

物体周りの流れの組織構造に関する研究

徳山高専 学 ○今本雅恵

徳山高専 正 佐賀孝徳

徳山高専 正 渡辺勝利

1. はじめに

物体周りの流れは、自然界の現象はもとより、航空工学、船舶工学、自動車工学などあらゆる工学の流体力学に係る分野で数多く観察される基本的で重要な流れである。しかも、その現象は、物体に直接作用するいわゆる流体力を及ぼすことから、これまでも数多くの研究がなされてきている。近年の物体周り、とくに円柱後流に関する数多くの研究が総括され¹⁾、その中で、「従来の研究レビューの中で物体後流中の渦力学に関する多くの謎とされていた事柄が最近の文献で解明されてきている。それは、おそらく研究者らの新しい理解の本質的な部分が、一見すると二次元的な後流の中でも三次元的な特徴へと向けられたからである。その際、PIV 法、三次元的な DNS 法、従来法、さらに二次的な安定解析がその解明手段として用いられてきた。」と述べられている。しかしながら、詳細な後流の組織性については、不明な点も少なくなく、特に一様流ではなく、せん断流中における後流の組織性については、さらに多くの不明な点が残されている。そこで、本研究では、せん断流中に置かれた円柱周りの組織構造の三次元性について研究を行なうものである。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は、長さ 10m、幅 60cm、高さ 15cm 水路床勾配 1/1000 の総アクリル製水路が用いられた。上流には、乱流促進のためのスプリングワイヤーと整流装置としてハニカムが設置されている。実験は、開水路流れの中に直径 4cm の円柱を鉛直に挿入し、横断面視、水平断面視、DPTV が行われた。図-1 に、実験装置の概略を示す。水平断面視および DPTV の実験条件は、 $Re(UmD/\nu) = 5000$ (5900), $H = 10.2\text{cm}$, $Um = 5.4\text{cm/s}$ (5.3cm/s) である。また、括弧内は、横断面視の実験条件である。

3. 実験結果および考察

図-2 に、 $y/H = 0.93$ の水平断面形象を示す。流れ方向は右から左である。これより、円柱後流の右側(図中 I)にカルマン渦が発生し、その反対の左側(図中 II)では剥離せん断渦が規則的に発生していることが認められる。これは、カルマン渦による大きな巻き込みの形成により、反対側に強いせん断層が発生するためだと思われる。カルマン渦は、交互に周期的に発生することが知られているが、剥離せん断渦についても、両側から一様に発生しておらず、その発生周期は、カルマン渦の交互性に関係していることが明らかであり、注目すべき点である。図-3 に、 $y/H = 0.05$ の水平断面形象を示す。これより、河床近傍に左右対称の襟巻き渦が発生していることが認められ、カルマン渦的な挙動は観察されない。このように、円柱後流の形象は高さ方向によって変化することが確認された。ここで、剥離せん断渦とカルマン渦の発生周期を、図-4 に示す。剥離せん断渦は、撮影した形象をモニターに映し出し、円柱後端から 3cm 後方を渦の先端が通過する時間を計測したものである。カルマン渦は、ある時間内に発生する個数から平均を求めた。これらのグラフは、横軸を y/H (y : 河床から撮影断面までの高さ, H : 水深), 縦軸を TU/D (T : 周期, U : 平均流速, D : 円柱の直径) として、ともに無次元化した値で表わしている。剥離せん断渦は、各断面での周期の差はなく、ほぼ一定で、平均発生周期は 0.64 秒である。カルマン渦は、河床に近づくにつれ、多少減少の傾向があり、平均発生周期は 3.54 秒で、これを用いたストローハル数 $St (= fD/U, f$: 円柱の背後に生じる渦の振動数, D : 円柱の直径, U : 平均流速) で表示すると 0.21 であり、これまで明らかにされたカルマン渦周期と一致する。

次に、図-5 に円柱後端より 3cm 下流の横断面形象の一例を示す。後流域は左右に揺動し、高さ方向で変動の幅が異

キーワード カルマン渦列 剥離せん断渦 円柱後流

連絡先 〒745-8585 山口県徳山市久米高城 3538 電話 0834-29-6200 (代)

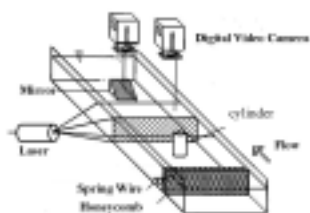


図-1 実験装置

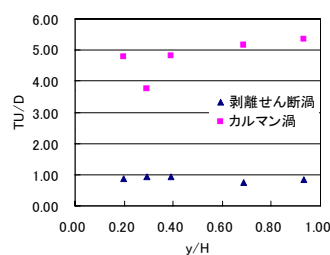


図-4 渦発生周期

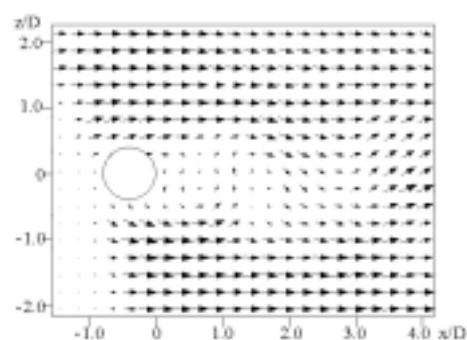


図-7 流速ベクトル(y/H=0.93)

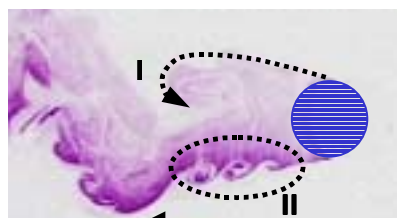


図-2 水平断面画像(y/H=0.93)



図-5 横断面画像

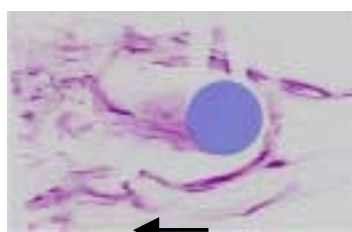


図-3 水平断面画像(y/H=0.05)

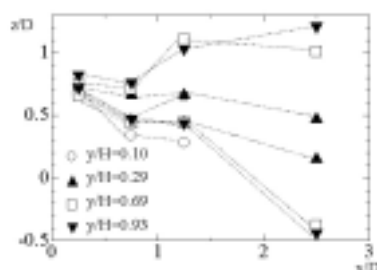


図-6 後流域の変動領域

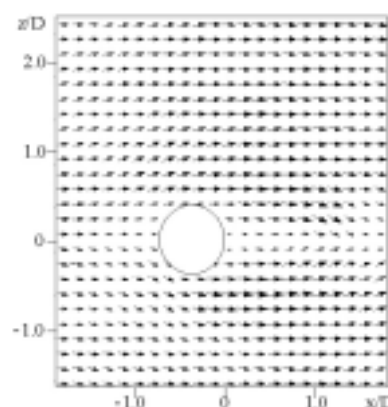


図-8 流速ベクトル(y/H=0.05)

なり、その境界は凹凸を繰り返していることが確認できる。しかも、横断方向の変動は、水深方向の小さなスケールで集団的に変動する三次元性を有していることがビデオより確認された。そこで、流下距離と水深の違いによる可視化形象の変動特性を示すため、各横断面における後流域の振れ幅を測定し図-6に表した。横軸を x/D (x : 流下方向距離, D : 円柱の直径), 縦軸を z/D (z : 円柱の中心からの振れ幅の最大値と最小値, D 円柱の直径), パラメーターを y/H (y : 河床からの高さ, H : 水深) として、ともに無次元化した値で表している。これらから、水表面近くでは、流下距離が長くなるにつれ変動幅も広くなることが確認された。しかし、河床近くでは流下距離が長くなっても、変動幅の差は変わらない特徴を示している。また、水表面近くはカルマン渦の影響を大きく受けているために、大きな変動性を示し、 z/D がマイナスの領域まで広がっている。

次に、断面の形象の異なる $y/H=0.93$, 0.05 の水平断面視に DPTV を用いて、流速ベクトル図を作成した。図中の円で示されたものが円柱に相当し、流れ方向は左から右である。横軸は x/D , 縦軸は z/D で表され、原点は円柱の最下流端である。流速ベクトルの大きさは、図中の下に示されている。図-7 に $y/H=0.93$ の流速ベクトルを示す。右側(図中下部)では、流れが内側に巻き込まれ、カルマン渦に対応するベクトルが認められる。また、 $x/D=4.0$ の範囲まで後流域が影響を及ぼしている。図-8 に $y/H=0.05$ の流速ベクトルを示す。円柱前部のよどみ領域では流速が低下しており、側方部では長い範囲で、左右対象のかなり高速の領域が形成されている。また、この後流域の影響範囲は $x/D=2.0$ までであり、これらの速度変動特性は、水平断面視と横断面視の考察によって確認された特徴と一致する。

水平断面視、横断面視の実験結果より、円柱の後流は、壁面近くでは襟巻き渦、そして水表面側では剥離せん断渦とカルマン渦の三次元構造の存在が明らかにされた。また、DPTV による解析によって、カルマン渦および襟巻き渦に対応する、瞬時の速度について特徴が明らかにされた。

参考文献 1) C.H.K.Williamson: VORTEX DYNAMICS IN THE CYLINDER WAKE, *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 28, 1996.