5 1 4 テイラー・ディーン流れの PIV による計測

The Measurement of Taylor-Dean flow by PIV

正 早水 庸隆 (米子高専) 正 森田 慎一 (米子高専) ○学 藤井 怜 (米子高専)

正 武 暁雲 (東北電力大) 野崎 和雄 (川崎重工) 正 山本 恭二 (岡山大・名誉教授)

Yasutaka HAYAMIZU, Shinichi MORITA, Satoru FUJII, Xiaoyun WU, Kazuo NOZAKI and Kyoji YAMAMOTO

Yonago National College of Technology, 4448, Hikona-cho, Yonago, Tottori 683-8502, Japan

1. 緒言

テイラー・ディーン流れとは、正方形断面を持ち上下および内壁のみが曲がりの中心軸まわりに回転する曲がり管内流に対し、管軸方向に圧力勾配をかけた流れである。すなわち、管軸方向に圧力勾配のある曲がり管のディーン流れとテイラー渦の流れを組み合わせたものとして、その断面の流れのパターンやその変遷の様子などについては大変興味がある。正方形断面の曲がり管において、回転数が小さい場合、その可視化断面の流れの様子は、流量が少ない場合で定常な流れのパターンが見られ、流量が大きくなると非対称で非定常な流れが見られる。しかし、回転数が大きい場合は、流量が少ない場合でも非定常な流れが見られ、その変化の様子は回転数が少なく流量が大きい場合とは大きく異なっている。

本研究では、定常、非定常な流れの様子について PIV 計測を行うことで定量的に比較、検討している。

2. 実験装置と実験方法

Fig.1 Experimental setup

実験装置概略図を図1に示す。まず、①、②のタンクに、作動流体である水を貯める。タンク②にくみ上げられた水は、整流装置④に入る。そして、長さ 50(cm)の直管を通り試験部⑧である、縦横 10(mm)の正方形断面の溝のある回転同軸二重円筒に流れ、内部を約 4 分の 3 周して外へ排水される。試験部の内部を流れる流量は出口にあるバルブ⑭で調節する。また、可視化のためのトレーサは整流装置④から水とともに流される。

Fig.2 Experimental setup (bird's eye view)

試験部を上から見た概略図を図2に示す。実験はまず、回転が無い状態で出口のバルブを閉じて流量を 0 にし、次に一定の回転を与え、さらに少しずつ流量を増やして行った。その間、内円筒は常に一定角速度で回転している。このような過程をさまざまな回転数で行った。断面の可視化は入り口から 180(°)の断面で行い、デジタルビデオカメラを用いて撮影した。撮影した画像は、Dipp-flow(ディレクト製)で解析を行った。可視化断面への照射ライトには、レーザシート光(出力 200(W), 波長 532(nm), シート厚 1(mm))を使用している。トレーサには、修正液にエタノールと水を加え、密度を水と同程度にしたものを使用している。

次に、本実験で使われる無次元数を式(1)に示す。 ν は動粘度(mm²/s)、 Ω は内円筒の角速度(rad/s)である。流路幅 $2a$ は 10(mm)であり、曲がり管の曲率半径 R_0 は 167(mm)である。本実験では無次元曲率 δ は0.03である。流量 Q (mm³/min)および内円筒の角速度 Ω よりレイノルズ数 Re およびテイラー数 Tr を求めた。なお Tr は流体が流れる方向と同じ方向に回転する場合を正、逆に回転する場合を負としている。

$$\delta = \frac{a}{R_0}, \quad Re = \frac{Q}{2a\nu}, \quad Tr = \frac{2\Omega a^2 \sqrt{2\delta}}{\delta\nu} \quad \dots \dots \dots (1)$$

3. 実験結果と考察

実験では、 $Tr < |150|$ の場合では定常な流れの変化が見られた。また、 $Tr > |150|$ の場合では非定常な変化をもつ流れが見られた。この結果は、先の研究結果⁽¹⁾と同様な結果である。それぞれの場合の断面の様子を図3に示す。左側の図は可視化写真であり、全て左側が内壁側であり、右側が外壁側である。上下および左側の壁が回転している。右側の図は、撮影した可視化映像を Dipp-flow で解析を行い、速度ベクトル表示したものである。速度ベクトルは、色で速度の違いを示し、色が濃いものほど速度が速くなっている(10, 5, 2.5(mm/s))。また、断面中心部の速度ベクトルの時間変化における振動スペクトルの結果を図4に示す。縦軸が振幅 A (mm)、横軸が周波数 f (Hz) としている。

3.1 定常の場合

流れが定常な場合、図3(A1)(A2)(B1)(B2)のように上下対称な2渦が見られた。その流れの様子は、(A1)(A2)では内向き2渦、(B1)(B2)は外向き2渦と内向き2渦が合わさった4渦が発生している。定常な流れでは、時間変化による流れの発達、変化は見られていない。図4(A)(B)より、流れが定常な場合には $A(f)$ が $f=1\sim 1.1$ (Hz) の場合に大きなピークが見られる。

3.2 非定常の場合

流れが非定常な場合、図3(C1)~(D8)のように上下非対称な渦が発

生し、時間変化による流れの発達、変化が見られる。これは、内円筒の大きな回転と曲がり管の持つ管軸方向への圧力勾配の影響だと考えられる。

図3(C1)~(C8)の場合では、流れの中心部分が周期的に管内壁側から管外壁側へと周期的に移動している。これは、内円筒の回転と曲がり管の持つ遠心力の影響だと考えられる。図3(D1)~(D8)のような時間変化に伴う流れの変化は、回転が大きく正負どちらの場合でも Re が低いときによく見られる流れの様子である。この場合、 Re の増加に伴い、徐々に上下対称な流れへ発達した。

図4(C)(D)より、流れが非定常な場合には $A(f)$ が $f=0\sim1(\text{Hz})$ の場合に大きなピークが見られる。

Fig.3 Flow patterns

3. 3 考察

$Tr < |150|$ の場合、流れが定常であり(A)(B)のような渦が見られる。(B)のような4渦が見られる原因は、内円筒の回転方向と、流体の管軸方向の速度差によって引き起こされる。 $A(f)$ は $f=1\sim1.1(\text{Hz})$

Fig.4 Amplitude spectrum

前後でピークが見られる。

$Tr > |200|$ の場合、流れが非定常であり(C)(D)のような流れの様子が見られた。 $A(f)$ は $f=0\sim1(\text{Hz})$ 前後の低い領域でもいくつかのピークが見られる。これは、非定常な変化が、ゆっくりと行われるためである。 Re が小さい場合でもこのように非定常な変化が見られるのは、回転が大きいかかわらず全体の流量が少ないため、上下および内壁付近で回転とともに動く流体と、中心部で回転とは逆方向に動く流体の速度差が大きくなりすぎ、対称で定常な変化が保てなくなるからだと考えられる。

流れの速度ベクトルは、それぞれの場合、回転する上下および内壁付近の速度が速く、渦の中心付近の速度が遅いことが分かる。また、流れが定常な場合と比較すると、管外壁側の流れに比べ、管内壁側の流れが激しく変化していることが分かる。

参考文献

- (1) Kyoji Yamamoto, Xiaoyun Wu, Kazuo Nozaki, Yasutaka Hayamizu, *Fluid Dynamics Research*, 38(2006), pp.1-18.