

II-34

PIV可視化手法による円柱周辺の成層流れの流速測定

東北工業大学 正員○相原 昭洋

東北工業大学 正員 阿部 至雄

1. はじめに

密度界面上の円柱背後の流れには、その後流に発生するカマ渦や密度界面上に発生する馬蹄型渦によって強い速度勾配を有する流れ場が形成される。それら円柱背後に生じるvortex sheddingの相互作用によって上昇流が発生し密度界面が変動する。本研究では、成層流中に設置した円柱周辺の速度場の計測に粒子像流速計(PIV:Particle-Image Velocimetry)を用い、主に円柱背後の縦断面で得られた流速ベクトル、等流速線の結果について考察を行った。

2. 実験条件及びPIV可視化計測システムの概要

実験は、密度差を $\Delta\rho=0.02\text{gr/cm}^3$ として、上層水深 $h_1=10.0\text{cm}$ 、下層水深 $h_2=10.5\text{cm}$ 、上層流動、下層静止の成層密度流場に $d=5\text{cm}$ の円柱を設置し、流量 $Q=80\text{cm}^3/\text{s}$ として実施した。なお、Keulegan数は $\Theta=0.372$ とした。

流れの可視化は、トレーサ粒子を円柱上流から投入して、レーザーシートを水路上方および側方から照射して実施した。可視化されたトレーサ粒子の動きをCCDカメラで連続撮影しHi-8ビデオに録画して画像の蓄積を行った。得られた可視化画像より、異なる数時刻でのトレーサ粒子の分布パターンの類似性から速度を計測するCurrentシステム(新日鉄情報システム)で解析し、多点の速度情報より流速ベクトル、等流速線を得た。そのPIV可視化計測システム(以下、PIVシステム)の構成を図-1に示した。

図-2には、Currentシステムで用いられているトレーサ粒子追跡法の概要を示した。追跡は、4時刻のトレーサ位置が情報として用いられる。時刻1の画像から任意のトレーサ粒子No1を選択する。時刻2でトレーサ粒子がNo2に移動したと仮定して、時刻3のトレーサ位置を時刻1と時刻2の直線上に推定し、その推定位置から探索距離 L_2 を設定し、領域2内に存在する粒子No3を選択する。時刻4に対しても時刻3と同様に領域3に粒子No4が存在すれば、時刻1から時刻4において同一トレーサの流跡であると判断する。この追跡を時刻1の画像全ての粒子に対して行い、画像空間内の流速ベクトルを求める。

次に、PIVシステムで得られた流速を検証したのが図-3である。図は円柱上流で測定された流速分布を示している。また、図中の白丸はサマシ微流速計での点計測結果を示し、黒丸印は、PIVシステムで得られた結果を示している。図によれば、PIVシステムによる測定結果は、時間平均流速に対しては点計測結果とほぼ一致した結果を示している。また、点計測では補正されなかった密度界面下の微小な流速が計測されており、密度界面下の流動にも追従する事が分かる。

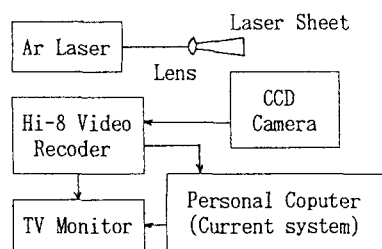


図-1 PIV流れの可視化計測システム構成図

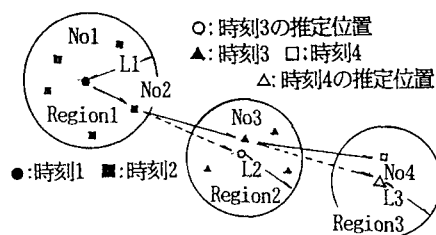


図-2 トレーサ粒子追跡法

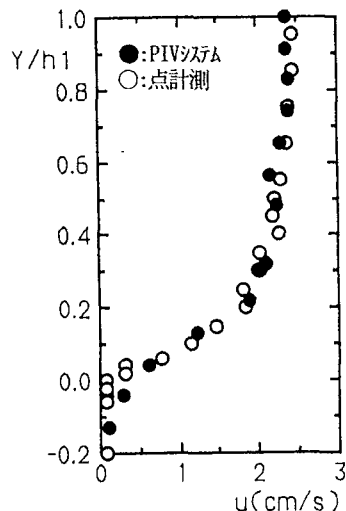


図-3 PIVシステムと点計測の比較

3. 実験結果及び考察

写真-1に円柱背後の流況を示した。円柱背後に生じるカマ渦や密度界面上に発生渦が観察される。

このような流れ場にPIVシステムを適用して得られた流速ベクトルを図-4に示した。図は、円柱中心線にリット光を照射して得られた円柱後流域の流速ベクトルである。

図より、円柱背後のカマ渦の遷移域では、カマ渦の巻き込みによって遷移域内に入り込んで来る流れが卓越し、その流れによって上層水深の中間付近の鉛直面内に弱い循環流が発生している様子が見られ、複雑な流れ場が形成されている。また、密度界面近傍でも比較的強い円柱方向へ向かう流れが見られる。

一方、馬蹄型渦の終端部付近に上昇流の存在が認められ、上昇流は始め密度界面から鉛直方向へ上昇し、上層水深の中間まで達すると、流れの向きを流下方向へ変え水面付近まで達する。この上昇流はカマ渦がその遷移域を離脱する際に発生すると考えられる。

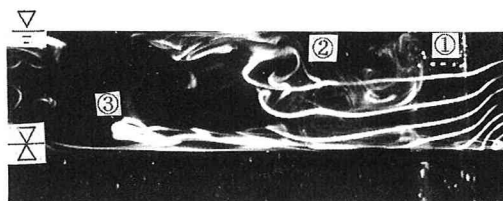
図-5に平均流速の等値線を示した。円柱背後の遷移域では -0.4cm/s 程度の逆流域となっており、上層中間の円柱近傍では、死水域が形成されている。この領域に、馬蹄型渦終端部で破壊された塩水が界面に沿う流れによって輸送され滞留すると考えられる。また、等流速線の混み合う部分がカマ渦による上昇流が発生している部分である。その馬蹄型渦終端部付近の密度界面上に速度差の大きい部分が局所的に存在する。

図-6に流速の鉛直方向の速度成分 v の等値線を示した。馬蹄型渦終端部から発生する上昇流は、密度界面に近い部分で鉛直方向への流れが最も卓越し、その速度は 0.7cm/s である。さらに、遷移域には $-2.0\sim-0.5\text{cm/s}$ の下降流が上層水深の中間付近と密度界面付近に確認される。

4. あとがき

成層密度流中の円柱周辺の速度場の計測にPIV可視化手法を適用した。PIVシステムによって円柱後流域に発生する放出渦による速度場の時間的平均量を把握する事が可能となった。

最後に、本実験を遂行するに当たり本学学生、曾我 靖君 高橋克明君、武田英伸君の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。



①:円柱 ②:カマ渦 ③:馬蹄型渦
写真-1 円柱背後の流況

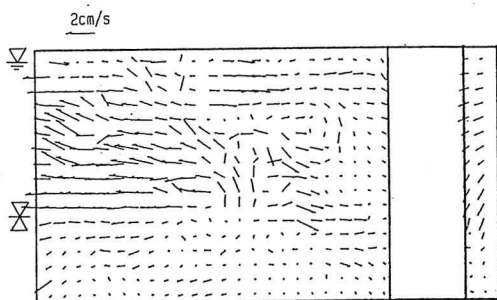


図-4 流速ベクトル（円柱後流）

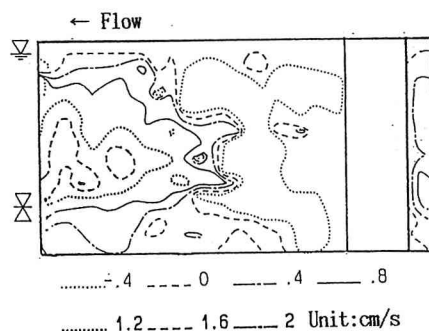


図-5 等流速線（平均流速）

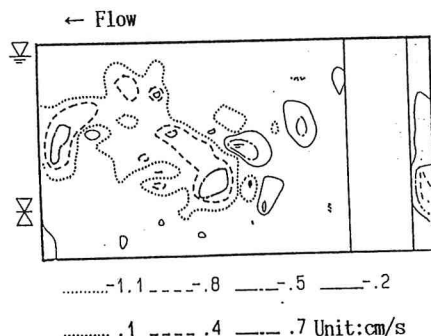


図-6 等流速線（速度成分 v ）

参考文献

- 1) 相原、阿部:成層密度流中の円柱周辺に生じる密度界面の挙動特性、土木学会第46回年講
- 2) 新日鉄情報システム(株):流れの可視化システムマニュアル