

円柱周りの流れの三次元構造 1

徳山高専 学 ○深江 忍
 徳山高専 学 松田智恵子
 徳山高専 正 佐賀孝徳

1. はじめに

物体後流中の流れ構造は、その三次元性に注目することにより今まで多く謎とされてきたことが解明されてきている¹⁾。しかし依然として不明な点も残されており、本研究ではこのことを踏まえて、円柱後流の組織構造の三次元性と時系列特性に注目しながら一様流中における円柱周りの流れの可視化を行った。

2. 実験装置および実験方法

実験には、長さ10m、幅60cm、高さ15cm、水路床勾配1/1000の総アクリル製開水路を用いた。開水路流れの中に円柱を水平に挿入し、円柱上流側75cmに整流用のハニカムを設置し、下流端には水位調節用の堰を設置した。本研究では、水素気法を用いて水平円柱周りの流れが横断面視、水平断面視および水路上方と側壁からの全体視により可視化され、その形象がデジタルビデオカメラにより撮影された。なお座標系は円柱の中心を原点とし、流下方向をX、水深方向をY、円柱軸方向をZとする。これらは円柱の直径Dで無次元化した値で表現する。

3. 実験結果

(1) 横断面形象

図-1に円柱後流に形成される縦渦の挙動を示す。各形象は0.6秒間隔で $X/D=2.83$ である。これより円柱後流において円柱上端より発生する巻きこみ流れに沿って縦渦が形成されながら、鉛直方向に移動している様子が確認される。このとき縦渦の回転中心部にはトレーサーが集中し、尾を引くように筋を上方に残す。なお、この一連の運動の周期は6.8秒であった。この周期よりストローハル数 St を求めると0.197となりこれまで明らかにされたカルマン渦の結果と一致する²⁾。また、この縦渦構造の発生は遠心力不安定³⁾に起因すると考えられ、その発生間隔 λ は、円柱径Dにほぼ等しく従来の傾向に一致する⁴⁾。

(2) 水平断面形象

図-2に水平断面形象の時系列変化(1秒間隔)を示す。流れは紙面左から右となっており、スリットの位置は $Y/D=0.4$ である。円柱上側を流下したトレーサーは形成領域内では一様に流下するが、後流領域に至ると一部が消失する。その後、消失した部分を境に円柱軸方向の1本の線となり、さらに流下していくと上流側にマッシュルーム型の渦が出現する。この際、形成領域内に残されたトレーサーに、このマッシュルーム型の筋と連動するような流下方向への筋状の形象が確認される。図-3にこれら各形象の位置関係の変化を示す。縦軸は流下時間をカルマン渦の発生

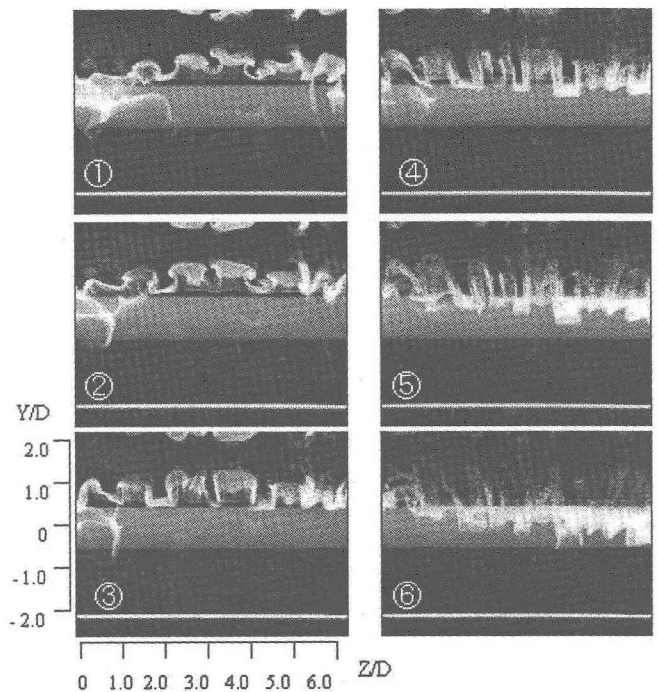


図-1 縦渦の挙動

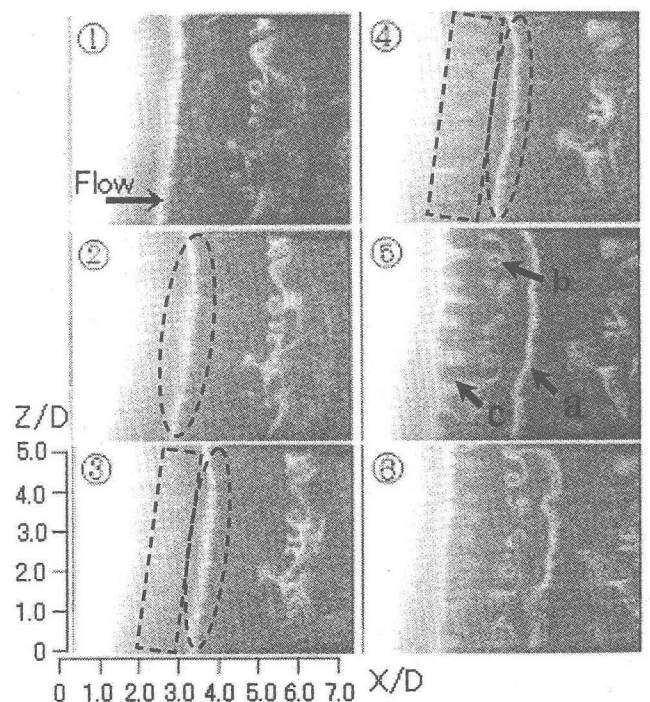


図-2 水平断面形象

周期で無次元化した値、横軸は各形象の位置 X/D を表し、グラフは左より、筋状の形象(c)、渦(b)、線状の形象(a)の移動を表す。これより、線(a)と渦(b)の形象は流下するに従いその位置関係が狭まり、それとは対照的に筋状の形象(c)と渦(b)との間隔は流下するにつれて次第に離れていくことが確認される。本研究においては、円柱上側のせん断層の巻き込み流れのみを可視化しているが、この傾向には反対側からの巻き込み流れの発達も深く関係している。この場合、筋状形象と渦の間に下側からのカルマン渦が入り込み、渦の成長によって発生段階より渦径が増大していくため各形象の流下距離に差が生じる。

(3)全体視

図-4 にレイノルズ数の変化による流れの変化を示す。ここでは流速によって形象に変化が生じている。Re=300 後半では、カルマン渦形成時にトレーサーが巻き取られる際に尾を引く現象は見られないが、Re=500 付近になると頻繁に発生するようになる。特に Re=495 の全体視では「尾」がトレーサーを発生させるタングステン線の位置まで伸びていることが確認される。この尾は、横断面形象で確認された縦渦の回転成分である可能性が高く、これが次のカルマン渦の形成部分までに伝わっている。すなわち、縦渦の回転成分は次に発生する縦渦に伝播していると考えられ、後流の三次元性は次から次へと伝播しているとも予想される。Re=495 以降の形象を観察すると、流速が速まるにつれて尾の連続性は減少する。Re=749 の水平全体視では連続性が失われ、水平断面形象で観測された筋状形象が生じるようになる。

また、縦渦の発生間隔入については Re=300~400 において、円柱径の3~4倍となる Mode A および等倍となる Mode B の両ケースが発生している。さらにレイノルズ数が増大すると発生間隔は Mode B へと移行し、これらの現象も従来の傾向に一致する⁴⁾。

以上の結果を総合すると、図-5 のような水平円柱の後流の三次元構造が示される。まず円柱下側からカルマン渦が形成され、流れが集中した部分に尾を引く現象や筋状形象、つまり縦渦の成分が発生する。断面視においては、これらが巻き込み流れを伴いながら流下することによって、マッシュルーム型の渦、縦渦の形が確認されるようになる。その後この縦渦は、反対側のせん断層から発生する縦渦に自身の回転成分を受け渡す。この際に、回転成分を受け渡す縦渦の位置は互いに入れ違いとなり、縦渦の回転部分を共有する形となって重なっていると考えられる。

参考文献 1) Roshko A.: Perspectives on bluff body aerodynamics. *J. Wind Ind. Aerodyn.* 49:79, 1993.

2) 佐賀孝徳, 渡辺英樹, 渡辺勝利: 物体周りの流れの三次元構造に関する研究, 流体力の評価とその応用に関する研究論文集, 第2巻, pp.52-56, 2003.

3) 奥出宗重, 大蔵信之, 早藤英俊: 渦輪に現れる遠心力不安定,

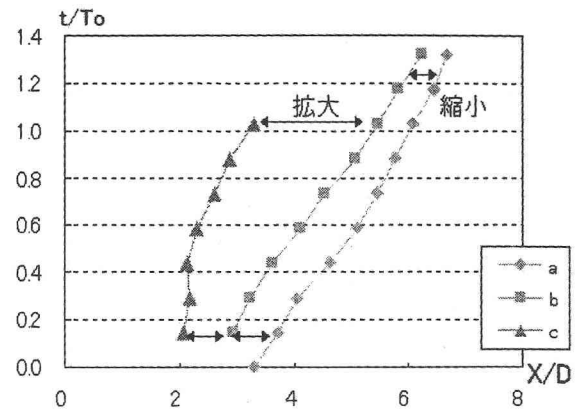


図-3 各形象の位置関係

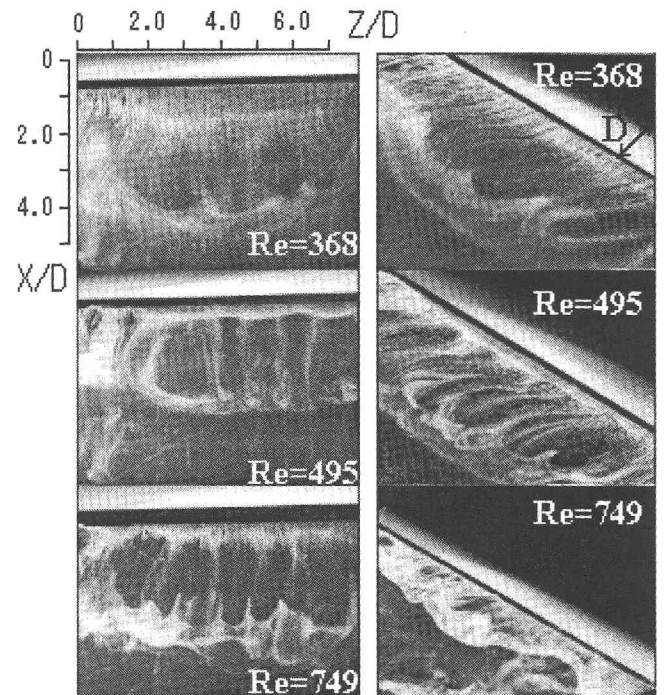


図-4 全体視

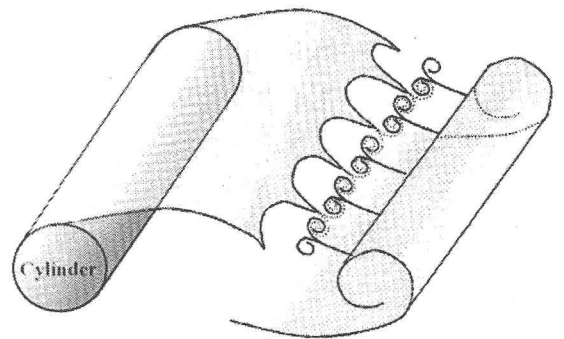


図-5 後流の三次元構造モデル

ながれ 21, pp.78-88, 2002.

4) 佐賀孝徳, 今本雅恵, 渡辺勝利: せん断流中における円柱後流の三次元構造に関する研究, 水工学論文集, 第46巻, pp.541-546, 2002.