31 渦輪における渦度の分布

お茶の水大学 大島裕子[○]

宇宙科学研究所 井筒直樹

Vorticity Measurement in Vortical Flow

Yuko Oshima*, Naoki Izutsu**

Computer-aided vorticity measuring system based on hot-wire anemometry has been developed and used for investigation of time-dependent vortical flow field of a traveling vortex ring. The vorticity distributions obtained are visualized on computer graphics and are recorded as animation film. Instantaneous vorticity contours measured are compared with Schlieren photographs taken at the corresponding time instant. This system is applicable for research of various vortical flow field.

§ はじめに

流体の運動において種々の測定量のうち、渦度は理論的な取り扱いからも重要な物理量の一つである。他方、実験的にはそれが直接に計測される量でないため、比較検討の対象にされることは稀であったのは、実際に高い精度で渦度を測定することは不可能であったからである。渦の生成や減衰などの運動においては渦度の分布を知ることが重要であることは、渦運動の研究の長い歴史の中で多くの研究者によって論議されて来たことでもわかる。そこでパーソナルコンピュータを用いて渦度分布の時間的・空間的変化を求めるシステムを開発し、結果をコンピュータグラフィックスによって可視化し、アニメーション化を行なうとともに、その結果と実験的に求めた可視化写真との比較対応を行なった。ここではオリフィスから放出された円形の渦輪が進行する場合について述べるが、種々の渦の干渉の過程のみならず、その他の渦度を伴う流れの場について、このシステムは広く応用することが出来る。

渦度はその定義からもわかるように速度の空間的な変化を示す量であるので、空間を細かいメッシュに分割し、その各点での速度の二成分をX型熱線流速計によって測定し、隣り合う二点での変化分より渦度を算出する。しかしこの過程においてメッシュ各点に測定プローブを設置することは不可能であるうえ、それらプローブの設置によって流れ場が変化しないことが条件であるので、一本のX型プローブで流れ場全体をトラバースすることにより速度場が求められた。すなわち各点での速度の時間的変化を全領域にわたって測定したデータから、流れ場全体の速度の時間的変化のデータへの並べ替えを行ない、それをもとに渦度を求めるのである。そのため現象そのものは勿論、その時間変化に対して厳しい再現性が要求される。

* Ochanomizu University, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112

** The Institute of Space and Astronautical Science, Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153

8 実験装置及び方法

実験全体の概要を第1図に示すが、実験は大きく分けて、熱線流速計の特性や実験条件の初期設定を与える段階、熱線流速計を各測定点に移動してデータを採取、速度に変換してディスクに格納する段階、それらのデータを時間と空間に対して並べ替え、渦度をはじめとして種々の物理量を算出し、グラフ化、画像化する三段階から成り立ち、さらにそれらの画像を必要によってアニメーション化する段階がある。装置のブロックダイヤグラムを第2図に、その流れ図を第3図に示すが、これらの実験操作は初期条件の設定を行なったのち、測定範囲をホストコンピュータであるNEC PC 9801に入力することで、各点での計測、データの格納、次の点への移動を自動的に繰り返し行なうが、この報告では円形オリフィスより放出される渦輪の運動について述べることにする。

Fig.1 Diagram of vorticity measuring system.

Fig.3 Flow chart of measurement.

Fig.2 Schematic diagram of measurement.

まずコンピュータの始動パルスによってスピーカーに電圧 V をある時間 ΔT 加えると、前面に取りつけられたオリフィスで渦輪が作られて渦輪平面に直角に進行する。印加電圧 V および時間 ΔT を変えることによって放出される渦輪の速度や連続して放出される渦輪の数を変化させ、またオリフィスの形を変えることで変形しながら進行する渦輪や多数の渦輪を同時に放出した時の干渉過程の実験をすることが出来る。さてこのようにして作られた渦輪について、スピーカーへの電圧印加開始パルスを時間基準 $t = 0$ として Δt 毎に N 個のデータ、すなわち時刻 t までの時間変化のデータをADコンバータ（カノーブスADX-98）を用いて全領域（半径方向 R 、高さ方向 H ）を ΔR と ΔH のメッシュに区切った各点で測定し、速度のデータとしてディスクに格納した。この測定範囲やメッシュ間隔、時間間隔などは測定対象となる現象に対応して変化させる。測定終了後、ディスクに納められたデータの時間・空間の並べ替えを行ない、各時刻の空間的な変化より渦度の時間的な変化を求め、再びディスクに格納する。これらの測定データから、渦の移動速度、半径、渦核の半径、循環、インパルスなどの物理量を求める事ができる。この実験においては $V = 5 \text{ volt}$ 、 $\Delta T = 5 \text{ ms}$ で1つの渦輪を放出させ、 $R = -2 \text{ mm} \sim 30 \text{ mm}$ 、 $H = 2 \text{ mm} \sim 80 \text{ mm}$ の領域について $\Delta R = 1 \text{ mm}$ 、 $\Delta H = 1 \text{ mm}$ として、 $\Delta t = 200 \mu \text{ s}$ で192個のデータを採取した。

一方、可視化写真はパルスジェネレータによって基準パルスを出し、遅延回路でストロボフラッシュを作動させて、シュリーレンの光源として渦輪の運動の時間的な変化を求めたが、スピーカーに CO_2 ガスをわずかに送り込むことでシュリーレンによる可視化を可能にした。

8 実験結果

一つの渦輪が進行する時の渦度の分布を第4図(A)に等渦度線として、それに対応する時刻のシュリーレン写真を(B)に示す。写真で丸く見える内部が複雑な構造でしかも丸みのない形であることがわかる。同じ条件の実験を 1.2 mm 間隔のメッシュで測定した結果で第4図(A)の $t = 12 \text{ ms}$ に対応する等渦度線を第5図に示す。特長的な構造は同じであるものの細かい部分は滑らかになっている。第6図に渦度の重心のオリフィスからの距離と写真による渦中心の位置の時間変化を示す。この範囲ではともに直線的に増加するが、必ずしも両者は一致せず、渦度の方がわずかに遅れる傾向にある。また写真の目視による移動距離よりも、最大渦度の移動距離がよい直線性となることは測定の精度の高いことを示している。なお、写真と渦度重心の一致しないことは、特に渦が相互に干渉する場合に大きくなることが、いくつかの実験によって確かめられている。

8 結論

コンピュータを用いて渦度およびその他の物理量の時間的な変化を測定するシステムを開発した。これを空気中を進行する渦輪の運動に適用し、期待された結果を得た。しかし、多数点での多数個のデータの採取の条件付き測定による再現性は重要な問題である。また測定点の数はコンピュータの処理時間やセンサーの大きさともあいまっての、多ければ多いほどよい結果を生むとは限らず、実際問題に対応して諸条件を決定する必要がある。

Fig.4 (A) Vorticity contour of single vortex ring $V = 5\text{volt}$, $\Delta T = 5\text{ms}$.
 (B) Schlieren photograph corresponding the time instant of upper contour.

Fig.5 Vorticity contour at $t = 12\text{ms}$ with coarse mesh point measurement under same condition of Fig.4.

Fig.6 Time variation of vorticity center and photographic vortex core center.