223 一様流中で急回転急停止する中空円筒の 内外流れのPIVによる計測

福井大院 小川雅弘[○], 福井大工 山本富士夫, 福井大工 太田淳一,
大阪大工 井口学, 福井大工 幸川光雄

PIV Measurement of the Inside and Outside Flows of a Hollow Cylinder

— In the Case of Sudden Start and Stop in a Uniform Flow —

Masahiro OGAWA^{*}, Fujio YAMAMOTO^{*}, Junichi OHTA^{*},
Manabu IGUCHI^{**}, and Mitsuo KOUKAWA^{*}

The purpose of the present study is to measure and investigate unsteady flows inside and outside a hollow circular cylinder with sudden rotating and stopping in a uniform flow and finally in order to obtain some fundamental data about the virtual mass effect. The flows inside and outside a hollow cylinder which is made of transparent acrylic resin are visualized by the particle tracer technique and analyzed using the PIV technique based on the two-dimensional binary image cross-correlation method. As a result, the unsteady whole field flows are discussed.

1 緒言

内部に空気の入っている物体が非定常な運動をする場合、内部の空気の流動がその物体の運動にどれくらい影響を与えるのかについての研究は、今までに多くなされていないようである。内部に空気が入っている中空物体の例としては、自動車のタイヤや卓球のボールなどがあげられる。タイヤの場合にはその物体の質量に比べて空気は問題にならないくらい軽いので、その運動に空気流動の慣性力や角運動量は影響を与えないと思われる。しかし、卓球ボールのように軽い物体の場合は内部の空気の流動の影響を検討してみる必要があると思われる。このことは、卓球選手が回転のあるボールに対して重たい打球感を感じるのに関係していると思われる。中空物体において、その内部の流動が周囲流体中の運動に対してどのように影響するのかを調査するためには、中空物体の内部と外部の全流れ場を同時に計測することが必要となる。しかし球などの三次元的な中空物体の内部と外部の流れを同時に計測するのはきわめて困難である。なぜなら、可視化画像計測において光の屈折の影響が大きいからである。ここでは、比較的単純な二次元中空物体の中空円筒を用いて模擬実験を行なった。

本研究では、PIVは全流れ場を同時計測できるという利点を有するため、これを利用して一様流中で中空円筒が急に回転を停止する場合と急に回転する場合の、その内外流れの計測を試みたので、その結果について報告する。すなわち、透明なアクリル樹脂製の中

^{*} Department of Mechanical Engineering, Fukui University, 3-9-1 Bunkyo, Fukui-shi, 910, Japan

^{**} Faculty of Engineering, Osaka University, 2-1 Yamada-oka, Suita-shi, Osaka, 565, Japan

中空円筒の内外流れをトレーサ粒子注入法によって可視化し、PIVの一つの方法である二値化画像相関法によって流れ場の挙動を検討する。あわせて今後必要な改良点について言及する。

2 実験装置

実験装置全体の概略をFig. 1に示す。実験に用いた流体は水道水である。可視化のために用いたトレーサ粒子の直径は200~500(μm)、比重は1.01である。水路のテスト部は断面積が300(mm) $\times$ 300(mm)であり、中空円筒の外径は20(mm)、肉厚は1.5(mm)である。定常で回転している円筒の回転数は、 $\omega = 30(\text{rpm})$ である。また、実験経験により水路の流量調節弁の開度設定を行い、テスト部における一様流速 U が断面平均約18(mm/s)になるようにした。

Fig. 1 Outline of experimental apparatus

3 実験結果および考察

本実験の場合、可視化画像より、次のことが観測された。回転していた円筒が急停止した場合、円筒の内部流体が剛体的な回転な流れになるまでには約 $t_{1i} = 12(\text{sec})$ かかり、外部流体が定常な流れになるまでには約 $t_{1o} = 11(\text{sec})$ かかった。同様に、停止していた円筒が急回転した場合、円筒の内部流体が剛体的な回転な流れになるまでには約 $t_{2i} = 14(\text{sec})$ かかり、外部流体が定常な流れになるまでには約 $t_{2o} = 12(\text{sec})$ かかった。本実験では $U \times t_{1o} = 198(\text{mm})$ であり、円筒より198(mm)上流では一様流はほぼ保たれていた。

ここで、 $t_i = d_i / v_i (\text{s})$, $t_o = d_o / U (\text{s})$ とおき、非定常から定常になるまでのそれぞれの時間を用いて実時間を無次元化すると $t_{1i}' = t_{1i} / t_i = 20.0$, $t_{1o}' = t_{1o} / t_o = 10.0$, $t_{2i}' = t_{2i} / t_i = 23.3$, $t_{2o}' = t_{2o} / t_o = 11.8$ となる。ここで、 $v_i = 27(\text{mm/s})$ は、円筒の内壁面の周速度であり、 $d_i = 17(\text{mm})$ は円筒の内径、 $d_o = 20(\text{mm})$ は円筒の外径である。

急停止、急回転する中空物体の内外流れを可視化し画像処理を行うことにより、それぞれの場合の速度ベクトル分布を得た。また、得られた粒子点における速度ベクトルを連続の式の積分形に基礎をおく補間法¹⁾により格子点状に再配置し、円筒内外の流れの速度

Fig. 2 Velocity vectors

(When an anticlockwisely rotating circular cylinder stops suddenly at $t=0$ s)

Fig. 3 Velocity vectors after rearrangement at grid points

(When an anticlockwisely rotating circular cylinder stops suddenly at $t=0$ s)

Fig. 4 Velocity vectors

(When a circular cylinder starts anticlockwisely suddenly at $t=0$ s)

Fig. 5 Velocity vectors after rearrangement at grid points

(When a circular cylinder starts anticlockwisely suddenly at $t=0$ s)

ベクトル図を得た。定常状態から急停止して0.4, 8, 12(sec)後の速度ベクトル分布をFig. 2 (a), (b), (c), (d) に示し, その速度ベクトル分布の補間を行った結果をFig. 3(a)~(d) に示す。定常状態から急回転をして 0.4, 8, 14 (sec) 後の速度ベクトル分布を Fig. 4(a), (b), (c), (d) に示し, その速度ベクトル分布の補間を行った結果をFig. 5(a)~(d)に示す。

Fig. 2, 3より, 回転していた円筒が急停止した場合, 円筒外部の流れが円筒の停止に伴

って右側で減速され、左側で加速されること、また左側に片寄っていた伴流が中央にもどるのが観察される。Fig. 4, 5より、急停止した場合、円筒外部の一樣流が円筒の回転に伴って右側で加速され、左側で減速されること、また伴流が左側に片寄ることが観察される。しかしこれらの図から、境界層内速度分布や剥離点位置の決定を行うことはできない。

円筒外部におけるレイノルズ数 Re_o は $Re_o = U d_o / \nu = 360$ となる。レイノルズ数計算に用いた動粘性係数は、 $\nu = 1.004 \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s})$ である。円筒内部におけるレイノルズ数 Re_i は $Re_i = v_i d_i / \nu = 450$ となる。

一樣流速に対する円筒の外周速度 $v_o = 31 (\text{mm/s})$ の比、すなわち、回転比は $\Gamma = v_o / U = 1.7$ である。

4 問題点とその対処策

画像より得られた非定常から定常になってゆく円筒内部の流れの様子は、Fig. 2(a)~(d)よりわかるように、本実験では円筒内で11~12個の速度ベクトルが得られたが、粒子密度が低いために流れのおおまかな様子しか見ることができない。今後は、注入するトレーサ粒子径を小さくし、より多くの粒子を注入すると共に、撮影領域を円筒とその周辺部分に絞る、水素気泡法などの他の可視化技術を併用することが望まれる。

本実験では照明にスライドプロジェクターランプからの光をスリット光にしたものを用いているが、光の回折によってライトシートの幅が拡大してしまい、流子像の重なりやカメラのピント合わせに問題がある。そこで今後は光源に直進性のある薄いLSSを用いることが望まれる。

一樣流れの流路では、断面積に対する助走距離の短さのために、三次元的な動きをする粒子が現れる。また、注水時の初期の空気抜きを完全に行うことが困難であるため、流路内に気泡が出現し流れを乱すことがある。気泡除去用の管を設けるなどの流路の改良が望まれる。

6 結言

中空円筒の内外流れを可視化するために、透明なアクリル樹脂製の水路、中空円筒を用い、実験装置を製作した。中空円筒の内外流れをトレーサ粒子注入法によって可視化し、PIVの一つの方法である二値化画像相関法によって内外流れの速度の同時計測を行い、それを速度ベクトル分布で定量的に表した。また、本実験で生じた様々な問題とその対処策について述べた。

今後は、回転比 Γ を変えた実験を行うと共に中空円筒の内部と外部の全流れ場を同時に計測した結果を用いた中空円筒に働く仮想質量の効果の評価法について検討する予定である。

参考文献

- 1) 和田, 山本, 井口, 石原, “二値化画像相関法PTVに関する二、三の数学的考案”, 第22回可視化情報シンポジウムVol. 14, No. 2, (1994. 10), PP. 53-56.