

回転球後流中に生成する らせん渦の可視化

伊藤 光* 高 仁秀* 貞本 敦史*

Flow Visualization of Spiral Vortices Generated in the Wake of a Rotating Sphere

Akira ITO, Yoshihide KOH and Atsushi SADAMOTO
Department of Mechanical Engineering, Meiji University

ABSTRACT

Flow patterns around a rotating sphere with smooth surface in axial air flow were visualized by smoke technique at low Reynolds number range in a vertical wind-tunnel. The sphere has a diameter of 38mm, and the experiments were carried out for main airflow velocity up to 1m/s and rotating maximum speed of 1800 rpm. It was found that the spiral vortices with mushroom type sectional forms were generated in the wake of the rotating sphere. Furthermore, the spiral vortices around the sphere were also visualized clearly in still fluid.

Keywords : rotating sphere, spiral vortices, axial flow, still fluid

1. はじめに

筆者らの研究室では以前に、自転降下するカエデ翼果の模型実験を試みたとき、種子部の代わりに付けた回転球まわりの流れが注目された¹⁾。このような回転球後流の構造については興味深く、未知な部分が多いように考えられたので以下に述べる実験を試みた。一般に主流方向に軸を持つ回転球の実験としては多くの報告があるが、例えば静止流体中および主流を加えた流れの可視化からは、球表面の境界層内にスパイラル状渦の生成も報告²⁾されている。一方本実験では小型垂直軸風洞の中に平滑球を置き、定常回転する球のまわりの模様を煙で可視化したところ、低速気流中においては球後流域にキノコ似た断面を持つ大規模ならせん状渦が新たに認められた。さらに静止流体中でも、回転球赤道延長面上を波状的に広がるせん渦も可視化された³⁾。今回の実験はいずれも低レイノルズ数の範囲に限られているが、まずその可視化結果の概略を報告する。

2. 実験方法

図1に実験した垂直小型風洞の概略図を示す。その観測筒中央部に直径 $d=38\text{mm}$ の平滑回転球を配置し、筒内の主流速度 u_0 を 1.0m/s (レイノルズ数 $Re=u_0d/\nu=2600$)以下、回転球の最高回転数 n を 1800rpm の範囲で、周速比 w/u_0 ($w=\pi nd$) の異なる回転球後流の模様を観察した。この実験では、静止球まわりの流れはすべて層流剥離が保たれているのを確かめている。流れの可視化は、はじめにスモーク・ワイヤ法で回転球まわりの全体の様相を観察したが、本報告では球面上の流れの分岐点(この点を極と呼ぶ)に一本のノズルからの煙を送ってストロボで写した流れを紹介する。この方法には、球面に沿って発達する境界層内に極から煙を供給するので、球を包む流れ全体をみることが出来る長所がある。

3. 回転球まわりのらせん状渦

はじめに回転軸方向の主流を加え、回転球後流の模様をストロボで可視化してみた。上流のノズルから気流に

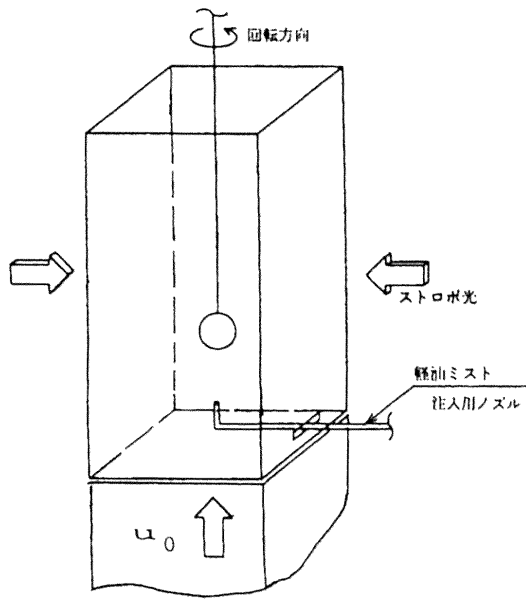


図1 実験装置

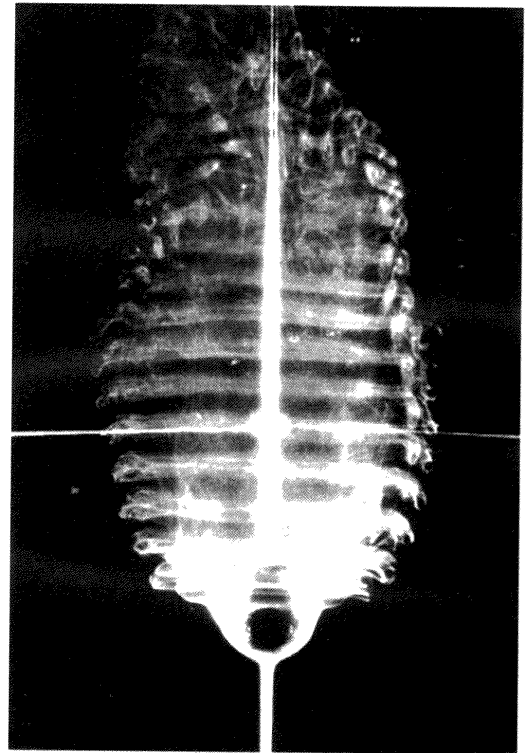


図3 らせん状渦の生成
($u_0=0.3m/s$, $n=1500rpm$ の場合)

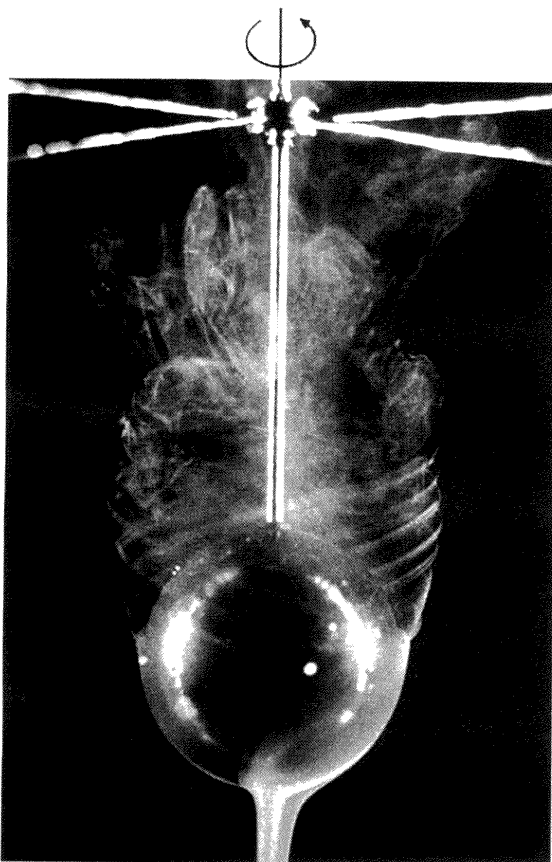


図2 (a) 回転球まわりの流れ
($u_0=1.0m/s$, $n=1200rpm$ の場合)

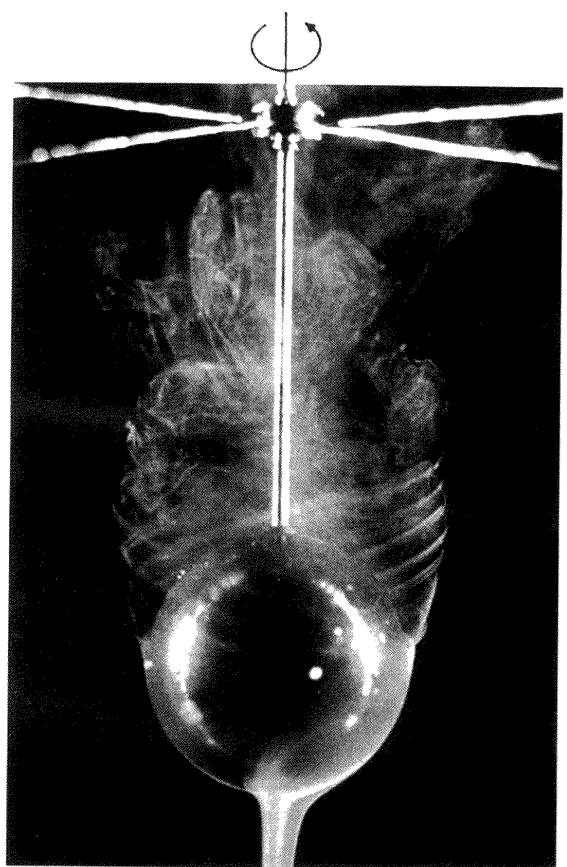


図2 (b) キノコ型煙の生成
($u_0=0.5m/s$, $n=1800rpm$ の場合)

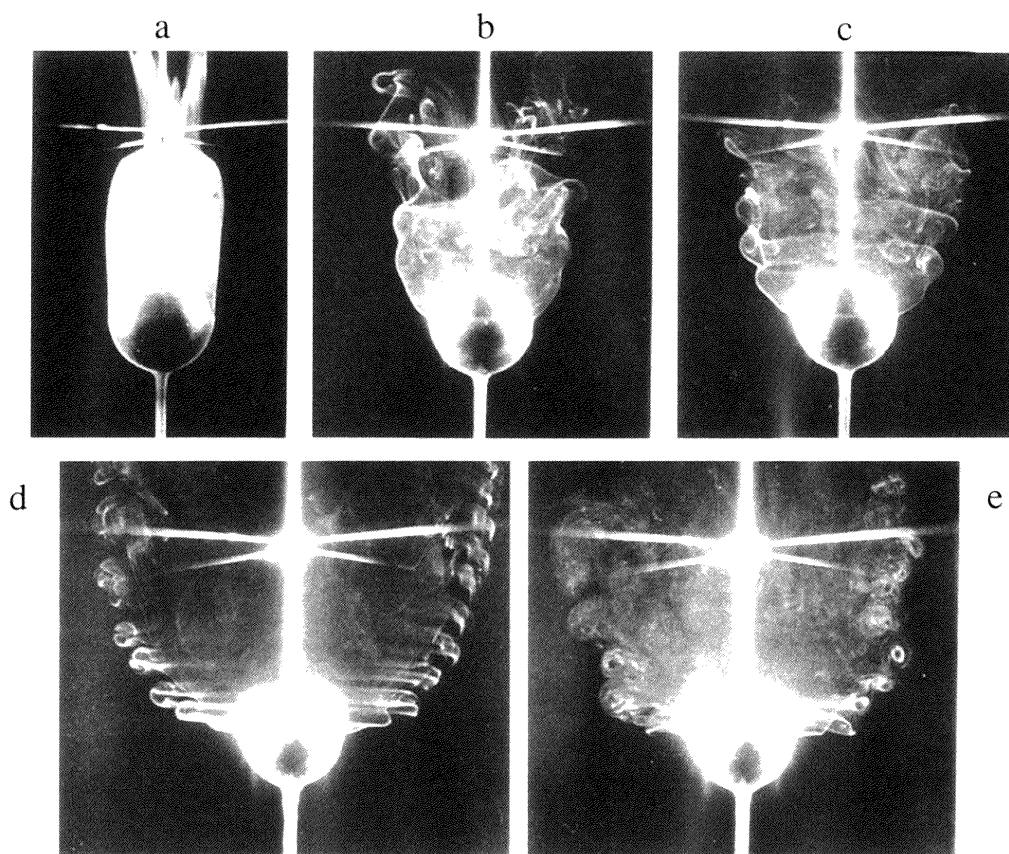


図4 球回転数による後流域の形 ($u_0=0.3m/s$ の場合)
 $a : n=0, b : n=600, c : n=900, d : n=1500, e : n=1800rpm$

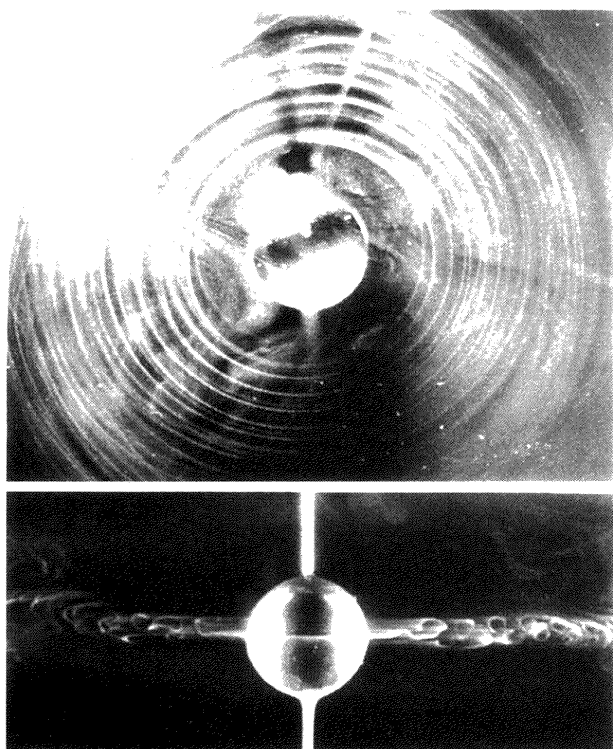


図5 (a) 静止流体中のらせん状渦
 ($u_0=0m/s, n=900rpm$)

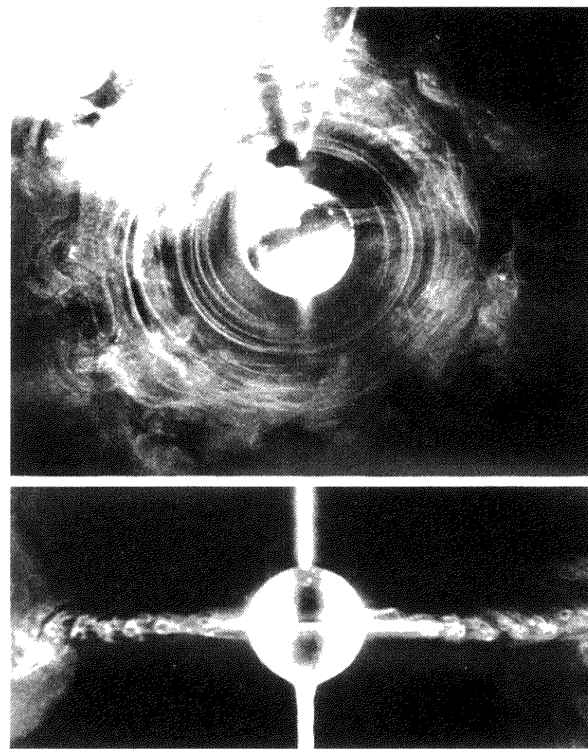


図5 (b) 静止流体中のらせん状渦
 ($u_0=0m/s, n=1500rpm$)

乗せられた煙を上記の極に当てると、煙は回転球面全体に沿って後流に運ばれていく。試みに $u_0=1.0\text{m/s}$, $n=1200\text{rpm}$ では、図2 (a) のように回転球からの流れの剥離面に斜めの煙の縞がみえる⁴⁾。主流速度を下げても $u_0=0.5\text{m/s}$, $n=1800\text{rpm}$ にしてみると、図2 (b) キノコ状の煙が球後流にみえてくる。この現象に興味を覚えて、さらに $u_0=0.3\text{m/s}$, $n=1500\text{rpm}$ 、周速比 $w=10$ にしてみると、図3のように安定した顕著ならせん状渦を新たに見いだすことができた。断面はキノコ状であり、回転球後流の広範囲に生成されている。 $u_0=0.3\text{m/s}$ に保って n を増してみると、 w/u_0 の増しにつれて図4のように後流域の全体形状および球赤道近くから剥離する煙の挙動が顕著になる。 $n=1500\text{rpm}$ では流体遠心力の増加により、上記のように断面がキノコ状の螺旋渦が傘を開いたような形状を作る。さらに n を増すと渦が早期に崩壊しはじめる。上のらせん状渦の周波数 f は球回転数と一致している。なお球面の振幅をレーザー変位計で測定すると、 $0.003d$ 程度である。

つぎに、らせん渦の発生機構を確かめるために、静止流体中の回転球まわりの流れを可視化した。図5 (a)、図5 (b) はは回転球赤道から半径方向に広がるらせん状渦の様で、平面と断面との比較を示す。 n を増すに連れて、球近くで渦が崩壊するようになる。このような渦は、球赤道付近に集められた境界層の噴流が静止流体との間に作られる速度せん断層の不安定面に形成したと理解される。この場合、球面から赤道延長面上の $0.8d$ 付近で噴流平均速度および速度変動が最大に達するが、この変動周波数 f は上と同じく球回転数 n とよく一致している。

4. むすび

レイノルズ数 $Re=2800$ の範囲で、主流方向に軸を持つ回転球まわりの流れを実験し、球赤道付近から生成するらせん状渦を検討した。その結果、 $Re=800$, $w/u_0=10$ 近くで球後流域を包む明瞭なキノコ型のらせん状渦模様が観察された。今後、直径の異なる回転球の実験を加えて、広い範囲のレイノルズ数におけるらせん状渦の生成過程を検討する計画である。さらに主流に回転軸を傾けた実験も予定している。回転円板まわりの流れも比較してみたい。

参考文献

- 1) 伊藤 光, 高橋陸: 第23回流体力学講演回講演集, (1991), 13-16.
- 2) R. Kobayashi, Y. Kohama and M. Kurosawa: J. Fluid Mech., Vol. 127 (1983), 341-352.
- 3) 伊藤 光, 高 仁秀, 貞本敦史: 第26期日本航空宇宙学会年会, (1995), 76-77.
- 4) 伊藤 光, 高 仁秀: 第22回可視化情報シンポジウム講演論文集, (1994), 55-58.