

II - 6 成層密度場に置かれた円柱周辺の可視化とその考察

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

成層密度流の密度混合機構や密度界面の安定性の問題は、従来より多くの研究成果がある。しかし、成層密度流中に構造物を設置すると、構造物背後に強制的に生じる擾乱によって、密度混合や内部波等が生じる。その様な現象は、従来の shear flow としての取扱いとは異なるものと考えられる。そこで、成層密度場に円柱を設置して、特に、円柱周辺の密度界面を可視化し、構造物設置によって変化する密度界面の現象を定性的に把握することを目的とした。

2. 実験条件および実験方法

実験は、長さ10m、幅0.4m、高さ0.3mの水路を用い、水路中央部に $D=5.0\text{cm}$ の円柱を設置しておこなった。図-1に流れの模式図、表-1に実験条件を示した。なお、表中の Re 数は円柱に対する Re 数である。流れの可視化は、円柱前面よりウラン水溶液を投入し、水面付近 ($Y/h_1=0.95$)、上層水深の中間 ($Y/h_1=0.5$)、密度界面 ($Y/h_1=0$) の横断面に水路側方からスリット光を照射して可視化を行い 35mm カメラ、VTR に収録した。また、密度界面の流跡写真を得るために油滴トレーサ法を用い、収録した画像より流跡線図を求めた。また、流速の計測には、サマシ式微流速計を用い、濃度の検出には導電率計を使用した。

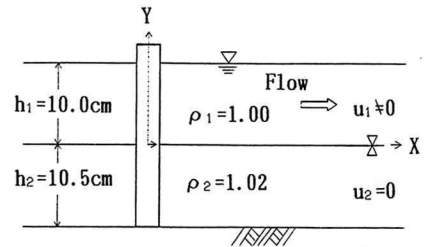


図-1 流れの模式図

表-1 実験条件 (U: 上層, 下層の相対速度差)

CASE	流 量 cm^3/sec	内部フルード数 Fri	ケーリッソン数 Θ	レイノルズ数 $Re=UD/\nu$
1	412.3	0.074	0.726	483.0
2	563.6	0.101	0.536	642.2
3	775.7	0.139	0.380	952.3
4	994.8	0.178	0.299	1174.3
5	1212.7	0.217	0.245	1457.7

3. 実験結果及び考察

(1) 上層流の流況

写真-1に水面付近 ($Y/h_1=0.95$) の流況を示した。水面付近では、円柱背後に形成される渦の遷移域から、渦が交互に剥離するカラム渦列が観察される。水深方向の違いを $Y/h_1=0.5$ と比較しても渦の規模、形状にはほとんど差違はみられず、僅かに、流下する渦列の横への広がり方が $Y/h_1=0.5$ の方が小さいことが確認された。

(2) 密度界面付近の流況

界面付近での流況は、写真-2で見られる様に、円柱を取り囲む流れが存在する。この流れに、油滴トレーサを投入し、トレーサの軌跡を写真-3に、それを図化して流跡線として図-2示した。これによると、トレーサの流れが速い部分があり、VTRの観察結果と照合すると、この円柱を取り囲む流れは、パイプ状を呈し螺旋状に回転しながら流下し、円柱背後で合併する馬蹄形状の渦であることが分かった。この馬蹄形渦の合併する付近では、局所的に強いせん断流が発生するため界面の隆起が認められ、その下流界面には界面波が発生する。また、馬蹄形渦の内側には一対の双子渦が明瞭に見られる。この様な流況は、 Re 数が小さくなると図-3に見られる様に、馬蹄形渦と双子渦の境界が不明瞭となり、むしろ、双子渦としての形態が支配的となる。



写真-1 水面付近 ($Y/h_1=0.95$) の流況

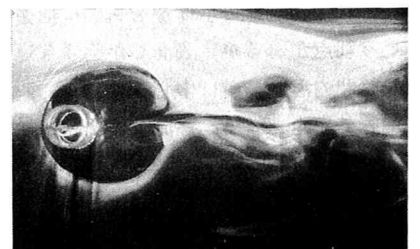


写真-2 密度界面付近 ($Y/h_1=0$) の流況

(3)密度混合機構

円柱周りに生じる馬蹄形渦は、界面破壊の主因をなすもので、円柱周辺の界面を破壊し下流に塩水を連行する。破壊された塩水の一部は、馬蹄形渦の終端から円柱背後へと輸送され、馬蹄形渦内に取り込まれ密度混合層を形成する。取り込まれた塩水の一部は、カマツ渦の生成に伴い上層へ巻き上げられ、上層流と共に下流へ運ばれ拡散する。

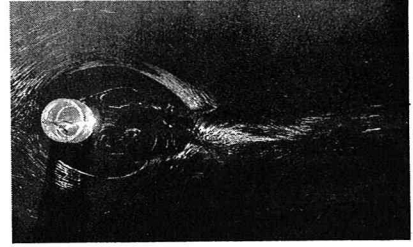


写真-3 トレーサの軌跡

(4)馬蹄形渦の規模

馬蹄形渦の規模を得られた画像より計測して図-4に示した。縦軸は L_x, L_{x1}, L_w を円柱の直径 D で無次元化した。図より、 L_x, L_w は、ほぼ同じ長さであり、 Re 数が大きくなると L_x, L_w は共に小さくなる傾向にある。それらの長さは D の約3倍程度である。また、 L_x は円柱から界面波が発生する点までの距離に相当し、さらに、上層のカマツ渦が円柱背後で離脱するまでの遷移域長さとはほぼ符合する。 L_{x1} については、円柱後流の L_x, L_w より Re 数による長さの低減が大きいことから、馬蹄形渦の強さとの関連が示唆される。

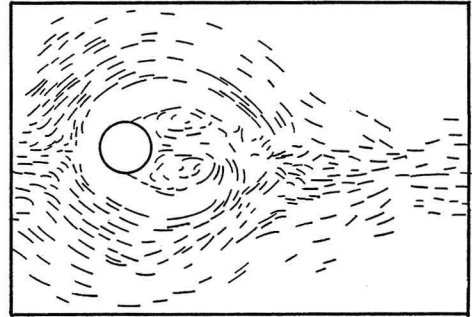


図-2 流跡線 (CASE 3)

(5)カマツ渦の発生周波数

上層流のカマツ渦の発生周波数 St を図-5に示した。図中に示した○印は、VTRより目視によって得られた St 数を示し、●印は流速変動のスペクトルより得られた St 数を示している。図より、本実験での St 数は $0.2 \sim 0.3$ であり、これに対する渦の発生周期は $7 \sim 17 \text{ sec}$ であった。なお、破線は均質流に対する St 数 (≈ 0.21) を示している。

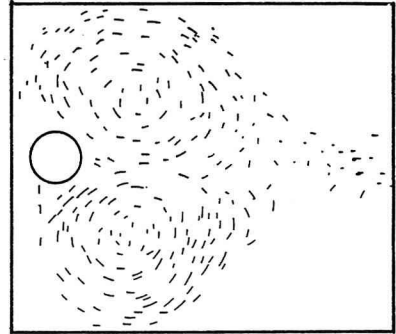


図-3 流跡線 (CASE 1)

4. あとがき

成層密度流中に円柱を設置して密度界面の流況を可視化した。円柱周りの密度界面付近には馬蹄形渦が発生し円柱背後で合併することが確認された。この馬蹄形渦が、円柱周辺の界面を破壊し、内側の双子渦に塩水を取り込み円柱背後の密度混合を促進させることが分かった。また、界面波の発生源は、局所的にむ断流が強まる馬蹄形渦の合併点付近と考

えられる。

参考文献

- 1) 本地:連続成層体中の渦列,九州大学応用力学研究所所報,第60号
- 2) 相原,阿部:成層密度流中の物体背後に生じる乱れ構造に関する実験的研究,第43回年講

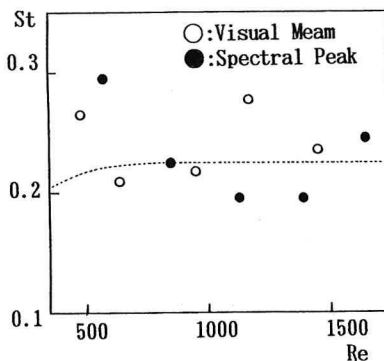


図-5 カマツ渦の発生周波数

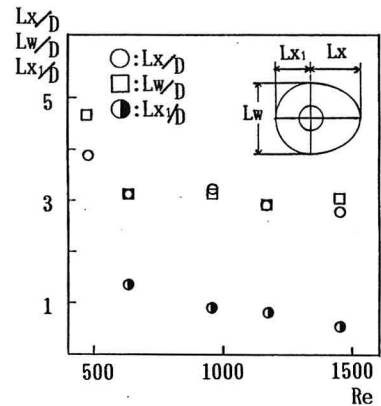


図-4 馬蹄形渦の規模