

円柱周りに形成される馬蹄形渦の特徴

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

1. はじめに

これまで円柱周りに形成されるはく離せん断層、後流の組織構造について、その3次元構造に注目し、研究を進めている^{1), 2)}。本研究では、円柱周りの流れを総合的に考察する上で、これまで検討していない壁面近傍に形成される馬蹄型渦の可視化を行い、考察を行った。馬蹄型渦の特徴を明らかにする上で、一樣流およびせん断流の流れにおいて実験を行い比較検討した。

2. 実験装置および実験方法

実験装置には、長さ 10m、幅 60cm のアクリル樹脂製開水路が用いられた。水路床こう配は 1/1000 とした。上流端より約 5.5m 下流にて、水素気泡法を用いた流れの可視化が行われ、デジタルビデオカメラにより撮影が行われた。実験条件は、円柱 0 径を用いた Re 数で、1700~6800 の 11 ケース行われた。円柱径は、4, 5.7, 8cm の 3 種類用いた。

3. 実験結果

図-1 では、一樣流 ($Re=3500$)、せん断流 ($Re=3500$) の馬蹄型渦の可視化の一例を示す。それぞれ、上図は水路上方より、下図は水路斜め上方より同時刻にビデオ撮影したものである。馬蹄型渦の特徴がそれぞれ明らかであり、一樣流でははく離現象に伴う乱れの少ない安定した3つの渦構造が認められる。一方、せん断流においては、異なる特徴を持つ馬蹄型渦が形成され、その形象は同心円状ではなく、常に乱れが生じ、円柱よりもっとも遠方の渦構造は特に不安定である。このことは、馬蹄型渦がはく離現象に起因し、せん断流では、そのはく離現象と見なす事ができるバースティング現象が壁面近傍のあらゆる場所で発生しているためと考えられる。また、これらの渦は、ビデオ観察より、円柱近傍へと移動することが認められた。

図-2 は、その移動の特徴を示す。縦軸は、円柱前端を0とした上流方向の距離 (L)、横軸は、時間軸 (t) を示す。それぞれは、円柱の径 (D)、渦の発生周期 (T_0) で無次元化した。これより、一樣流では、円柱径の8割程度より馬蹄型渦が安定的に発生していることを示している。また、円柱近傍にはあまり移動しない渦が形成され、渦の接近に伴い、上流方向へ移動しており、その現象はビデオ映像からも多く観察された。

一方、せん断流においては、円柱径の6割程度から発生し、その移動は、不安定であり、その形象が不明にな

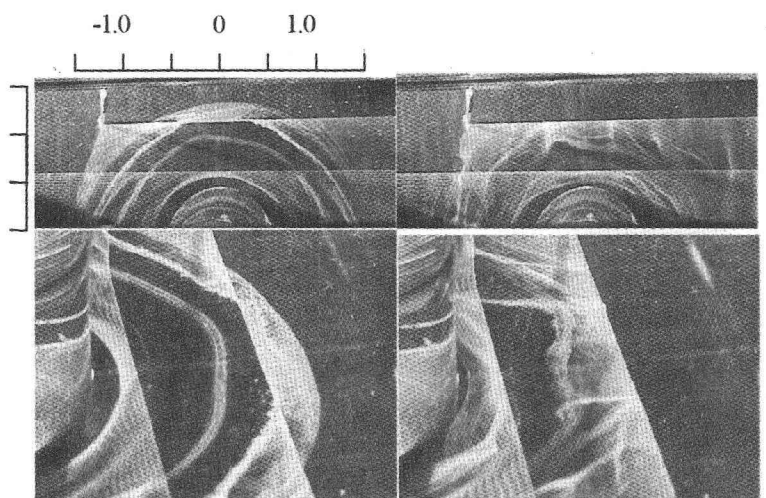


図-1 馬蹄型渦の可視化（一樣流，せん断流）

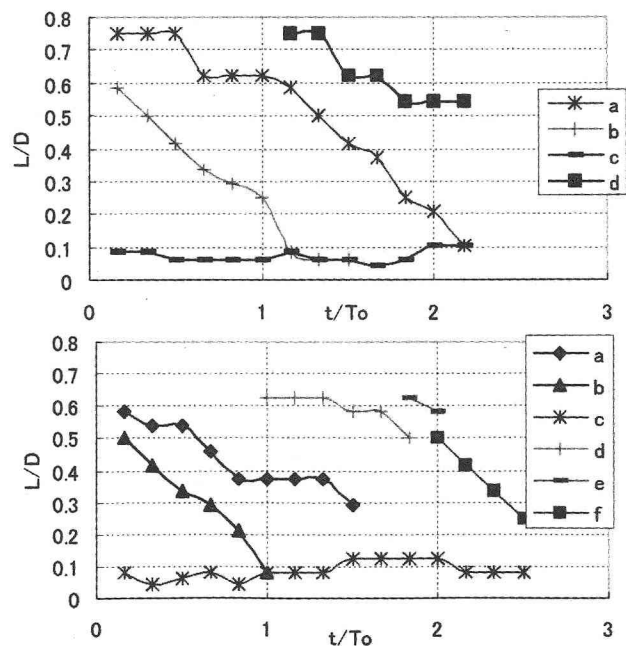


図-2 馬蹄型渦の移動特性
 (上図 一樣流，下図せん断流)

ることが認められる。円柱の近傍の渦は、僅かな移動を伴うが、安定的に形成される。特に、ビデオ映像より、せん断流におけるその変動特性は、円柱から周囲方向への流れが一樣でなく、より強い流れが形成される領域では、外部からの円柱方向への流れと強い相互作用が認められた。

図-3 は、馬蹄型渦の移動モデルである。円柱より最も遠方の領域でよく離れた流れが、馬蹄型渦を形成し、渦は壁面から離れながら、円柱近傍へ移動する。さらに、円柱前端まで移送した渦は円柱近傍の渦と相互作用しながら下側方向へ巻き込まれ、馬蹄型渦の下側を通してよく離点方向の流れを形成する。その流れの強さの非一様性は、せん断流では顕著である。

図-4 は、 $Re=2400, 3300, 4800, 6800$ の水平断面形象を示す。流れ方向は左から右である。壁面近傍の粘性底層に滞留した染料が、円柱近傍の流れ、特に馬蹄形渦により時間経過とともに円柱外側に図のように掃き出されていくことを示している。円柱径は、4cm, 8cm を用いた。

時間経過ごとのその変化を調べ、それが一定値になったところで、その掃き出し跡の大きさを測定した。図-5 は、円柱径で無次元化した平均値を縦軸に、 Re を横軸に示したグラフである。本実験では Lf/D , Ls/D , Lb/D を図中に示すように定義した。

図-5 より、 Lf/D , Ls/D はともに Re の大小に関わらずほぼ一定の値を示す。一方、 Lb/D について注目すると、 Re の増加に伴い減少する。これは Re の上昇とともに、円柱後方への巻き込み力が強くなっていることを示唆している。また、水素気泡を用いた実験のビデオ映像より、形成領域の大きさと円柱前端近傍での馬蹄形渦の位置関係では、最も馬蹄型渦が円柱より離れるとき、流れ方向の形成領域が長くなっているように観察された。この変化特性を考察する上で、後流形成領域の長さを一様流中の流れの可視化実験より求めた後流形成領域²⁾を図中に実線、破線で同時に示した。その結果、実線で示した後流の形成領域と円柱後方での馬蹄形渦による掃き出し跡 Lb/d はほぼ一致した。

このことから、下流方向の掃き出し領域は後流の形成領域に関係していると考えられる。また、これまで行なわれた同じ水理条件の実験結果から、 $Y/H=0.2$ 以下の水平断面ではカルマン渦の形成が確認されていないが⁸⁾、その上部の流れ構造が壁面に及んでいることを示唆し、注目すべき点である。

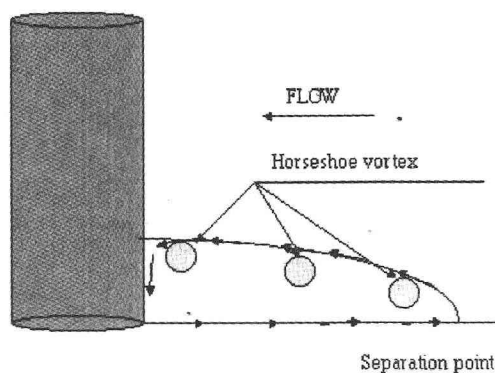


図-3 円柱前方の馬蹄型渦の移動モデル

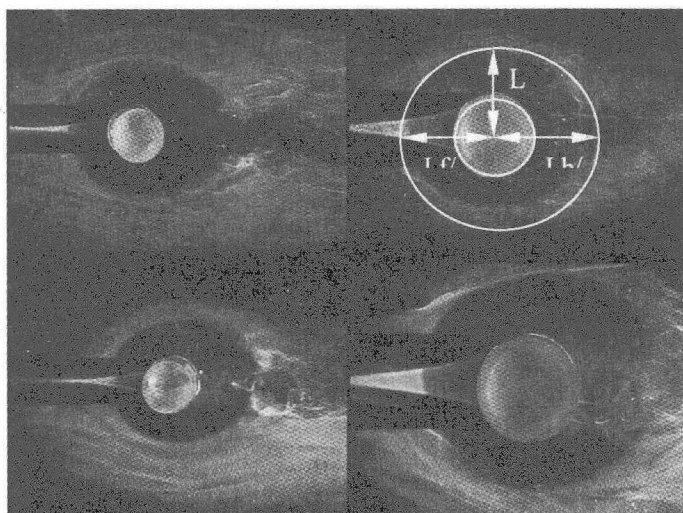


図-4 染料による掃き出し現象

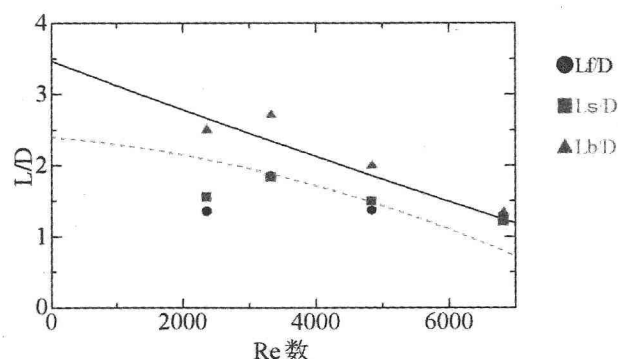


図-5 染料の掃き出しスケール

参考文献 1) 佐賀孝徳他：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.

2) 佐賀孝徳他：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.