

II-185

回転粒子が誘発する境界層乱流に関する実験的研究

北海道大学工学部 学生員 村上 吉剛
 北海道大学工学部 正会員 森 明巨
 北海道大学工学部 フェロー会員 板倉 忠興

1. 目的

剪断流中で回転する粒子による乱流生成を調べる。Kossak らは、一様せん断流では粒子の上下流に図-1に示すような1対の長さ無限大の後流が現れるのを見いだした。森らは、外側円筒が回転する2重円筒の安定な二次元剪断流中の粒子では1対の渦状構造が現れて下流側を bubble-A、上流側を bubble-B と呼んだ。この剪断流中では bubble-B が顕著に発生し、その周辺に間欠的に乱れが生成された。この構造は剪断レイノルズ数 R_Δ に強く依存することが示された。著者らは同様のことを平板境界層について調べることを試みた。しかし、この場合には粒子が壁面から離れてしまった。そこで本研究ではこれを抑制するために水路の弯曲部を利用した。

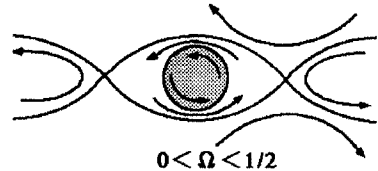


図-1

2. 実験

図-2に実験装置の概略を示した。図の斜線部を上方からビデオカメラで撮影した。水深は7cmとした。二次元粒子には直径1.0cm、1.6cm、1.8cmの3種類を用い、実験は5caseでこれらの R_Δ の値は58、131、163、243、528である。 R_Δ は $R_\Delta = \Delta u d / \nu$, $\Delta u = \partial u / \partial y$ で定義される。流速分布は水面に微粒子を散布、追跡して求めた。図-3に一例を示す。速度勾配は壁から $d/2$ の地点のものをを用いた。

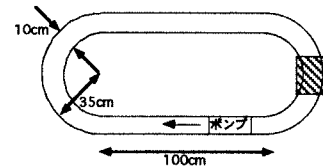


図-2

写真-1は渦構造が典型的に発達したときの ($R_\Delta=131$) 染料による可視化で、0.5s毎の連続写真である。粒子前方の境界層付近の流体が上昇し、bubble-Aを形成しているのがわかる。森らによると回転二次元剪断流では bubble-B が発達するが、bubble-Bの活動は R_Δ に依存している。

写真-2は R_Δ の変化による流況の変化を見たものである。 $R_\Delta=58$ では bubble-A は形成されるが層流のように非常に穏やかであった。これより小さい R_Δ では粒子が回転せずに流下したり、止まってしまう bubble-A は観測されなかったため、bubble-A が発生する限界の $R_\Delta = R_{\Delta c} \approx 50$ であると推測される。これより R_Δ が大きくなると徐々に活発になっていき、 $R_\Delta=131$ (写真-1)、 $R_\Delta=163$ (写真-2) で最も活発になる。さらに R_Δ が大きくなると徐々に不活発になってゆき、 $R_\Delta=528$ (写真-2) では bubble-A は見られず、一様流中の円柱周囲のカルマン渦のような流況であった。表-1は以上をまとめて、回転剪断流と比較したものである。bubble-A、Bの R_Δ 依存性はほぼ同じ傾向で、両者は $100 \sim R_\Delta \sim 300$ の範囲で活発であった。

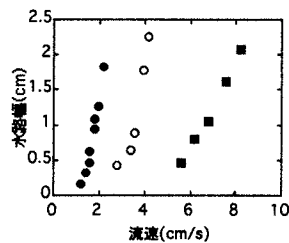
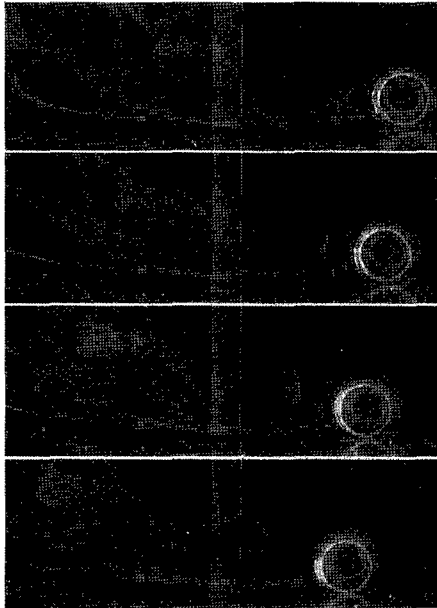


図-3

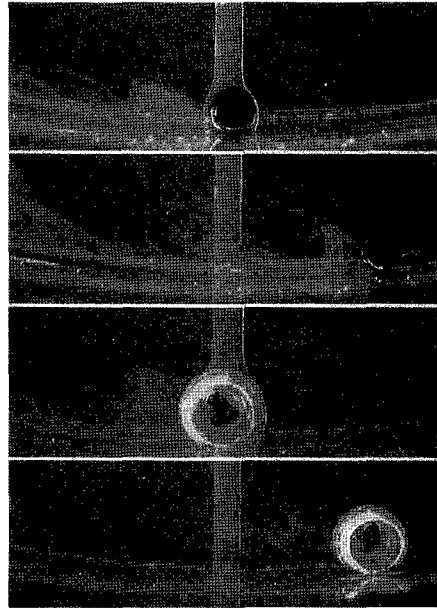
bubble-A の発生は周期的で図-3にストロハルス $S = fd/u$ (f : 周波数 d : 粒径 u : 粒子中心) と R_Δ との関係を示した。一様流の円筒周囲では $S=0.2$ 前後であるが、本実験では $S=0.1$ 前後であった。

キーワード：回転粒子 境界層 剪断流 剪断レイノルズ数

〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科河川水資源分野 Tel 011-706-6190



写真－1 ($R_A=131$, 上から 0.5s 毎)



写真－2 (上から順に $R_A=58, 163, 243, 528$)

表－1

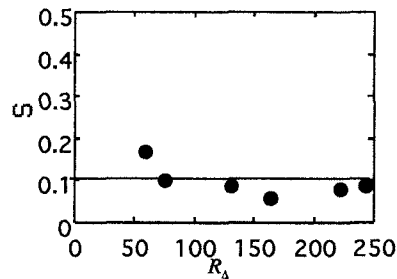
R_A	30	50	150	200	300～
bubble-B	限界	→ 活発	最大	→ 不活発	ほとんど見られない
bubble-A		限界→活発	最大	→ 不活発	

3. 考察

回転剪断流では bubble-B が発達したが、本実験では bubble-A が発達した。これは次のように考えられる。

回転剪断流の流れ自体は安定であるが、粒子により停留点（図－1 の流線の交点）が発生し、これに向かう流れはわずかな流向の違いにより粒子を通過したり、crossflow となって下方に向かう。さらに外側から運動量の補給が続くため、外から内への大きな流れ（crossflow）が発生したと考えられる。このため回転剪断流では bubble-B が発達しやすいと考えられる。

これに対し、平板境界層付近の流れは渦度が大きい。側壁に沿った粒子の回転による上昇流がこの境界層の強い渦度を引き出すために平板境界層では bubble-A が発達しやすいと考えられる。このように回転せん断流では高速流の下降による bubble-B 型、平板境界層では境界層付近の流体の上昇による bubble-A 型となると考えられる。



図－4

参考文献

- 1) CHARLES A KOSSAK and ANDREAS ACRIVOS J.Fluid Mech, vol.66,part 2,377 1974
Steady simple shear flow past a circular cylinder at moderate Reynolds numbers
- 2) MORI A.,SHIMIZU H. and ITAKURA T. Third International Conference Multiphase Flow,ICMF98
Turbulent modulation of shear flow by a particle