

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

成層密度流中に設置された円柱背後の流れには、後流域に放出されるカルマン渦と密度界面上に発生する馬蹄型渦の相互作用によって上昇流が発生し、乱れの激しい複雑な流れ場が形成される。これら円柱背後に生じるvortex sheddingの相互作用は、密度界面の変動や破壊、密度混合と言った問題を誘発する。本研究では、成層密度流場に設置した円柱後流の速度場の計測に粒子像流速計(PIV:Particle-Image Velocimetry)を用い、流速ベクトル、等流速線等の平均量を求め、それらを基に円柱後流域の平均流速場の特性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直径 $D=5\text{cm}$ の円柱を設置し、流量 $Q=801\text{cm}^3/\text{s}$ 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ハイビットレイト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。

次に、PIVシステムで得られた流速を検証したのが図-2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、図中の白丸はサマル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はほぼ一致した結果を示している。また、点計測では補捉されなかった密度界面近傍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。

3. 実験結果及び考察

図-3は、自由水面で計測された流速ベクトルの一例を示した。カルマン渦が円柱背後で渦を巻きながら遷移域から離脱して放出されていく様子が分かる。この水平断面の流速ベクトルから得られた自由水面と上層水深中間の円柱後流の流速分布を示したのが図-4,5である。図中にはカルマン渦の遷移域の中央($X/h_1=0.7$)、馬蹄型渦終端部($X/h_1=1.38$)、下流部($X/h_1=3.0$)の横断分布についてそれぞれ表してある。

図-4に示した流速分布より、自由水面では $X/h_1=3.0$ 付近でも円柱後流の影響を受けている事が分かる。また、 $X/h_1=1.38$ 、 $Z/D=0.3$ の流速が主流流速と同程度に加速されている。これは、カルマン渦が遷移域から離脱する際に、周囲の

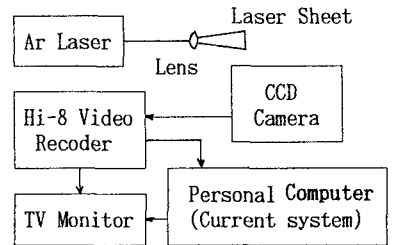


図-1 PIV流れの可視化計測システム構成

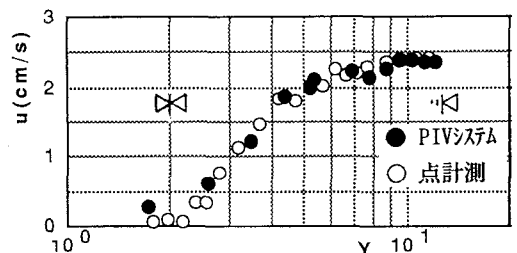


図-2 PIVシステムと点計測の比較

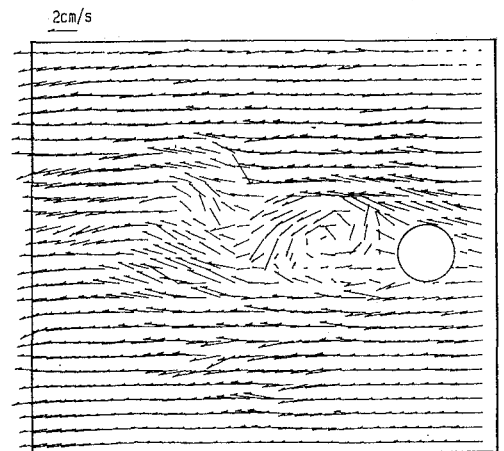


図-3 流速ベクトル（自由水面）

流体を主流方向へ誘引するため流速が加速されると考えられる。

図-5の上層水深中間の流速分布について見ると、主流方向の流速は自由水面と比べ殆ど差異はみられない。しかし、円柱背後の死水域や後流幅の規模は自由水面に比べ小さいことから、カマノ渦の自由な運動は、密度界面の影響を受けて抑制されると考えられる。

図-6は、円柱中心線上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。

同図より、円柱背後のカマノ渦の遷移域では、カマノ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下降流が発生している様子が見られ、三次元的で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、この界面に沿う流れによって馬蹄型渦終端部で破壊された塩水が円柱背後に輸送されて滞留し、遷移域で密度混合が促進されていると推測される。

一方、馬蹄型渦の終端部付近にCoherentな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。この上昇流はカマノ渦がその遷移域を離脱する際に発生すると考えられる。

計測結果によれば、上昇流は馬蹄型渦終端部の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、密度界面から発生する上昇流と隣り合わせに、上層水深中間付近と密度界面付近に-0.2~-0.5cm/sの下降流が確認され、馬蹄型渦終端部の密度界面上に速度差の大きくなる領域が局所的に存在する。

4. あとがき

成層流中に設置した円柱周辺の速度場の計測にPIVシステムを用いる事によって、円柱後流域の放出渦による速度場の時間平均的な特性を把握する事が出来た。また、カマノ渦の遷移域内の流況は、複雑で三次元的な挙動を示すが、馬蹄型渦終端部より発生する上昇流は、密度界面付近で鉛直方向の速度が最も卓越している事が分かった。最後に、本実験を遂行するに当たり当時本学学生であった、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。

参考文献

- 1) 相原、阿部(1991):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) 相原、阿部(1993):PIV可視化手法による円柱周辺の成層流れの流速測定,平成四年度土木学会東北支部

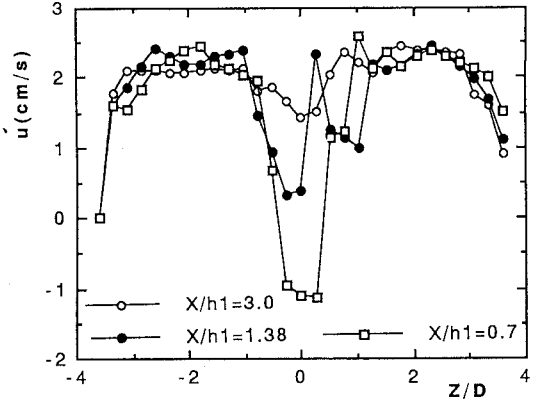


図-4 円柱後流の流速分布（自由水面）

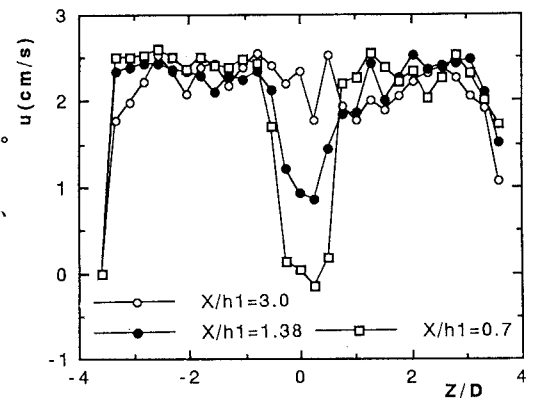


図-5 円柱後流の流速分布（上層水深中間）

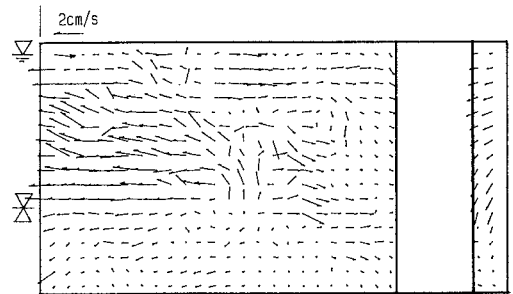


図-6 円柱後流の流速ベクトル