

Ⅱ-17 可視化粒子画像流速測定法の開発と縦列円柱周辺の平均流構造に関する研究

愛媛大学大学院 学生会員○村上 真

兵庫県庁 非会員 大黒 学

愛媛大学工学部 正会員 門田章宏

愛媛大学工学部 フェロー 鈴木幸一

1. はじめに

円柱後流は、二つの二次元的なせん断層を有する流れの不安定性から円柱後方に Kármán 渦が放出される現象である。円柱などに代表される物体の背後に形成される後流は様々な問題を抱えている。例えば、河川に発生する後流では床固め下流部の段落部や水制など河川構造物の背後に発生し、洗掘による河川構造物の不安定性にも影響を及ぼしている。

これまでの円柱後流に関する研究は流れに対して単一の円柱モデルがある場合が多く、複列に並んだ円柱に関する研究は少ない。また、潜水状

態にあるような有限高さをもつ円柱周辺の流れは円柱表面上の Trailing 渦が発生するなど、従来の研究で見出された Kármán 渦等とは異なった新たな組織渦構造が見出されている。本研究では、水面が円柱の上にある潜水状態の下で縦列二円柱の周辺に発生する様々な組織渦構造を解明することを目的として、円柱模型や循環式開水路をはじめとする可視化実験装置の作成・設置を行い、高精度な画像撮影技術の習得を行った。次に、PTV(Particle Tracking Velocimetry)手法を適用する際には、これまで問題とされてきた計算時間や精度の向上を図るため、PIV(Particle Image Velocimetry)解析に一般的に使われる FFT 相互相関法と直接相互相関法の二つの手法を二値化相関法に導入し、これら二手法のそれぞれの欠点を最小限に抑えることで精度を保った状態で高速計算を実現した。また、解析で得られた結果より、縦列円柱周辺の流れに関して鉛直断面および水平断面内の瞬間流速を測定し、平均流速などの基本的乱流構造を調べることでその構造を明らかにした。

2. 可視化実験装置の開発

図-1 に示す可視化実験装置の開発では、アクリル製の直線開水路を精度良く作成し、その周辺に画像取得用 PC や高速 CCD カメラ、メタルハイドファイバー照明装置等を設置し、その装置を架台等で、様々な角度から撮影できるように設置した。直線開水路作成の際、計測断面において一様流が保てるように下流側タンクからポンプによって、くみ上げられた水を上流側タンクに一度溜めておき、その上流側タンクの下流側に整流板を設置することで一様流を再現した。また、水路下流端には、高さが調整可能な堰を設置し、任意の水深を設定できるなどの工夫を行った。縦列円柱模型については、鉛直断面内の撮影の際に光の散乱を最小限に防ぐために、つや消しの黒色塗料を用いてコーティングを行った。また、水平断面内の撮影の際には、透明アクリル性の円柱を作成し、円柱背後の撮影ができるよう工夫を行った。

3. PTV 解析コードの開発

高速計算が可能な PTV コードの開発では、従来から用いられている空間情報を利用する二値化相関法のア

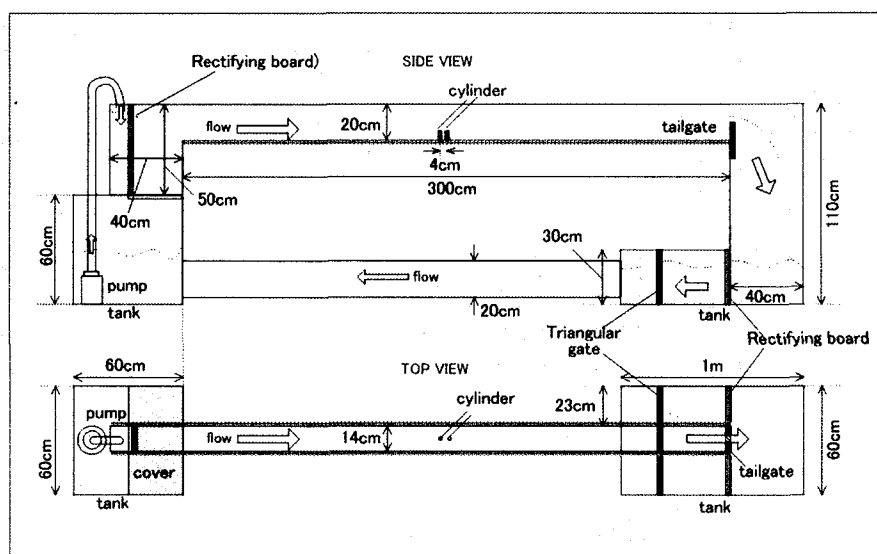


図-1 実験水路概略図

ルゴリズムを基に、第1画像にある粒子を中心とした検査画像と、第2画像にある同じサイズの候補画像との相互相関をとって流速ベクトルを求めるといった PIV 法でよく用いられている手法を採用した。これによって求められたベクトル値を用いて、次の計算ステップである直接相互相関法の候補領域を設定し、精度を保った流速ベクトルを評価する。これら二つの手法を採用することで、FFT 相互相関法で問題とされていた検査・候補領域サイズの制約による誤差の問題を解消した。また、FFT 相互相関法で流れ場の全体を把握した後、直接相互相関法で、設定しなければならない候補領域サイズが自動的に設定され、精度の良い直接相互相関計算が適切で効率的な候補領域サイズの下で行える。

4. 解析結果の考察

縦列円柱周辺の流れの平均流構造を解明するため、PTV 解析結果から得られた瞬間流速ベクトルからの統計解析結果を考察した。図2,図3に示す(a),(b)は、それぞれ水深10cm 流量 $1000\text{cm}^3/\text{sec}$, 10cm 流量 $2700\text{cm}^3/\text{sec}$ の解析結果を示している。ここでは水平断面平均流速ベクトル図は、水深が3cmの地点の水平面図を示している。鉛直断面において、図の比較から流入流速の違いによって二本の円柱間の流速ベクトルの様子が異なっていることが分かる。特徴的な現象の一つとして、上流側の円柱の上端において大きな上昇流が発生していることである。特に水深が高くかつ流量が大きなケース(図-2(b))においてこの傾向が顕著であることがわかる。上流側円柱を過ぎると、流れは二つの円柱間へ流入する下降流へと変化する。この傾向は上流側円柱上部の流速が大きいほど円柱間への流入が顕著であり、この流入した流れは、底面付近の流れの傾向から横断方向に流出しているようであり、この付近では三次元性の強い流れであると推測される。

次に、水平断面流速ベクトル図の比較から、縦列円柱外側の流速によって縦列円柱間の流速のパターンが異なってくることが分かる。図-3(b)で観察されるように上流側円柱上流側における流入流速が大きくなると円柱間における流速差が大きくなり強いせん断層が形成されることがわかった。

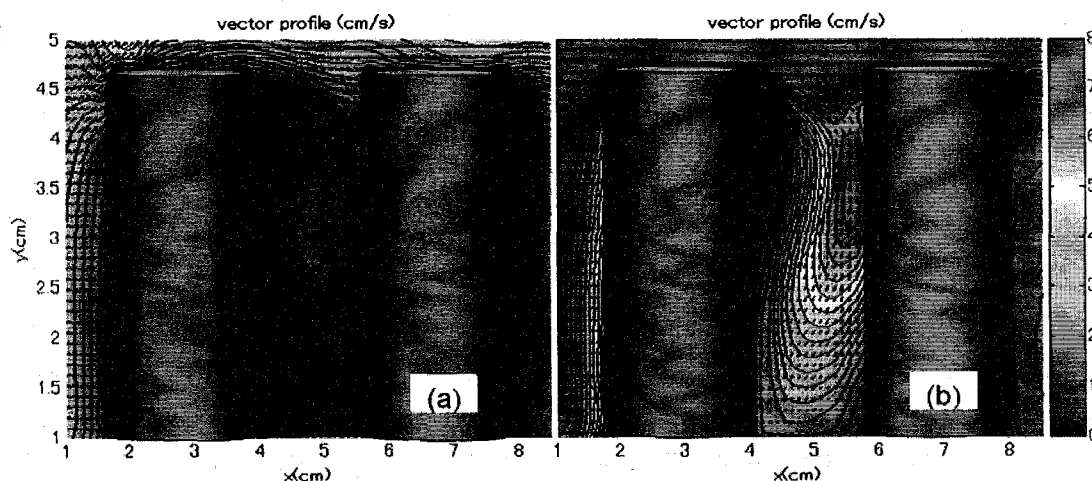


図2 鉛直断面平均流速ベクトル図(cm/sec)

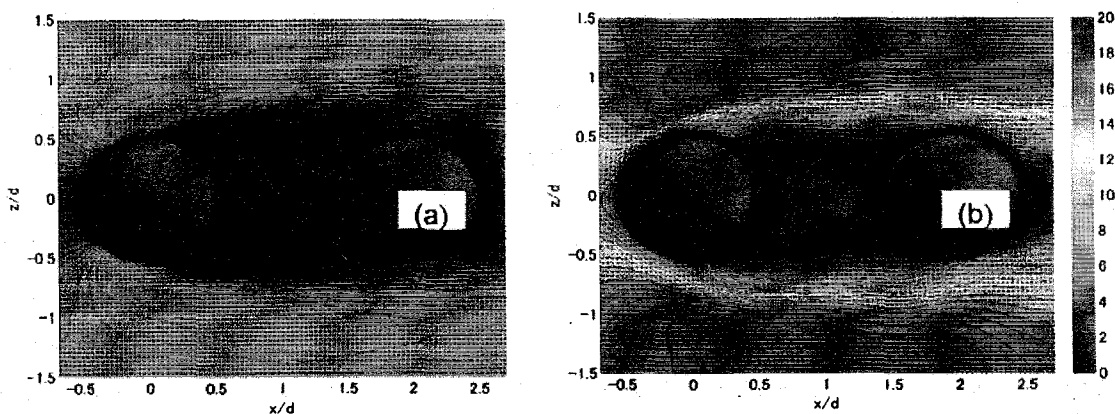


図3 水平断面平均流速ベクトル図 (y=3cm) (cm/sec)