

II-19 円柱周辺に生ずる密度界面現象の可視化実験

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

成層密度流中に円柱を設置すると、円柱周辺の密度界面上には馬蹄型渦が発生し、それに伴い円柱背後に密度混合層が形成され、さらに、界面波が生じる¹⁾。これらの諸現象は構造物設置によって強制的に誘発され、従来のShear不安定に基づく密度界面現象とは異なる。そこで、円柱周辺の密度界面付近を中心に可視化を行い、密度界面破壊の主因となる馬蹄型渦の渦構造、および、これらの擾乱によって誘発される密度界面の破壊機構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、水路中央部に直径 $D=5.0\text{cm}$ の円柱を設置し、密度差 $\Delta\rho=0.02\text{gr/cm}^3$ 、上層水深10cm、下層水深10.5cmとし、上層流動、下層静止として実験を行った。表-1に実験条件を示した。流れの可視化は、円柱前面よりウレイン水溶液を投入し、水面付近、上層水深の中間、密度界面近傍、密度界面上、密度界面下の横断面、および、円柱中心を通る縦断面について、各々、水路側方および水路上方からスリット光を照射して実施し、それぞれ35ミリカメラ、VTRに収録した。

3. 実験結果とその考察

水面付近の流況には、円柱背後の遷移域から、渦が交互に離脱する通常のカルマン渦列が観察された。これら渦の発生周期は8～17secであり、これに対するSt数は0.2～0.3程度であった。

写真-1はCASE-5に対する密度界面上+2cmの流況である。写真中に示した遷移域および渦列域は上層水面付近のカルマン渦に対しての領域区分である²⁾。写真-1より、馬蹄型渦終端部の脚の部分が浮上している様子が観察され、馬蹄型渦はこの付近まで影響すると思われる。しかし、Re数が小さくなるケースでは、水面付近のカルマン渦列とはほぼ同様の流況が確認された。なお、馬蹄型渦が Ω 型に閉じている部分をもって、馬蹄型渦終端部と定義した。

密度界面に近づく、写真-2の界面上+1cmの流況に見られるように、馬蹄型渦の全容がほぼ完全な形状で現れる。円柱後流では、遷移域から離脱するカルマン渦に、馬蹄型渦の終端部が合流して激しく乱れ、左右に振れながら流下する様子がみられる。この馬蹄型渦終端部は、密度界面上では、写真-3の流況に示す様に上昇流となって現れる。この上昇流はカルマン渦が遷移域に存在する間は、弱い上昇流として現れる。他方、カルマン渦が遷移域より放出されると、馬蹄型渦終端部の脚が、互いに接触する際に生じる流れとカルマン渦自体の移流とによって強い上昇流が発生する事が確認された。この様に、馬蹄型渦終端部では周期的に上昇流の強さが変動する。これらの変動によって圧力変動が生じ界面波が励起されるものと考えられる。なお、Re数が小さなケースでは、馬蹄型渦終端部の乱れは小

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	クーリガン 数 Θ	レイノルズ 数 $\text{Re}=UD/\nu$
1	392	0.069	0.771	456
2	607	0.107	0.500	698
3	824	0.145	0.365	978
4	988	0.174	0.308	1133
5	1170	0.207	0.259	1351



写真-1 密度界面近傍の流況 (CASE-5 +2cm)



写真-2 密度界面近傍の流況 (CASE-5 +1cm)

さく、密度界面の存在によってカマツ渦の運動が抑制されてしまうため渦が筋状となって流下する。

写真-4の密度界面下-1cmでは、馬蹄型渦終端部は閉じた形状になり、この部分より上昇する流れが観察される。この上昇流によって下層の比較的濃度の高い塩水が上層へ輸送される。さらに、馬蹄型渦内には、終端部付近から円柱方向に向かう流れが生じている様子が分かる。

写真-5に、円柱の中心線上に沿って円柱後流の縦断面を可視化して示した。円柱背後の遷移域に相当する領域で、カマツ渦により界面の塩水が巻き上げられ、密度混合が生じている様子が見られる。また、馬蹄型渦の終端部付近では、上昇流による塩水の浮上や界面波の発生が観察される。

界面上に発生する馬蹄型渦やカマツ渦および上昇流は、界面破壊や密度混合等にそれぞれ複雑に関与するが、主に、円柱周辺の界面破壊は馬蹄型渦によってなされる。破壊された塩水は馬蹄型渦内に取り込まれ、その一部は上昇流によって水面付近まで輸送され拡散希釈する。さらに、馬蹄型渦内の密度混合は、カマツ渦によって促進されるものと考えられる。

次に、馬蹄型渦の形状について示したのが図-1である。図より、円柱前面の馬蹄型渦の高さ H 、馬蹄型渦の発生点までの距離 Lx_1 は共に Re 数に無関係で、ほぼ一定の値 $H/D=0.3$ 、 $Lx_1/D=1.1$ である事が分かった。また、 Lx 、 Lw は Re 数が大きくなると増加する傾向を示すが、平均的には、 $Lx/D \approx 3 \sim 4$ 、 $Lw/D \approx 3$ である。これらのことから、流速が大きくなると円柱背後の馬蹄型渦は大きくなるが、円柱前面では馬蹄型渦の発生地点は変化せず、また、馬蹄型渦の高さは界面上+1.5cm程度で、ほぼ一定である事が分かった。

4. あとがき

成層密度場に置かれた円柱周辺の可視化実験を行った。密度界面近傍では、カマツ渦と密度界面上に発生する馬蹄型渦が共存し複雑な流況を呈するが、密度界面の破壊は馬蹄型渦によってなされ、密度混合はカマツ渦により促進される。また、上昇流は界面波の発生に深く関与している事が分かった。最後に、本実験を遂行するにあたり、本学学生、佐藤靖博君、鈴木英伸君、城下 厚君の協力を得た、ここに記し謝意を表します。

- 《参考文献》 1) 相原, 阿部: 成層密度場に置かれた円柱周辺の可視化とその考察, 東北支部, 平成元年度,
2) 流れの可視化学会編: 新版 流れの可視化ハンドブック, 朝倉書店

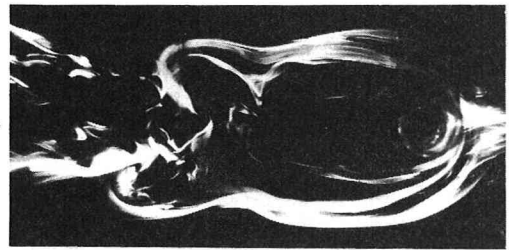


写真-3 密度界面上の流況 (CASE-5 +0cm)

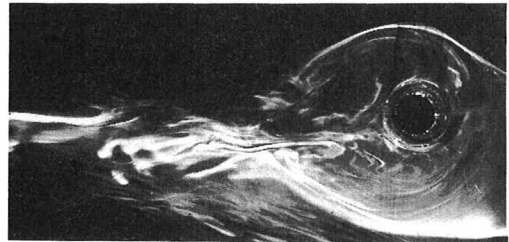


写真-4 密度界面下の流況 (CASE-5 -1cm)

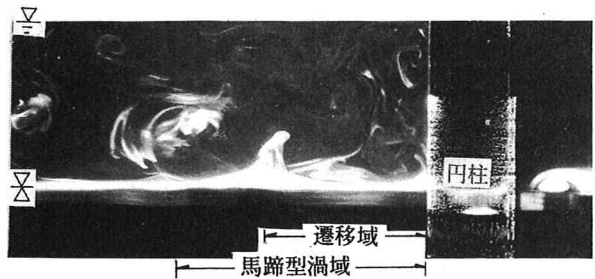


写真-5 円柱背後の流況 (CASE-5)

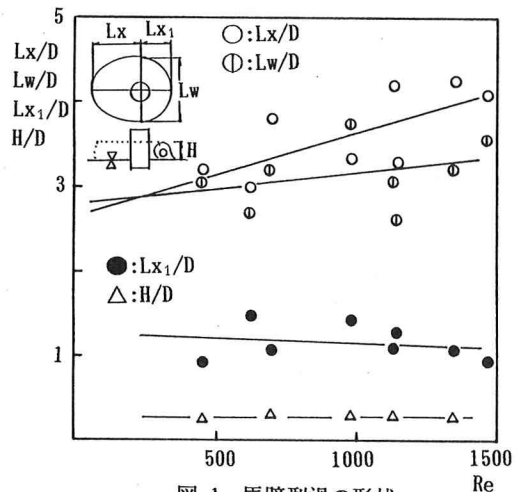


図-1 馬蹄型渦の形状