21 渦輪の速度場測定による可視化

宇宙科学研究所

井筒 直樹[○]

(株) リコー 中央研究所

大島 裕子

Flow visualization of vortex rings from measured velocity fields

Naoki IZUTSU* and Yuko OSHIMA**

Owing to rapid development of computing resources, it becomes possible to obtain a great number of data in experiments as well as in numerical simulations. Computer graphics have now become an indispensable tool to analyze these numeric data and to grasp complicated phenomena quickly and easily. Interactions and transformations of vortical fields caused by vortex rings are analyzed and visualized from measured velocity fields. Bridging phenomenon which takes place between two vortex rings proceeding side by side was found in this experiment with the aid of computer graphic images visualizing the vorticity fields. It was confirmed that the vorticity patterns and the instantaneous material patterns make different images.

1. 緒言

渦の運動は流体の流れの中で最も基本的な要素の一つである。その中でも渦輪は渦領域が閉じているので、例えば円形の開口部から流体をすばやく押し出すことによって実験室でも簡単に作り出すことができる。そのため渦輪の間の相互干渉や形成・減衰の過程はこれまで数多く実験的に研究されてきた。その主な方法は空気中では煙、水中では染料等を用いた可視化法によるものが多い。レーザー流速計を用いた定量的な測定も行われてはいるが、その大部分は準定常状態を仮定して開口部に平行な断面における一次元計測であって、渦輪の形成過程のような非定常現象や三次元現象はとらえることができていない。そこで取扱いが簡単な熱線流速計による渦輪の二次元及び三次元流れ場の測定を行った。

2. 実験方法

渦輪はスピーカの前面に円形のオリフィスのある平板をおき、スピーカにステップ状の電圧をかけることにより空気を瞬間的に押し出して作られる。電圧の大きさとパルス巾を変えることにより渦輪の速度や構造を変えることができる。この電圧の立ち上がり同期して速度の時間変化が測定領域内の各格子点上で繰り返し測定され、最終的に得られた各瞬間ごとの速度場から、その時刻に対応する渦度場を算出した。熱線流速計をこの種の実験に用いる場合の難しさは以下の点にある。(1) 目的とする流れの高い再現性。(2) 熱線の空間分解能の限界。(3) 熱線プローブのサポート等の影響。(4) 逆流の測定。(5) 熱線の特性の時間変化。(6) 実験時間からの総測定点数の制約。(1)に関しては安定した再現性の良い渦輪を形成する電圧とパルス巾を選ぶとともにオリフィス導入部を滑らかに

* The Institute of Space and Astronautical Science, Yoshinodai, Sagami-hara-shi, Kanagawa 229, Japan

**Research and Development Center, Ricoh Co. Ltd., Shin'ei-cho, Kohoku-ku, Yokohama 223, Japan

Fig. 1: Evolution of iso-surfaces of absolute vorticity in cross-linking of two vortex rings.
The levels of the surfaces are 37% of the maximum.

Fig. 2: Evolution of arbitrary vorticity lines in cross-linking of two vortex rings.

することによって高い再現性を保ち、さらに各測定点で8回の測定を行い平均化した。(2)(3)については一本の傾斜型熱線を回転させながら16回の測定を行い、この全データから速度を求める方法をとることで精度を上げた。(4)に関しては渦輪の周りの流れはある程度予測ができるので、流れの空間的・時間的連続性を基礎に出力波形のパターンを分類し、比較することにより正しい流れ方向を自動的に判断した。結果は流れ場の直接可視化法によるものと比較し非常に一致を確認した。

3. 2つの平行な渦輪

渦度場の可視化によって二つの平行な渦輪の間に生じるいわゆるブリッジ現象が確認された。図1はこの場合の渦度の絶対値の等値面を示している。この時のオリフィスの直径は16mm、オリフィス中心間の距離は32mmであり、オリフィスの半径とオリフィス中心での最大速度によるレイノルズ数は約2700である。この測定は対称な1/4の領域について18×18×50の測定点で2.5mm間隔で400 μ sごとに測定された。ここで渦度の絶対値が渦輪自体のつながりを表すわけではないことに注意しなければならない。また渦度場を空間について適当に積分すれば図2のように渦線が得られる。この図からも渦度は一瞬にしてつなぎ変わるのでなく、時間をかけて次第につなぎ変わっていく様子がよくわかる。図3はヘリシティの時間変化を示しており、ブリッジ現象が起こり始めてからの急激な変化を示している。

Fig. 3: Helicity vs. time in cross-linking of two vortex rings.

4. 単独の渦輪

速度場を時間について積分すれば、いわゆる流脈線に相当するものが得られる。そこで初めの静止状態でオリフィスの上空にあった流体領域と、オリフィスから供給された流体がそれぞれどのような振る舞いをするかを調べた。図4は一つの渦輪の場合について渦度分布とこれらの流脈を比較したものである。この場合のオリフィスの直径は25mmで、0.5mm間隔で48×162点上で200 μ sごとに測定された。オリフィスの半径とオリフィス中心での最大速度によるレイノルズ数は約3500である。オリフィス内部からの流体の境界は、壁面から出した染料が描くように螺旋形を描きながら外部流体を取り込みつつ巻上がっていく様子がわかる。さらに渦度すなわち渦輪はすばやく形成されそれに遅れて流脈の巻上がりが起こることもわかる。これは少なくともこの程度のレイノルズ数では、壁面で作られる境界層が巻上がって渦輪が形成されるというモデルは成立しないことを示している。

5. 結論

円形のオリフィスから空気を押し出して作られる渦輪について、その形成過程、構造、相互干渉について熱線流速計を用いて測定を行った。まずこのような逆流を含む流れを一本の熱線で測定する方法を確立し、次に測定値の可視化によって渦輪の構造等を詳しく調べるとともに、渦輪すなわち渦度と流脈線の違いについても明らかにした。

Fig. 4: The vorticity contours and instantaneous positions of passive tracers.

参考文献

大島裕子、井筒直樹、陳翰霖: 渦輪の干渉におけるブリッジ現象、流れの可視化 8-30 (1988) 197.