13 軸方向流速を伴う回転同心二重円管内の流動様式の遷移

阪大・工 平井秀一郎[○], 高城敏美, 田中和洋

FLOW PATTERN TRANSITION IN AN ANNULUS WITH A CONCENTRIC ROTATING INNER CYLINDER

Shuichiro Hirai*, Toshimi Takagi, Kazuhiro Tanaka

The visualization of a flow pattern transitions has been carried out in an annulus with a concentric rotating inner cylinder. In order to visualize, the water with aluminum powder was used. Varying the Reynolds and Taylor number, flow pattern transitions of laminar to turbulence flow and of secondary flow was observed.

1. まえがき ラジエントチューブ型の燃焼器等では、燃焼を抑制し、長燃を得るために旋回を加えることがあり、静止円管内の旋回流の流動、混合の問題は工業的に重要な問題となることが多い。静止円管内の旋回流の挙動に関しては、いくつかの研究があり、旋回方向速度成分は、中心部では剛体渦的分布、周辺では自由渦的分布になることが知られている。

著者らは、剛体渦的分布を示す中心部と自由渦的分布を示す周辺部では異なった流動状況になると考え、先に旋回方向速度成分が剛体渦的分布になる中心部の流れ場に相当するより簡明な旋回流れ場として、自軸まわりに回転する円管内の流動に関する菊山らの実験⁽¹⁾をとりあけて数値解析を試みた。乱流が回転円管内に導かれると遠心場内で乱れが抑制されて層流化する現象を示し、応力方程式モデルを用いた数値解析では、この現象が予測できるのに対して良-ε2方程式モデルでは予測できないことを示した。⁽²⁾

旋回方向速度成分が自由渦的分布になる流れ場は、逆に不安定な流れ場となることが予想される。実際、このような不安定流れ場のために、内側の円筒が回転する回転同心二重円管内ではTaylor渦、凹曲面に沿う流れではGoertler渦が生じることが知られている。

本報では、このような不安定な旋回流れ場に相当する簡明な旋回流れ場として、二重同心円管の環状流路において内側の円筒を回転させ、軸方向流速を伴う旋回流れ場を作り、二次流れの様式や層流から乱流へ遷移する過程をアルミ箔を用いて可視化をおこなひ、いくつかの知見を得た。

2. 実験装置および実験方法 図1に実験装置の概略を示す。ポンプによりヘッドタン

Faculty of Engineering, Osaka University; Yamada Oka 2-1, Osaka, Japan

クに導かれた水は、テストセクション内に流れ込む。テストセクションは二重同心円管になり、外側はアクリル製であり、内側のステンレスシャフトは可変速モーターにより回転させた。水にアルミ箔を混入してカメラ1により全体像を撮影した。光源としてスライドプロジェクター1台(300W)を設置し、レンズは焦点距離50mm F1.2標準レンズを使用した。また図2に断面の写真的撮影装置の詳細を示す。アルミ箔を少量水に混入し、厚さ1mmのスリット光線をアクリル管とステンレスシャフトの隙間に照射し、スリット光線の中で光るアルミ箔をカ

Fig. 1, Experimental Apparatus

Fig. 2, Detail of Part A

Fig. 3, Flow Patterns, $Re=400$

Fig. 4, Flow Patterns, Re=400

Fig. 5, Flow Patterns, Re=1000

×2に撮影した。光源としてはスライドプロジェクター1台(750W)を用いて、レンズは焦点距離55mm F3.5マクロレンズを使用した。

3. 実験条件 軸方向および回転方向の流れ場は、それぞれレイノルズ数(Re)、テラー数(Ta)によって支配されると考えられる。 Re , Ta を式(1), (2)で定義する。

$$Re = U(D-d)/\nu \quad (1)$$

$$Ta = Wd\sqrt{d/D}/\nu \quad (2)$$

ここに、 D は静止外管の内径(=68mm)、 d は回転シャフトの外径(=38mm)、 U は軸方向流速、 W はシャフトの周速度とあらわす。本報の実験は、 Re , Ta をそれぞれ変えておこなった。

4. 実験結果およびその考察 図3に $Re=400$ のとき、 $Ta=0, 100, 150, 200, 400, 600, 800, 1000, 2000, 3000$ と変えたときの全体の写真を示す。 $Ta=100$ では、シャフトの回転の影響による二次流れの影響が写真からは観察されないか。 $Ta=150$ でろせん渦が発生する。 $Ta=200$ ではろせん渦が崩壊(かかっており、 $Ta=400$ では鱗状の流れ模様が見られる。 $Ta=600, 800, 1000$ と増加するに従って、軸方向流速よりも回転による半径方向の運動量の交換が大きくなり、

$Ta=2000, 3000$ の領域では、ほぼ乱れたテイラー渦に近いものが観察される。

図4に $Re=400$ のとき、 $Ta=0, 100, 150, 200, 400, 1000$ のときの断面の写真を示す。 $Ta=100$ のときは、回転シャフト付近の流体だけがひまきられて、回転の影響が半径方向の外側にはおよんでいないことがわかる。 $Ta=150$ のとき全体の写真で観察されたいせん渦は、断面の写真では波状の渦がみられる。さらに $Ta=200$ になると波状の渦構造がよりはっきりとあらわれてきて、 $Ta=400$ では規則的な波状の渦構造がみられなくなり、 $Ta=1000$ では乱れた細胞状の渦構造がみられる。

図5に $Re=1000$ において、 $Ta=0, 100, 150, 200, 400, 1000, 2000, 3000$ と変えたときの全体の写真を示す。 $Ta=150$ 付近でらせん渦が発生し、 $Ta=200, 400$ と増加するところせん渦が崩壊するのは同様であるが、 $Ta=1000, 2000, 3000$ となると軸方向流速が大きいため乱れたテイラー渦がみられず、いわゆる乱流へと移行する。

図6に $Re=2400$ で $Ta=0, 150, 400, 3000$ と変えたときの全体の写真を示す。 $Re=2400$ では $Ta=0$ のときはほとんど乱れている様子は観察されないが、 $Ta=150$ のときにらせん渦が観察されず、 Ta 数の増加にともなって乱れていく様子か、また同時に元の乱れのスケールが細かくなっていく様子が観察される。

図7に $Re=5000$ で $Ta=0, 1000, 2000, 3000$ と変えたときの全体の写真を示す。 $Re=5000$ は完全乱流域であり、 Ta 数の増加にともなう明確な流動様式の遷移はないが、乱れのスケールが細かくなっていくのが観察される。

Fig. 6, Flow Patterns, $Re=2400$

Fig. 7, Flow Patterns, $Re=5000$

参考文献

- (1) 菊山ほか 機械学会論文集(B編) 48巻 432号 (1982)
- (2) 平井・高城 第20回日本伝熱シンポジウム講演論文集 A116 (1983)