

II-26

壁に衝突する粒子による乱流生成に関する研究

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 正会員 板倉 忠興

1. 目的

浮遊砂に関する Coleman¹⁾ の実験から、ある $R_s = ud/\nu$ の範囲では低濃度の粒子投入で対数流速分布の積分常数 Λ が著しく減少することがわかった。同じことが Pan ら²⁾ の数値シミュレーションによって示された。我々は、剪断流中の粒子が乱れを引き起こしてこのような Λ の低下をもたらすと考えた。Acrivos ら³⁾ によると、一様剪断流では粒子の上下流に図-1に示すような1対の渦状構造が現れる。Mori ら⁴⁾ は、外側円筒が回転する2重円筒を使って安定な回転二次元剪断流を作った。この流れに二次元の単一粒子において流れを可視化して同様な構造が現れることを確認し、上下流の渦状構造を bubble A, B と呼んでいる。Mori らの実験によると回転剪断流中では 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る。林ら⁵⁾ は、このような乱流生成機構を平板上の境界層について見るために、実験開水路の側壁に沿って流下する粒子周辺の流れを可視化した。しかし、側壁が滑面であったことから剪断層が十分な厚さとならず、定量的な分析はできなかった。本研究では側壁が粗面の直線水路と滑面の彎曲水路で同様な実験を行い、shear Reynolds number による流れの構造の変化を調べた。

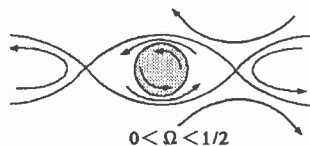


図-1

2. 実験

実験1. 粗面側壁の直線水路

実験装置は、幅28cm、長さ4m、水深18cmの亚克力製水路で、下流端を堰上げして微流速にした。また剪断層の厚さを大きくするために水路側壁に直径1cmの半球を張り付けた。粒子の直径は1.6cmとした。図-2は、このときの横断流速分布である。また、表-1は各caseにおける R_Δ を示したものである。表中の shear Reynolds number R_Δ は次式で定義される。

$$R_\Delta = \frac{\Delta u d}{\nu}, \quad \Delta u = \frac{\partial u}{\partial y} d$$

横断速度勾配 $\partial u / \partial y$ は図-2に示した流速分布の実測値の側壁付近の値を使った。側壁近傍の実測値がないのは流速測定に使った浮子が水路中央に寄ったためである。

写真-1はcase-Bの粒子無しの際の染料による流況を見たものである。流れがわずかに水路中央に寄っているのがわかる。

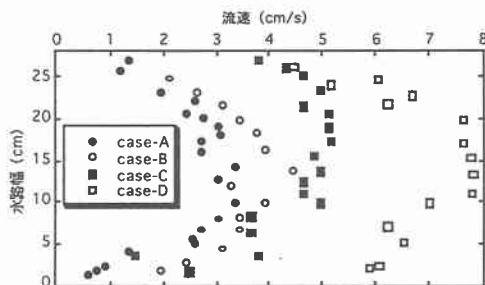


図-2 流速分布

Study on the tubulent modulation by the particle collided with the wall
 by Yoshitake MURAKAMI, akio MORI, tadaoki ITAKURA.

表-1

	case-A	case-B	case-C	case-D
R_x	86	115	236	268

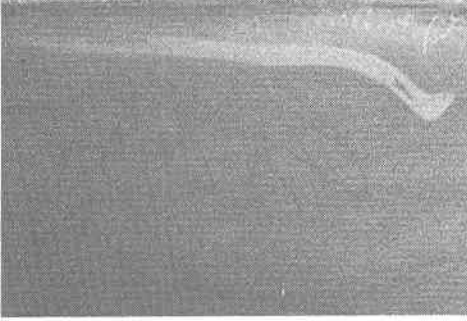


写真-1



写真-2

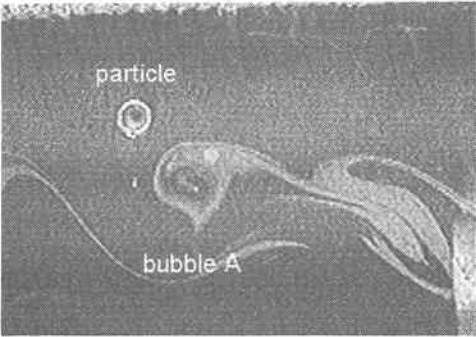


写真-3 case-A

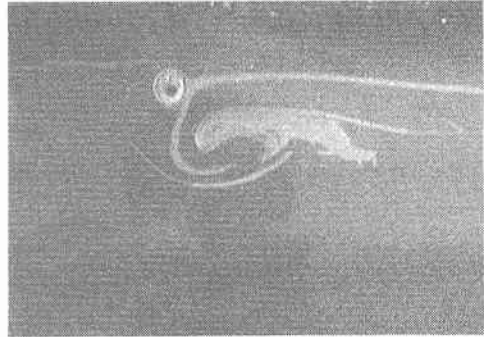


写真-4 case-B



写真-5 case-C



写真-6 case-D

これは側壁の粗度が大きく流れが十分に発達しなかったためと考えられる。乱れは非常に小さく、case-A、Cでも同様であった。写真-2のcase-Dではこれと異なり、流れ自体が乱れていた。

写真-3~6は、粒子を投入したときの各caseの流れの染料による流れの可視化である。図-1からわかるように、粒子の下流に渦状の流れが見える。これは粒子下流に bubble Aが発生し、その後水路中央に寄った

ものである。このように中央向きの流れが生じたために粒子が側壁を短い距離流下しただけで側壁をはなれてしまい、生成される渦構造が十分に観測できなかった。

実験 2. 弯曲水路

実験装置は、幅 10cm、内径 25cm、外径 35cm、直線部の長さ 100cm、水深 18cm の弯曲水路の弯曲部を用いた。粒子は 1.0cm とした。流路弯曲部には特有のラセン流が発達する。これを利用して粒子を外岸に沿って流下させることにした。図-3 は、このときの横断流速分布である。また、表-2 は各 case における R_Δ を示したものである。

表-2

	case-1	case-2	case-3	case-4
R_Δ	46	56	79	106

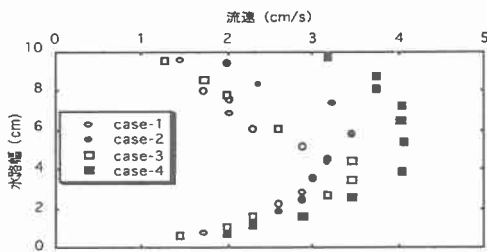


図-3 流速分布

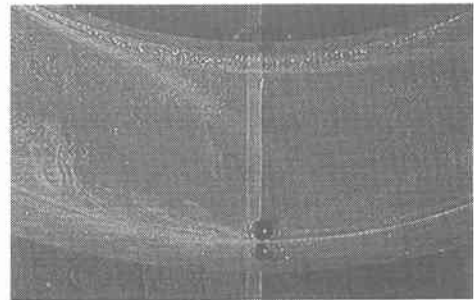


写真-7 case-1

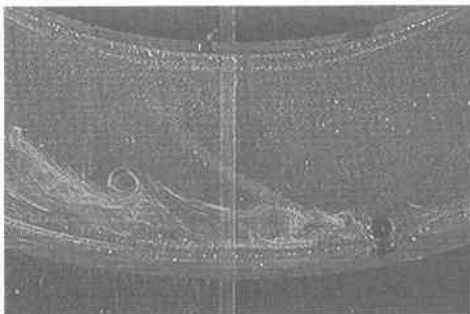


写真-8 case-2

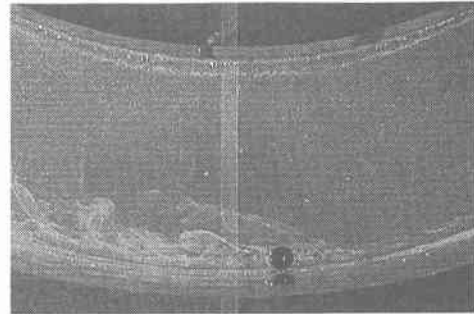


写真-9 case-3

写真-7~10 は、粒子を投入したときの各 case の流れの染料による流れの可視化である。 R_Δ の値により粒子周辺に生じる流れの構造が大きく変わるのわかる。case-4 ($R_\Delta = 106$) では粒子が側壁に接しながらゆっくり流下しつつ、A型の渦を次々に形成して活発に乱れを生成している。これに対し、case-1 ($R_\Delta = 46$) ではA型とは異なり、粒子は側壁から僅かに離れたり、停止したりする。粒子下流には波型のゆっくりゆれる擾乱が流下していく。

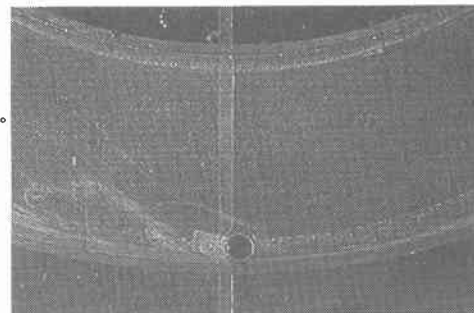


写真-10 case-4

写真-11は case-A のときの粒子無しの可視化であるが、乱れは小さい。他 case でも同様であった。

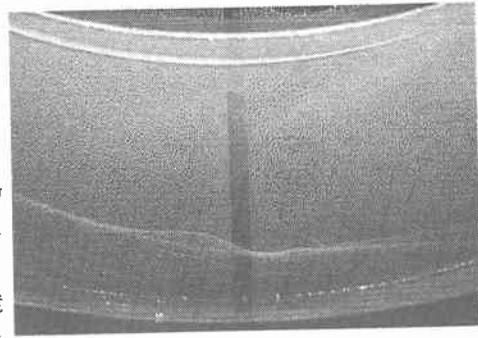


写真-11

3. 考察

清水らの円筒剪断流では bubble B が発達し、直線水路では bubble A が発達することがわかった。これは次のように考えられる。平板の境界層流れは不安定性が強い。このため粒子のわずかな回転によって生じた流れが、境界層に作用して粒子の前方に強い乱れを誘発し、これにより bubble A が発達する。これに対して清水らの円筒剪断流では、流れ自体は安定である。図-1のように、仮に、

同じ強度の bubble B と bubble A が発達したものとしよう。このとき内側の流れは運動量が小さいから bubble A の停留点に向かう流れが発生しづらい。一方、外側の流れは運動量が大きいため bubble B の停留点に向かう流れが発生しやすい。このように平板境界層では低速流の上昇による bubble A 型、円筒剪断流では高速流の下降による bubble B 型となると考えられる。清水らの円筒剪断流では、ある限界の $R_\Delta = R_{\Delta c} \approx 20 - 24$ があり、これより小さい R_Δ では bubble B は発生しない。これより大きくなると bubble B が発生し、 R_Δ とともに bubble B の動きが活発になる。 $R_\Delta \approx 200$ で最も活発になり、更に大きくなると不活発になり、 $R_\Delta \approx 300$ では安定になる。本実験では R_Δ の範囲が狭いが、実験の範囲でほぼ同様の傾向が見られる。しかし、乱流生成は平板境界層の方がはるかに活発である。これは乱流生成源である側壁の剪断流に直接作用することによる。

参考文献

- 1) NEIL L. COLEMAN J.of Hydraulic Research 19, No.3 1995
Velocity profiles with suspended sediment
- 2) PAN Y. and BANERJEE S. Phys. Fluids 9, 1997
Numerical investigation of the effects of large particles on wall-turbulence
- 3) 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
- 4) MORI A., SHIMIZU H. and ITAKURA T. Third International Conference Multiphase Flow, ICMF98
Turbulent modulation of shear flow by a particle
- 5) 林 和美 森 明巨 板倉 忠興 土木学会北海道支部 論文報告集 第54号 (B) 1998
擬似 Poiseuille 流中で見られる2次元自由粒子による大規模渦状構造の発生条件