

II—82

円柱周辺の密度界面の変動に関する考察

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

円柱背後の後流域には周知のようにカルマン渦が生じ、また、円柱周辺の底面には馬蹄型渦が発生する事が知られているが、密度界面が存在する場合には、円柱周辺の密度界面上に馬蹄型渦が生じ、この渦が円柱の後流域を離脱するカルマン渦と互いに作用し合い密度界面を変動させたり、さらに、界面破壊や密度混合を引き起こしている。本研究では、馬蹄型渦に着目した可視化と流速、濃度、界面の点計測を実施し、それらの結果に基づき、主に馬蹄型渦内と馬蹄型渦終端部の界面の変動特性について考察を行った。

2. 実験条件および実験方法

実験には長さ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、下層静止の実験を行った。表-1に実験条件を示した。流れの可視化は、円柱前面よりウレシ水溶液を投入し、密度界面を含む水平面及び、円柱中心を通る縦断面について、各々、水路側方及び水路上方からリット光を照射して実施し、流況を35ミカワ、VTRに収録した。

界面変動は内部波高計で捕捉し、流速の測定にはサマル式微流速計を用い、濃度検出には導電率計を使用した。なお、計測位置を図-1に示した。また、パケル解析には、定常確率過程に対するパケルの推定にはFFT法を用い、これらを定常パケルとした。非定常確率過程に対するパケルは、線型応答系からの出力の振幅包絡線として定義して求めた。

3. 実験結果および考察

写真-1にカルマン渦が馬蹄型渦終端部より放出される時の流況を示した。写真に見られる様にカルマン渦が放出される時に、カルマン渦と馬蹄型渦の相互作用によって馬蹄型渦終端部の脚部がカルマン渦の方へ誘導され半分閉じた状態となる。また、この馬蹄型渦終端部から上昇流が発生している様子が観察される。写真-2に馬蹄型渦脚部の流況を示した。写真によれば、前述の上昇流は、馬蹄型渦終端部から放出されるカルマン渦に馬蹄型渦の脚が巻き込まれる事によって発生するものと思われる。また、この上昇流は、カルマン渦が放出される前は弱く、放出時に強い上昇流となり、馬蹄型渦終端部では、上昇流の強さが周期的に変化するため界面に圧力変動が生じ、その結果、密度界面が変動すると考えられる。

図-2に密度界面上で得られた流速、濃度、界面変動の定常パケルの卓越周期（第1ピーク）を流れ別に示した。図の縦軸は、卓越周期 T_p を上層水深 h_1 と断面平均流速 U で無

表-1 実験条件 (U:上層, 下層の相対速度差)

CASE	流量 cm^3/sec	密度フルード 数 F_d	クーリッソン 数 Θ	レイノルズ 数 $Re=UD/\nu$
1	798	0.143	0.291	997
2	1198	0.214	0.198	1401
3	804	0.144	0.295	940
4	1205	0.215	0.196	1425

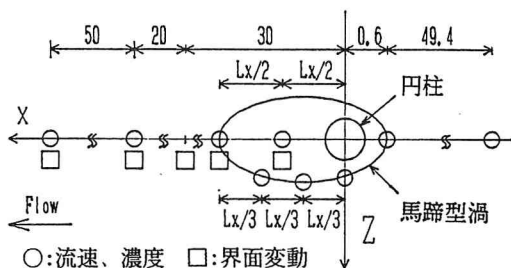


図-1 計測位置



写真-1 馬蹄型渦終端部の流況 (case3)

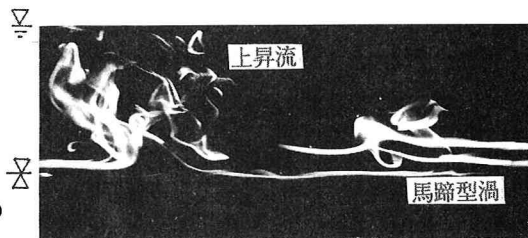


写真-2 馬蹄型渦終端部の流況 (case3)

次元化したものである。流速と濃度変動の T_p はほぼ同じ値を示すことから、界面付近の濃度変動は、流速の変動に依存している事が分かる。流量が大きいcase4では、流程に関係なくほぼ一定の T_p 値を示し円柱後流域の変動スケールが変化する事なく伝播するのに対し、流量の小さいcase3では、馬蹄型渦終端部 ($x/h_1=1.6$) を過ぎると h_1/TPU の値は減少し、変動スケールは長周期側へ移行する。次に界面変動は、case4で h_1/TPU の値は過減傾向を示し $x/h_1=5.0$ で濃度、流速変動と近い値を示す事から乱れとしての性質が示唆され、一方case3では馬蹄型渦終端部を過ぎると一定の値を示し、この界面変動は、波動性を帯びてくるものと思われる。

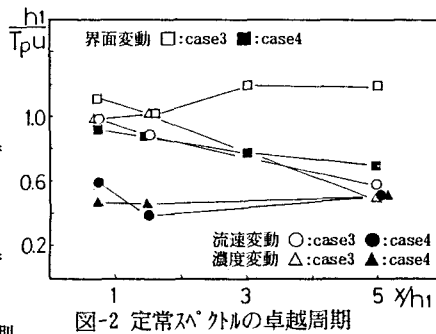


図-2 定常スケールの卓越周期

図-3に界面変動の定常スケールを示した。図より、定常スケールのエネルギーは界面変動の激しい馬蹄型渦終端部で大きく、しかも、ピーク部分はフラットになっており、その卓越周期は4.8secと目視観測で得られた上昇流の発生周期に相当する3.8secの二つが存在する。また、終端部下流では1オーダー程度スケールエネルギーは減衰し、そのピークは4.2secに収束する。

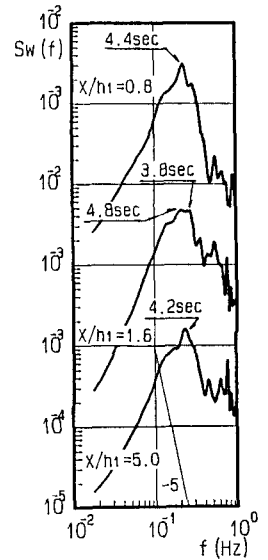


図-3 界面変動の定常スケール(case3)

図-4~5に馬蹄型渦内と馬蹄型渦終端部の界面変動スケールの経時変化を示した。図

中の経時変化は、定常スケールで得られた上層カマツ渦の発生周期 (10.2sec) と上層水深の中間 $Y/h_1=0.4$ の卓越周期 (5.2, 6.4sec) 及び界面変動 (4.4, 4.2sec) と目視で得られた上昇流の発生周期 (3.8sec) に対応する周期で示してある。いずれの場合でも、カマツ渦の発生周期 10.2sec に対するスケールエネルギーは小さいが、短周期になるほどスケールエネルギーは、増減を繰り返す非定常性が強くなる。

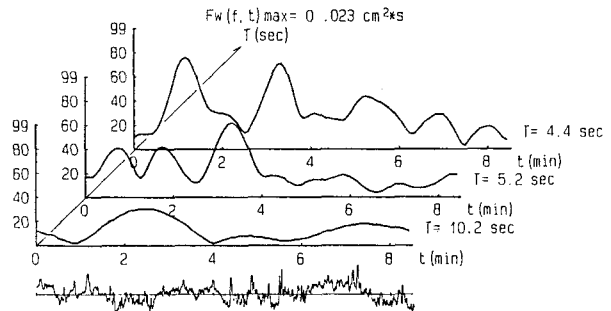


図-4 界面変動スケールの経時変化 ($x/h_1=0.8$ case3)

また、図-4の馬蹄型渦内の経時変化に見られるように周期10.2secのスケールエネルギーは経過時間2min過ぎでピークを示し、それに呼応するように短周期側でもエネルギーが増幅され、カマツ渦に誘起された変動が短周期側へ伝播していく様子がみられ、馬蹄型渦内の界面変動は、カマツ渦の運動によって支配されている事が分かる。

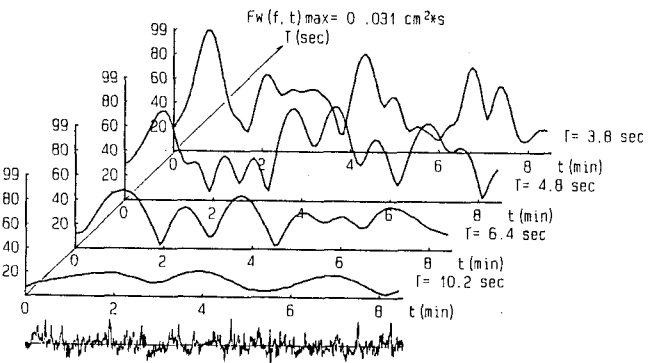


図-5 界面変動スケールの経時変化 ($x/h_1=1.6$ case3)

図-5の馬蹄型渦の終端部では、界面波が発生するため4.8, 3.8secでスケールエネルギーが励起される。さらに、上昇流に関する周期3.8secにスケールの最大値が存在している事から、界面変動は上昇流によって影響を受けているが分かる。

4. あとがき

成層密度流中の円柱周辺に発生する馬蹄型渦に着目した可視化と点計測を実施した。馬蹄型渦内の界面変動は、カマツ渦の運動によって支配される。また、馬蹄型渦終端部の界面変動には、馬蹄型渦とカマツ渦、さらに両者の相互作用で発生する上昇流が関与して非定常性が強くなる。

5. 参考文献 1) 相原、阿部:成層密度流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