

非同軸回転円筒間に生じるテイラー渦流

烏谷, 隆
九州大学応用力学研究所 : 助手

<https://doi.org/10.15017/4743726>

出版情報 : 應用力學研究所所報. 60, pp.39-44, 1984-09. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :



非同軸回転円筒間に生じるテイラー渦流

鳥 谷 隆*

概 要

内側と外側の円筒の軸が同軸でなく、円筒が互に平行に偏移している回転円筒間に満たされた流体に生じる流れについて調べた。軸が偏移していても内側の円筒の回転角速度が適当な値を越えると、渦輪の対が軸方向に周期的に並んだ Taylor 渦流状の定常流になる。

Key words: Non concentric rotating cylinders, Taylor vortex flow.

1. はじめに

Taylor-Couette 問題としてよく知られているように、互に回転する同軸二円筒間に満たされた流体に誘起される流れは回転の相対角速度によりその様相が複雑に変化する¹⁾²⁾。内側の内筒のみが回転する場合は比較的単純で最近よく研究されている。ここでも外側の内筒は静止している場合を取り扱う。回転の角速度が小さい時には流れは円筒の軸に対称で軸方向に一樣な円周方向の速度を持つ Couette 流となる。角速度がある値よりも大きいと Couette 流は不安定になり軸方向に周期的な渦輪が発生し Taylor 渦流になる。さらに角速度を大きくすると Taylor 渦流も不安定になり、周期流、準周期流と遷移しつつは乱流状態になることが知られている³⁾。

本研究では、Couette 流から Taylor 渦流へ遷移する場合について Taylor 渦流の安定性について調べた。Taylor 渦流が速度の揺ぎに対し安定であるのは当然なことであるが、円筒系の幾何学的変化に対する安定性に関してはまだ知られていない。ここでは、幾何学的変化として内側と外側の円筒の軸が同軸でなく互に平行にずれている場合について実験的に研究した。第 2 章は実験装置の説明、第 3 章は実験の結果について述べている。第 4 章はまとめである。

2. 実験装置

図 1 は実験装置の概略図である。(a) は横から見た図、(b) は上から見た図である。円筒はアクリル樹脂製の直径 17.980 cm の外円筒と直径 14.925 cm の内円筒でできている。内円筒には直径 1.5 cm のステンレス棒を中心軸として取り付けている。このステンレス棒を誘導モータにより駆動し内円筒を回転させている。外円筒は内円筒に対し平行に移動できるようにしている。

図中の各変数は次のことを表している。

* 九州大学助手、応用力学研究所（辰野正和紹介）

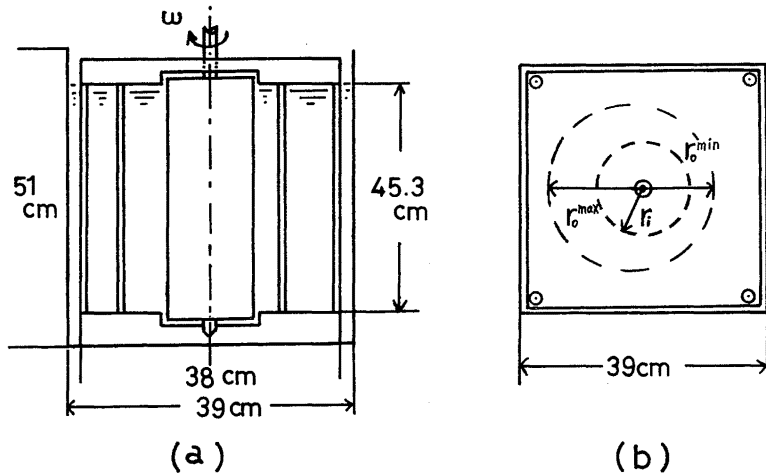


図1. 実験装置の概略.

- r_i : 内円筒の半径,
- r_0^{\max} : 内円筒の中心から外円筒までの最大距離,
- r_0^{\min} : 内円筒の中心から外円筒までの最小距離,
- ω : 内円筒の回転角速度.

円筒間に満たす流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ウム粉末を混入した。水温を一定に保ち円筒表面での屈折率の差を小さくする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

外側と内側の円筒の軸の同軸からの偏移度を表す変数 ϵ として、内外円筒間距離の平均 d と軸のずれの距離 δ との比を用いる。

$$\epsilon = \delta/d, \quad d = (r_0^{\max} + r_0^{\min})/2 - r_i, \quad \delta = (r_0^{\max} - r_0^{\min})/2.$$

回転による流れの駆動力を表す変数として以下で定義されるレイノルズ数 R を用いる。

$$R = r_i \omega d / \nu, \quad \nu: \text{水の動粘性率.}$$

実験は外側の円筒を移動させる毎に流体を静止させ、ついで渦輪が発生する回転角速度より充分小さい角速度で 200~300 回内円筒を回転させ Couette 流状態にした。その後、小さみに段階的に角速度を大きくして行った。この時各段階で少くとも 50 回以上回転させ流れを安定させるようにした。

図2は円筒の軸の偏移が小さい時 $\epsilon = 0.099$ の渦流を示している。この図は円筒間隙が最大の部分の流れの様子であるが、他の部分も同様である。期待されるとうり、軸の偏移が小さい時は Taylor 渦流が安定に存在している。

図3は軸の偏移が大きい時 $\epsilon = 0.491$ の渦流の様子を示している。(a)は円筒間隙が最大の部分の

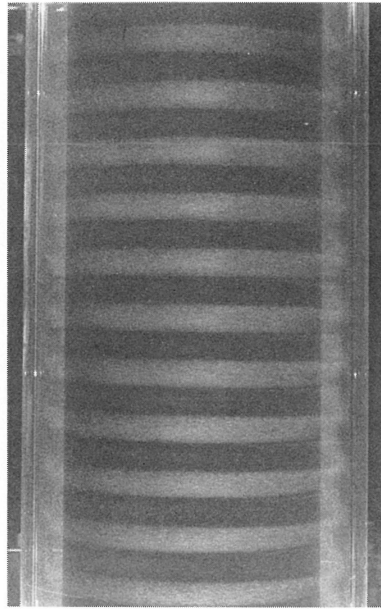


図2. 渦流 $\varepsilon = 0.099$, $R = 119$.

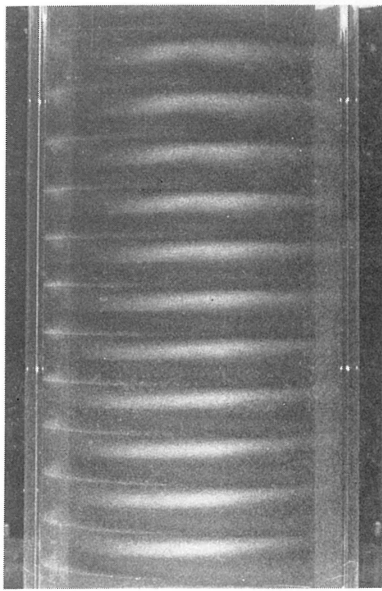
図であり、(b)は(a)から円筒の回転と同じ向きに 90° 回転した部分の図である。(c)は(b)よりさらに 90° 回転したちょうど(a)の裏側に当たる円筒間隙が最小の部分の図である。(d)は(c)よりさらに 90° 回転した(b)の裏側に当たる部分の図である。これらの図は時間が経過しても変化しないので流れは定常状態になっている。これらの図から軸の偏移が大きい時は軸対称でない渦流が安定に存在することが解る。この軸対称性の破れはおよそ $\varepsilon \sim 0.25$ 付近から顕著に見え始める。図4は $\varepsilon = 0.327$ の時の従断面図である。

(a)は円筒間隙最大の部分、(b)は間隙が最小の部分の従断面である。渦輪の対が軸方向に並んでいる。軸対称性はないが渦輪の対が軸方向に周期的に配列していることは Taylor 渦流と同じである。

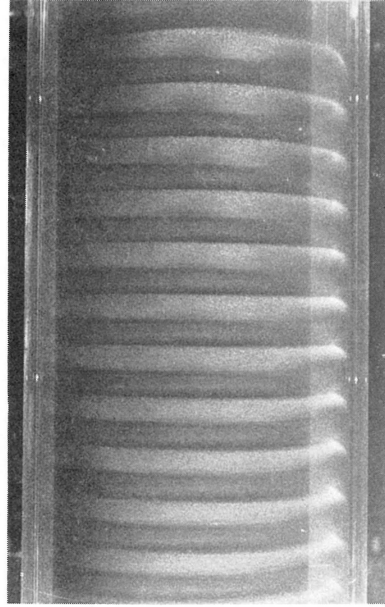
実験では常に円筒の長さが有限であるので遷移は連続的である。渦流への遷移の過程で渦輪は部分的に生じ始め、角速度を大きくするにつれて円筒全体に及ぶ。このため、実験的には円筒全体に渦輪が観察できるようになった時を渦流への転移点として臨界角速度 ω_c を求めた。軸の偏移度と臨界角速度から求めた臨界レイノルズ数 $R_c (R_c = r_i \omega_c d / \nu)$ を表1に示す。図5は表1を対数グラフに書いたものである。この図から、臨界レイノルズ数は偏移が小さい時 $\varepsilon^{1.2}$ に比例することが示唆される。

4. ま と め

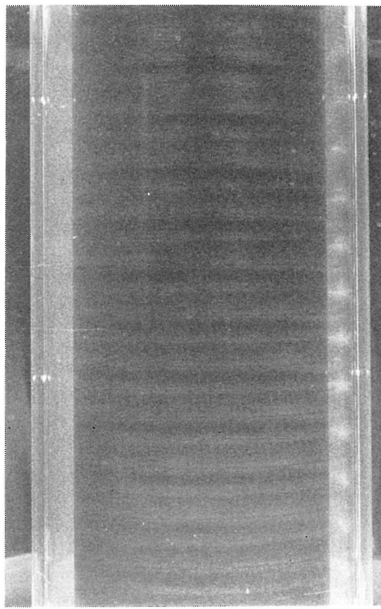
内側と外側の円筒の軸が同軸でなく、円筒が互に平行に偏移している回転円筒間に満たされた流体に生じる流れについて調べた。軸の偏移が大きい場合には、Couette 流は軸対称ではないが渦輪の対が軸方向に周期的に配列した Taylor 渦流状の定常流へ遷移する。軸の偏移が小さい時、渦流への遷移



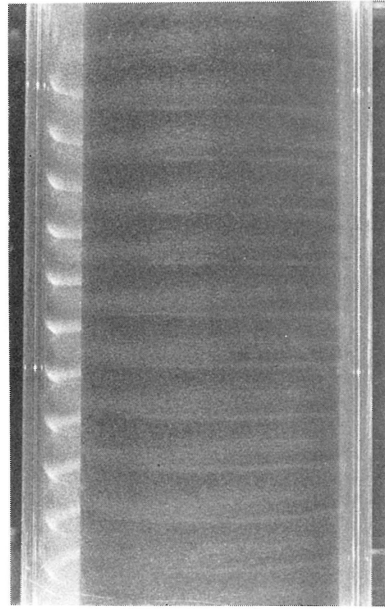
(a)



(b)



(c)



(d)

図3. 渦流 $\epsilon = 0.491$, $R = 155$. (a), (b), (c), (d)の向きに円筒は回転している.

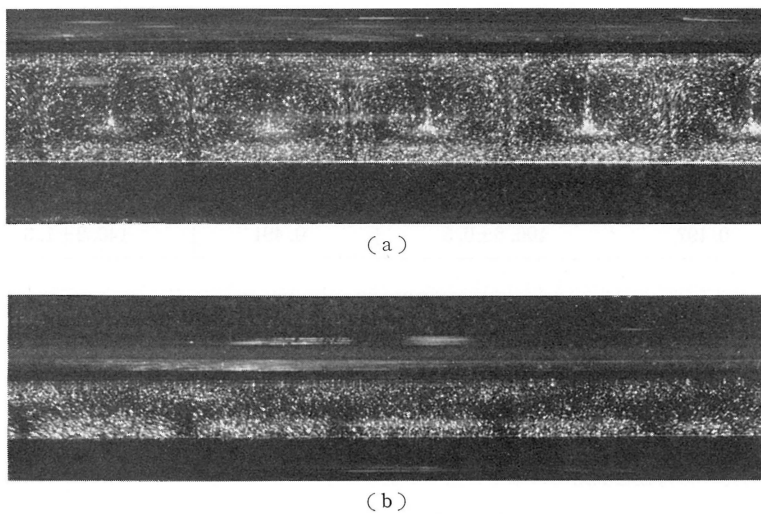


図4. 渦流の従断面 $\epsilon = 0.327$, $R = 148$.

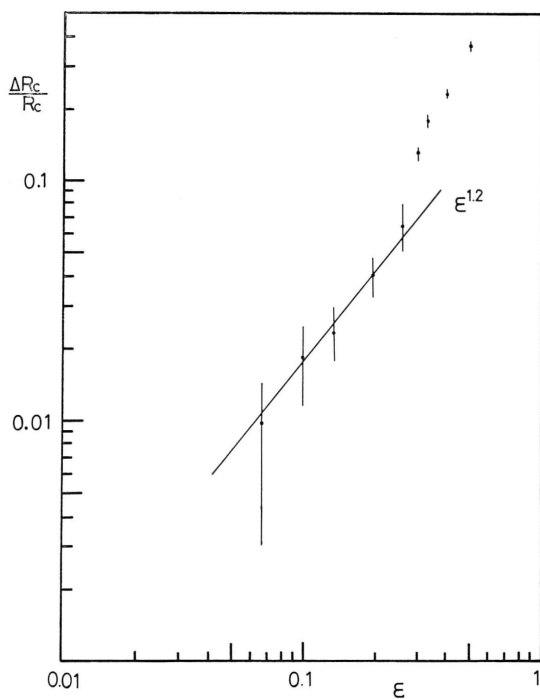


図5. 臨界レイノルズ数と偏移度の関係. 縦軸は $(R_c - R_c^0)/R_c^0$, R_c^0 は同軸の時の臨界レイノルズ数, 横軸は偏移度 ϵ .

表1 実験より求めた渦流への遷移臨界レイノルズ数.

ε	R_c	ε	R_c
0.000	102.6±0.3	0.261	109.3±1.2
0.066	103.5±0.4	0.296	116.3±0.5
0.099	104.5±0.4	0.327	121.3±0.7
0.131	105.0±0.4	0.393	126.4±0.7
0.197	106.8±0.5	0.491	140.2±1.3

レイノルズ数は偏移度の約1.2乗に比例する.

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。
著者研究室の方々の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) Coles, D.: *Transition in circular Couette flow*, J. Fluid Mech. **21** 3 (1965) 385.
- 2) Andercek, C. D., Dickman, R., and Swinney, H. L.: *New flows in a circular Couette system with co-rotating cylinders*, Phys. Fluids. **26** (1983) 1395.
- 3) Gollub, J. P. and Swinney, H. L.: *Onset of turbulence in a rotating fluid*, Phys. Rev. Lett. **35** (1975) 927.

(昭和59年5月31日 受理)