

II-228

円柱背後のVortex Sheddingによる密度乱流場の変動特性

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

成層密度流場に設置された円柱周辺では、加マッ渦や馬蹄型渦といったVortex Sheddingの相互作用によって上昇流が発生し、界面が破壊され密度の拡散混合が生じる。この乱流拡散現象は、速度場と拡散物質との相互作用に基づくものである。そこで本研究では、上昇流に着目したPIV可視化計測と流速、濃度の同時点計測を実施して、上昇流の発生過程および流速変動と濃度変動との相互関係について考察をおこなった。

2. 実験の概要

実験は、密度差を $\Delta=0.02\text{gr/cm}^3$ 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 $D=5.0\text{cm}$ の円柱を設置して表-1に示す実験条件の基で実施した。流速と濃度の同時計測は測定断面を馬蹄型渦終端部(L_x)と馬蹄型渦中央部($L_x/2$)に選定し、水深方向の自由水面付近($Y/h_1=0.95$)、上層水深中間($Y/h_1=0.5$)、密度界面($Y/h_1=0.0$)で実施した。その測定断面位置を図-1に示した。また、流れの可視化は、トレーサ粒子を水路上方から投入して、レーザーライトシートを水路上方から水路中心線上に照射して実施した。可視化されたトレーサ粒子の挙動をCCDカメラで撮影し、得られた画像をCurrent System (新日鉄情報システム)で解析した。

3. 実験結果及び考察

図-2～4に上昇流の発生過程を流速ベクトルの経時変化で示した。図-2は上昇流の発生初期の状況を示したものである。同図より、円柱背後で発生する加マッ渦の巻き込みによって上向きの流れが卓越している様子がみられる。この渦の巻き込みによって馬蹄型渦終端部の密度界面上に上昇流が発生し始める。上昇流の発生には、密度界面上に形成される馬蹄型渦が関与しており、加マッ渦の離脱によって馬蹄型渦終端部の脚が円柱中心方向に引き込まれ、次に円柱背後で発生する加マッ渦が馬蹄型渦終端部の脚を巻き込むことによって鉛直上向きの流れが生じると考えられる。この1秒経過後に、加マッ渦が完全に形成されると、図-3に示すように、鉛直上向きの流れは最も卓越するようになり、上昇流は上層水深中間まで達する。その後、上昇流は、馬蹄型渦終端部から離脱しようとする加マッ渦によって下流側に誘引され、その流れの向きを下流方向に変え自由水面付近まで達しその規模は最大になる。以後、図-4に示すように、加マッ渦が馬蹄型渦終端部を離れると、密度界面付近から発生する上昇流は弱くなり、この時点で上昇流の一周期の発生過程が終息し、次

表-1 実験条件

CASE	流 量 cm^3/s	密度フルード数 Fri	ケリガン数 Θ
1	392	0.069	0.762
2	804	0.144	0.295
3	1196	0.211	0.249

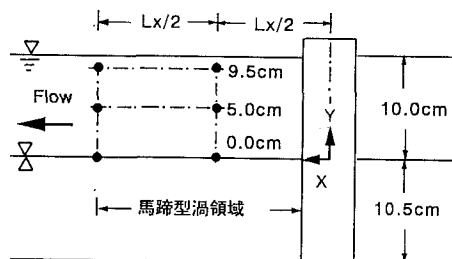


図-1 測定断面位置

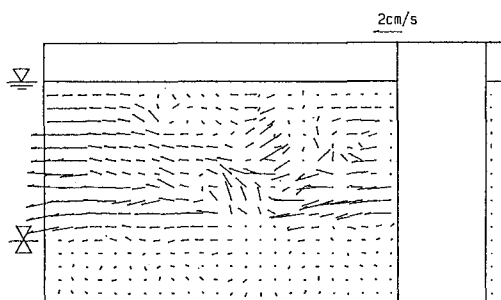


図-2 流速ベクトル(CASE-3, $t=1\text{sec}$)

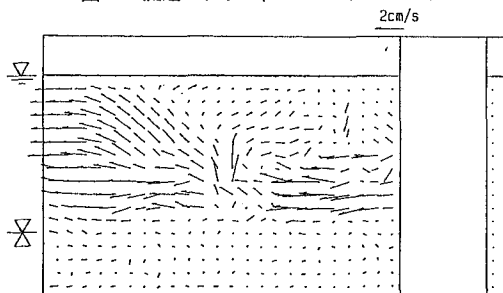


図-3 流速ベクトル(CASE-3, $t=2\text{sec}$)

のカラム渦の生成が始まる。

図-5に馬蹄型渦終端部で同時計測された流速と濃度の計測記録を示した。図中の $Y/h1=0.5$ は上層水深中間、 $Y/h1=0.0$ は密度界面に対応している。図によれば、上層水深中間と密度界面の流速は、上昇流の発生に準じた変動を繰り返している。さらに、密度界面の流速に比べ上層水深中間の流速は大きく、密度界面よりも上層水深中間で上昇流の影響をより強く受けている事が分かる。一方、流速の変動に対し濃度の変動の割合は激しく、界面破壊による下層水の上昇や密度界面の変動等が濃度変動に含まれていると考えられる。

図-5の流速と濃度に対する自己相関と相互相関を示したのが図-6、7である。図-6の上層水深中間での自己相関を見ると、上層水深中間の流速変動は周期性が強くピーク間隔はほぼ等間隔の約4.7secとなっており、上昇流はこの周期で発生すると考えられる。濃度は、その上昇流の発生周期の約1/2程度の周期で変動していることが知れる。

図-7の相互相関について見ると最大ピークの値が-2.2秒となっており、界面で生じる変動が上層中間付近まで影響を及ぼしていることが分かる。

図-8は流速および濃度変動スケールの卓越周期を円柱前面で測定した局所的平均流速を用いてストローハ数(St)として表したものである。図によれば、自由水面付近($y/h1=0.95$)での St 数は0.14~0.48であり、均質流で得られているカラム渦の St 数0.21前後の値を示す。それに対し上層水深の中間では0.28~0.78と約2倍程度の値を示すが、この値は円柱背後で交互に離脱するカラム渦によって発生する上昇流の発生周期に相当している。また、濃度変動に対する St 数は0.34~2.54の値の範囲に分布しており、その上限と下限値のほぼ中間に界面で得られた St 数が存在することから、界面付近の速度場が濃度変動に影響を及ぼしていることが分かる。さらに、 Re 数 ≈ 630 の St 数の下限値は、上層水深中間の St 数と同程度の値を示すことから、濃度変動は上昇流の影響も受けていることが知れる。

4. あとがき

成層密度流場に設置した円柱後流域の放出渦に着目した速度場の可視化計測と点計測を併用する事によって、上昇流の発生機構と速度場と濃度変動の相互関係を把握する事が出来た。

参考文献

- 1) 相原、阿部(1993):成層密度流中の円柱後流域における流速の可視化計測,土木学会第48回年講

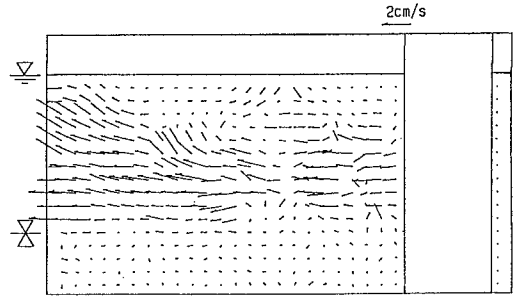


図-4 流速ベクトル(CASE-3, $t=4\text{sec}$)

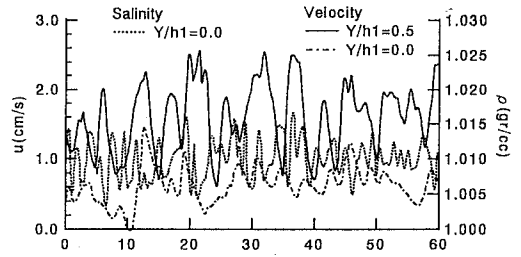


図-5 流速と濃度の同時計測記録(CASE-3) $t(\text{sec})$

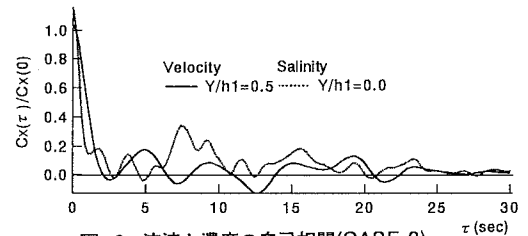


図-6 流速と濃度の自己相関(CASE-3)

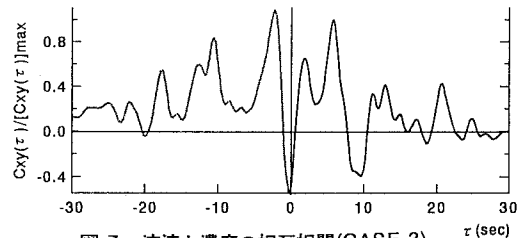


図-7 流速と濃度の相互相関(CASE-3)

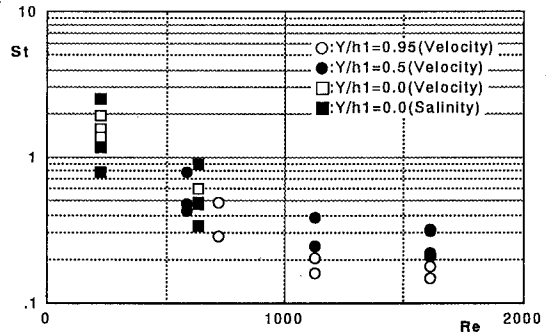


図-8 卓越周期に対する St 数