ一定である.
2. アスペクト比によって渦流の数および周期流の波動の山の数が一義的に定まるわけではない.
3. 周期流への転移点はアスペクト比が30以下で急激に大きくなる.
4. 波動の周期と円筒の回転周期との比はアスペクト比が30以上ではほぼ一定で 2.1 になる.

Key words: Rotating cylinder, Taylor-vortex flow, Periodic flow, Aspect ratio, Finite-annulus effects

1. はじめに

1923年の Taylor による理論および実験以来，回転同軸円筒間の流れに関する研究が進められ，多くの興味深い現象が明らかにされて来た.[1)2)] 最近 Gollub, Swinney 達によりこの流れが，内側円筒の回転速度を大きくするにつれ，Couette 流，Taylor-vortex 流，周期流，準周期流，乱流と転移してゆくことが明らかにされた.[3)] 流れが段階的に複雑になるため，円筒間流れは乱流へ遷移するメカニズムを研究するための適当な系となっている.

本研究では，円筒の長さ（液柱の長さ）の変化により流れが受ける影響について調べた. 特に，Couette 流より Taylor-vortex 流への転移，Taylor-vortex 流より周期流への転移に対し転移点と転移後の状態について調べた.

流れを支配する量として，内側の円筒のみを回転させるので，テイラー数ではなくよく用いられるレイノルズ数 R を採用する. レイノルズ数の定義は以下の式である. テイラー数はこのレイノルズ数の2集に比例している.

$$R \equiv r_i \omega (r_o - r_i)/\nu$$

r_i：内円筒の半径

* 九州大学助手，応用力学研究所

r_o：外円筒の半径

ω：内円筒の回転角速度

ν：液体の動粘性係数

2. 実験装置

図1は実験装置の概略図である。アクリル樹脂製の直径 16.5 cm の円筒と直径 18.4 cm の円筒を直径 1.5 cm のステンレス棒が共通の円筒軸となるように同軸状に組み合わせた．内側の円筒はステンレス棒に固定し，ステンレス棒を誘導モータにより回転させる．外側円筒に密着したドーナッツ状のアクリル樹脂製円盤を上下させることにより，液柱の長さ h を変化させる．

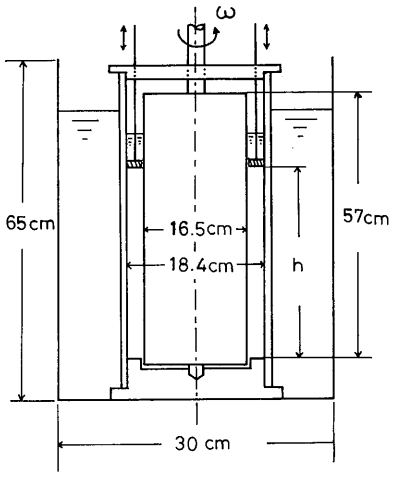

図1．実験装置の略図

円筒間に入れる液体として水を使用した．流れの模様を可視化するため，流体中にアルミニューム粉末を混入した．その体積分率はおよそ $4\sim5\times10^{-5}$ であるのでアルミニューム粉末の混入による水の粘性の変化は無視できる[4]．

水温を一定に保つために装置を水槽の中に入れ実験を行った．斜め上方よりライトを当て，水槽正面より観察した．

3. 実験結果

実験は Taylor-vortex 流への転移点より充分小さいレイノルズ数で Couette 流状態にし，それ以後周期流になるまで小きざみに段階的に回転数を上げて行った．

Couette 流より Taylor-vortex 流への転移では，渦流は上下端部分より生じ始め，レイノルズ数を上げるにつれて中心部分へ及ぶ．Coles (1976) が示した通り転移は連続的である．全体が渦流状態になるレイノルズ数は，渦流が上下端部分に生じ始めるレイノルズ数より 2～5％大きい．なお Taylor 理論より導かれる転移レイノルズ数は 129.5 である．

渦流の数はアスペクト比 $\Gamma(\Gamma=h/(r_o-r_i))$ に近い偶数になる．しかしアスペクト比により一義的に決まるわけではなく，同一のアスペクト比で異った渦流数の状態が安定して存在し得る．一度定まった渦流の数は周期流への転移の際には変化しない．

Taylor-vortex 流より周期流への転移に於いて，渦流は中心部分より振動を始める．レイノルズ数を上げるにつれて上下端方向部分も振動状態になる．全体が振動状態になるレイノルズ数は，中心部分が振動し始める値より 5～10 大きい．

円周方向に進行する波動の山の数はアスペクト比が大きい程少なく，その最少の数は 2 である．渦流

の数によって山の数は一義的に定まるとは限らない.

実験結果をまとめたものを図2，3に示す.

図2の下方の点は Taylor-vortex 流への転移点を表している．全体が渦流となった時を転移点とした．アスペクト比が20以上では転移点はほぼ一定である．20以下ではアスペクト比が小さくなると転移レイノルズ数は小さくなる傾向がある．図2の上の方の点は周期流への転移点を表している．中心部が振動し始めた時を転移点とした．周期流への転移レイノルズ数は，アスペクト比が30以下で急激に

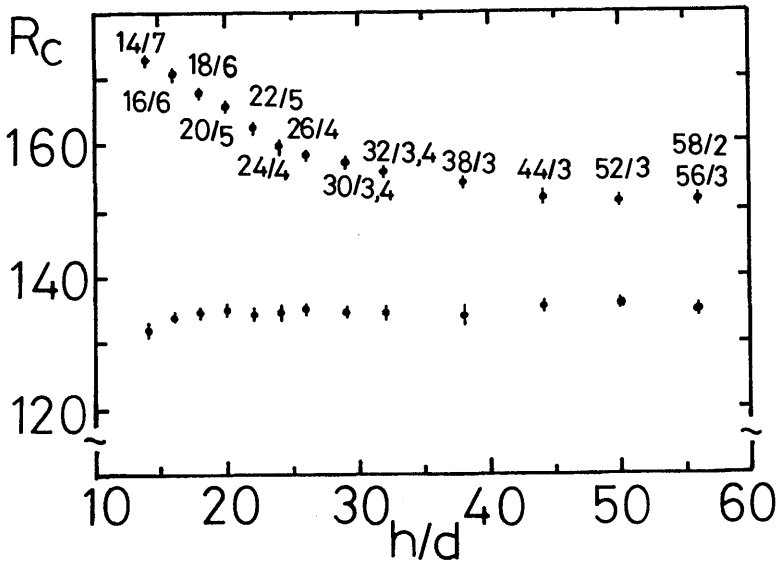

図2．各アスペクト比に対する転移レイノルズ数 R_c と転移後の状態．$d=r_o-r_i$

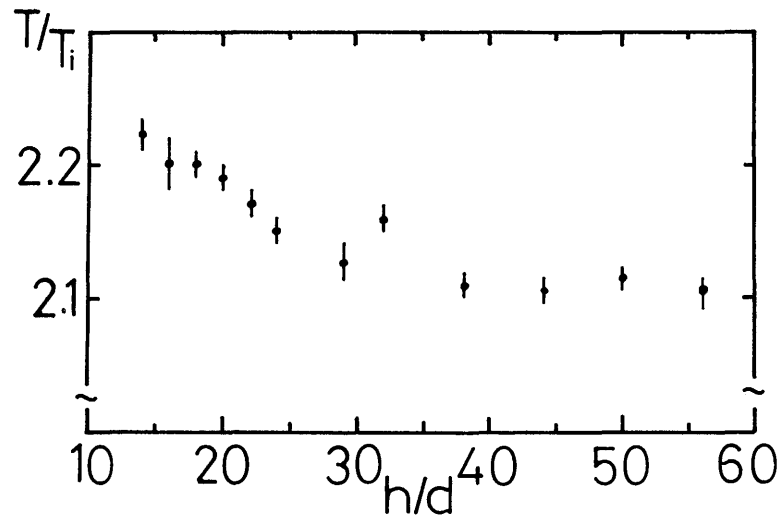

図3．各アスペクト比に対する波動の回転周期 T と円筒の回転周期 T_i の比

大きくなることが見て取れる．これは Coles (1976) の結果と対応している．点に付随している数字は，斜線の左側の数字が渦流の数を表し，右側の数字が波動の山の数を表している．

図3は波動が円筒を一周するために要する時間と内円筒の回転周期との比を示している．

この比は，アスペクト比が同一ならば渦流の数および山の数によらず一定である．アスペクト比が30以上では，アスペクト比によらず，ほぼ2.1となることが解る．

以下に5枚の図を示す．これらの図は四面より同時に写した写真を結ぎ合わせたものである．図4と5はアスペクト比が56で58/2の状態と56/3の状態を示している．図6と7はアスペクト比が32で32/3

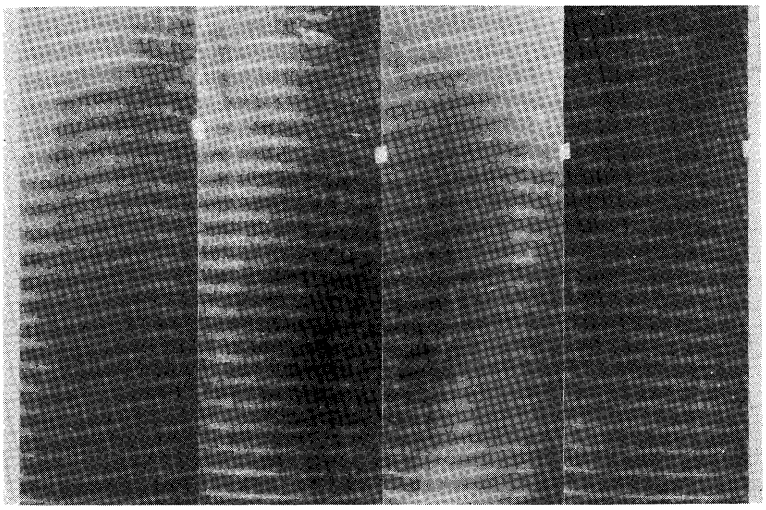

図4．周期流 $\Gamma=56$, $R=154$, 58/2

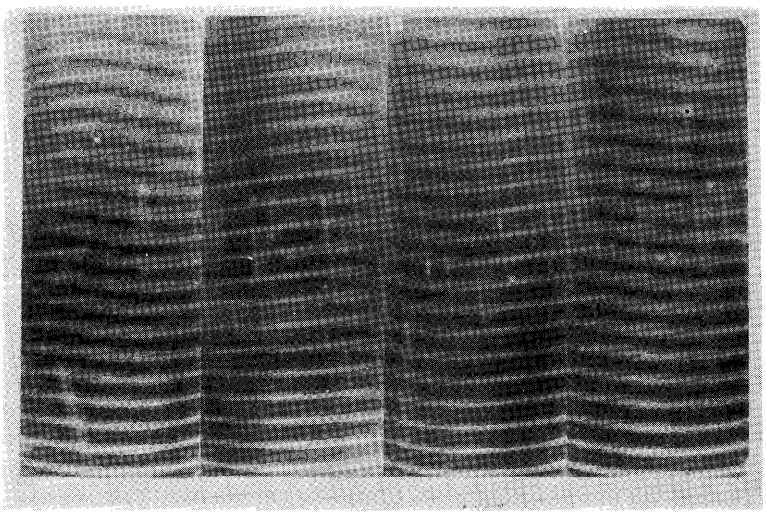

図5．周期流 $\Gamma=56$, $R=153$, 56/3

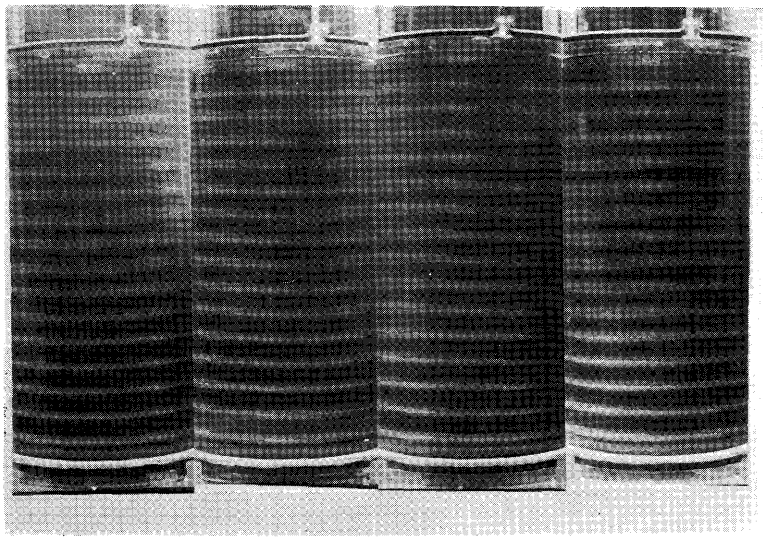

図6．周期流　$\Gamma=32$，$R=158$，32/3

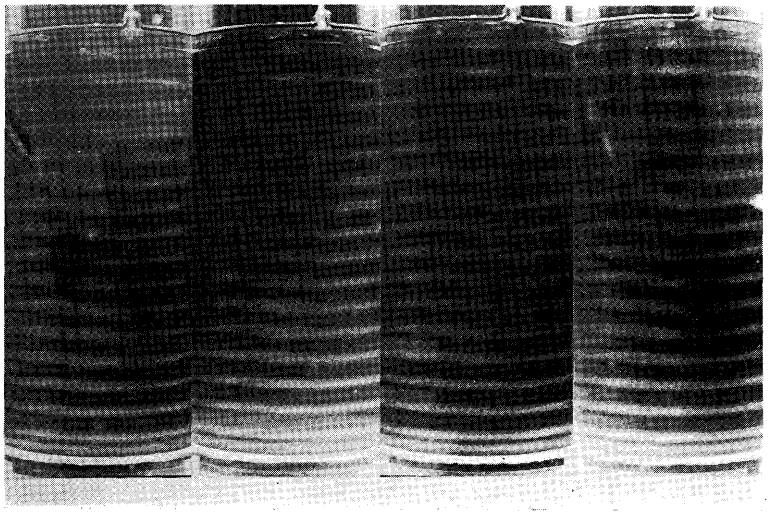

図7．周期流　$\Gamma=32$，$R=159$，32/4

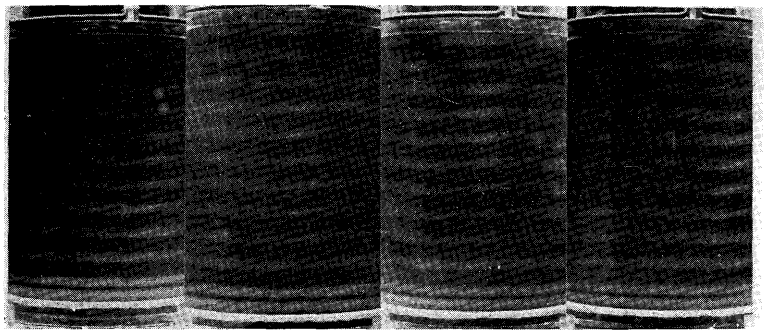

図8．周期流　$\Gamma=22$，$R=163$，22/5

の状態と32/4の状態を示している．図8はアスペクト比22で22/5の状態を示している．

4. まとめ

内側が回転する同軸円筒間の流れに対する有限円筒長の効果を調べた．その結果，アスペクト比が20以下では，Taylor-vortex 流状態を安定化する効果が著しくなることが解った．また同一のレイノルズ数に対して異なった複数の状態が安定して存在し得ることが確認された．

謝辞

実験装置を作製するに当たり御協力いただいた本研究所工作場の浜野百合松氏にお礼申し上げます．著者研究室の石井幸治技官の御協力と有益な御助言に厚くお礼申し上げます．

本研究は，科学研究費の援助により行われたものである．

参考文献

1) Taylor, G. I.: *Stability of a viscous liquid between two rotating cylinders*, phil. Trans. Roy. Soc. A **223** (1923) 289.

2) Coles, D.: *Transition in circular Couette flow*, J. Fluid Mech. **21** 3 (1965) 385; *Taylor-vortex instability and annulus-length effects*, J. Fluid Mech. **75** (1976) 1.

3) Gollub, J. P. and Swinney, H. L.: *Onset of turbulence in a rotating fluid*, Phys. Rev. Lett. **35** (1975) 927.

4) 大西善元：サスペンション力学とその発展，日本物理学会誌 **37** 9 (1982) 739.

（昭和58年5月31日 受理）