

球背後における渦の生成過程

○山口大学 斎藤 隆 鴻池組 大里 努
大成建設 大石 憲寛 奥村建設 赤崎 修一

1. はじめに：一様流中に置かれた球の背後に形成される渦に関しては、可視化実験や条件付計測でもって、その形成機構、形状、放出周波数、さらには後方の性状等について多くの研究が行われていて Re 数と渦放出周波数、 Re 数と放出渦の形態との関連などの多くの知見が得られているが、渦が生成され放出される過程についてはほとんど調べられていない。本研究は、球の背後において形成される渦の生成過程とそれが放出されていく過程を電解沈澱法を用いて可視化し、若干の検討を試みたものである。

2. 実験装置と実験方法：実験水槽は一辺が30cmの正方形断面で、深さが 200cmの4面アクリル樹脂製のものである。実験に用いた球は直径50mmの鉛製で、その真球度は最少0.0400から最大0.0875である。実験球は直径 0.4mmのエナメル塗銅線で水槽中心に釣下げられ、銅線は水槽上部に設置されたベアリング付滑車を介してモーターに取り付けてある直径60mmのアクリル製のドラムに巻き付けられている。モーターは回転数が連続的に変えられる直流モーターである。実験球表面の荷電は、巻き上げ装置ドラム側面に設けた円形電気接点を介して、最大出力電圧が 35Vの直流電源によって行った。光源はプロジェクターを用いて、水槽の下方から投光した。球背後の流況の撮影はビデオカメラとモータードライブカメラで行った。2つのカメラ台座はワイヤーロープと滑車を用いて連結され、常に床から同じ高さにある。

実験は次の手順で行った。1) 実験球を水槽底部に静置する。2) 35Vの直流電圧を掛ける。3) 球表面に白色沈澱物を生成させる。4) あらかじめ設定した速度で球を上昇させ、同時に撮影を始める。

3. 実験結果とその検討：写真-1は、球後方における形態の代表的なものを選んだものである。本実験で行った $Re < 2000$ では、球後方渦の構造は次に述べる6種類に分けることができる。

$Re < 200$ ；写真-1の $Re = 80$ のように、球背後における剝離渦は認められず、球表面に発生した白色微粒子が球後方に直線的に残されていく。

$Re \approx 200$ ；写真-1に示すように、 $Re \approx 200$ 程度のごく限られた Re 数において、直線的に残されていく白色微粒子にコブ状のものが規則的にみられる。球背後ならびにコブ状塊の内部には渦らしき形状がみられるが、より詳細な実験によって確認することが必要である。Taneda¹⁾ は Re 数が 130を越えると、定常リングの後部からウェーブ状のウェークが流出していることを報告している。本実験において $Re \approx 200$ 付近の動揺はこれに相当するものと思われる。

$200 < Re < 300$ ；この Re 数の範囲では再び白色の微粒子が直線的に残されていく。 Re 数の増大によって剝離点が前方に移動するため、球背後の微粒子の形状は漏斗状となり、その後方の直線部は太くなっている。Tanedaはウェーブ状のウェークは $Re = 300$ 付近まで存在すると報告しているが、本実験では $Re \approx 200$ 付近でのみしか認められなかった。

$300 < Re < 450$ ； Re 数が 300を越えると、剝離点はさらに前方へ移動し、球背後における白色微粒子の形状はジョウゴ形となり、白色微粒子は球表面から何本かの脚を伸ばすようにして流下している。これは球表面で形成された何本かの縦渦が剝離したものが後方に置きさらられていくものとみられた。坂本ら²⁾ は Re 数が 300を越えるとhair-pin形の Vortex loopの放出が始まると報告しているが、本実験においては、この Re 数の範囲での Vortex loopの放出は認められなかった。しかしながら、上述した数本の白色微粒子の線のいく本かは球背後で内側に巻き込んでいる様子がみられ、また、スリット光による断面写真では、コブ状部分において渦らしき形態が認められた。

$450 < Re < 950$ ；球表面から剝離した多数の白色微粒子の細線が全て球背後に巻き込まれていく。このようにして剝離領域内へエネルギーが供給されて、剝離領域内にドーナツ形の渦が生成されていく。十分なエ

エネルギーの供給が完了するまでは、ドーナツ形の渦リングは球の進行軸に対してほぼ対称な形で発達していく。形成された渦リングはある任意の場所から球から離れ、球進行軸に対して傾斜した渦リングとなる。放出され始めた渦リングはその傾斜を大きくしながら引き伸ばされていき、渦リングの一端が球背面に残されてhair-pin形に変形していく。このhair-pin形の

Vortex loopは引き伸ばされるだけでなく、球の進行方向軸を軸としてそれ自体がゆっくりと回転しながら残されていく。この Vortex loopが放出された後、再び球後方に白色粒子の巻き込みが始まっていて、1つ目のhair-pin形の Vortex loopの後端と、2つ目の渦が形成される渦形成領域との境界がかなり明瞭に確認される。Re数が比較的小さい場合にはhair-pin形の Vortex loopが整然としているが、Re数が大きくなると、後方に放出されたものがだんだんと乱雑化して、hair-pin形の Vortex loopにうねりがみられる。

$Re > 950$; hair-pin形の Vortex loopの発生機構は上述のものと変わらないが、放出されたhair-pin形の Vortex loopは球後方の投影面から少し離れた位置で、再び定常渦リングに似た形状になって、次の放出渦から完全に分離していく。球背後において渦リングを形成し、部分的に剝離しながら引き伸ばされ、hair-pin形の Vortex loopとなり、完全に放出される過程において、hair-pin形の Vortex loopの根元を包み込む形で、いわゆる筒状のVortex Sheetと呼ばれている弱い渦リングが形成される。この両渦の放出周期を調べるとLow modeと High modeのSt数にほぼ一致している。

4. まとめ：球背後に形成される渦の生成ならびにその放出過程のRe数による違いを模式的に示したものが図-1で、6つのパターンに分類することができる。

参考文献

- 1) Taneda, S.; Rep. Res. Inst. App. Mech. 4-6(1956), 99
- 2) 坂本弘志、他2名; 日本機械学会論文集 (B 編)、55巻、55号 (1987-7)

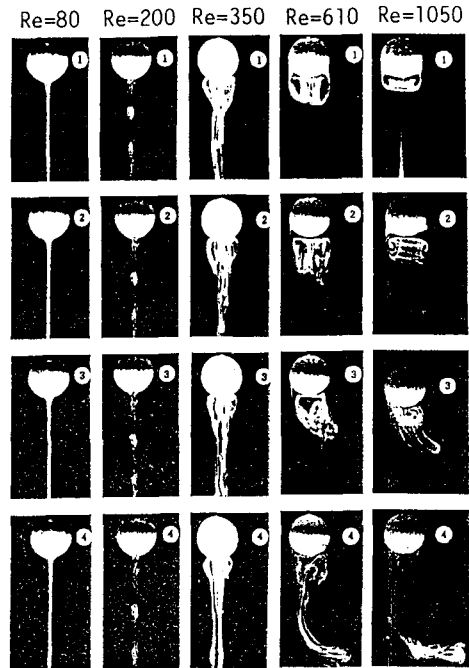


写真-1 渦の生成と放出過程

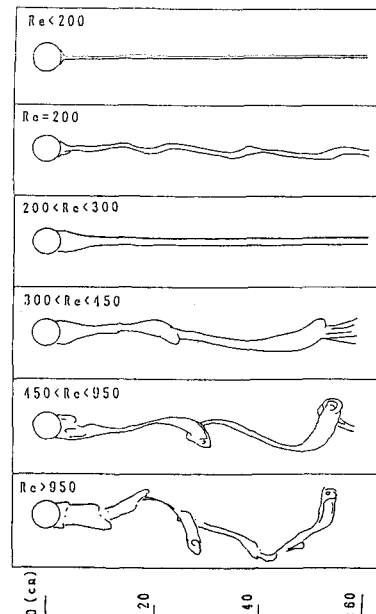


図-1 放出渦のパターン