

II-12

境界層流れにおける回転粒子の効果に関する実験的研究

北海道大学工学部 ○学生員 小林 雄介  
 北海道大学大学院 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

浮遊砂に関する Coleman<sup>(1)</sup>の実験によれば、 $R_s = u_* d / \nu$  が 10 近傍では 1% 程度の濃度でも対数則流速分布の積分常数 A が著しく減少する。我々は、せん断流中を回転する粒子が乱れを引き起こしてこのような A の低下をもたらすと考え、2つのせん断流で実験を行った。第1は、外側円筒が回転する2重円筒内の二次元せん断流である。これを回転せん断流と呼ぶことにする。第2は、境界層せん断流である。

清水ら<sup>(2)</sup>は回転せん断流中に二次元の単一粒子をおいて流れを可視化し、粒子の上下流に1対の渦状構造が現れるのを見だし、粒子下流のものを bubbleA、上流のものを bubbleB と呼んだ。清水らの実験によると回転せん断流中では bubbleB が顕著に発達し、その周辺に間欠的に乱れが生成された。また bubbleB は、せん断レイノルズ数  $R_d$  に依存することが示された。

ここに、せん断レイノルズ数  $R_d = \frac{\Delta u d}{\nu}$ 、 $\Delta u = \frac{\partial u}{\partial y} d$  である。

境界層せん断流については、村上らは単一粒子を実験開水路の側壁に沿って単一粒子を下流させて粒子周辺の流れを可視化し、粒子の下流側に渦状構造が発生することを認めた。この時の流れの挙動にも、回転せん断流と同様の  $R_d$  依存性がみられ、これらの流れの性質は、一様せん断流に対する Acrivos ら<sup>(3)</sup>の一連の研究により説明された。

Acrivos らによると、一様せん断流では粒子の上下流に図-1に示すような1対の渦状構造が現れる。しかし、境界層せん断流では、以下の2点が Acrivos 型では説明できない。第一は bubbleB が観察されないこと、第二は  $R_d$  が小さくても実験の範囲では bubbleA が発生したことである。

本研究では、新たに実験装置を作成し、また、解析手法として PIV を加えて、回転粒子が乱流生成に関わる効果を実験的に調べた。

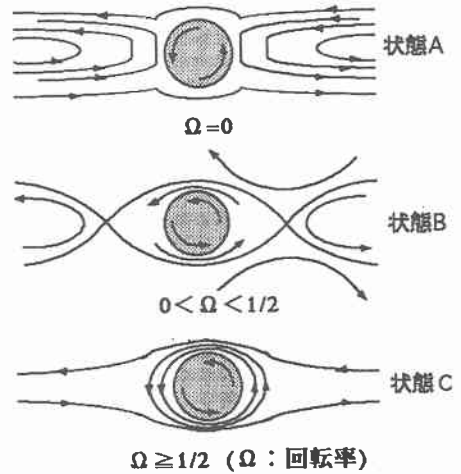


図-1

Study on the effect of a rotating particle in the boundary layer flow  
 by Yusuke Kobayashi, Yoshitake Murakami, Akio Mori, Tadaoki Itakura

## 2. 実験概要

実験には、図-2に示した、幅9.3cm、内径30.1cm、水深7.5cmの円形開水路を用いた。水路の彎曲部には特有の螺旋流が発達する。これを利用して粒子を側壁に沿って流下させた。粒子には、直径1.5cmの円柱を用い、二次元粒子とみなした。図の斜線部を上方からビデオカメラで撮影し、染料により可視化し、また、微粒子(0.5mm程度)を投入しPIVにより解析した。図-3は、この実験における流速分布を示したもので、側壁から幅0~3.5cmについてのものである。せん断レイノルズ数は、ほぼ直線分布する0~2.5cmのものを用いて評価した。

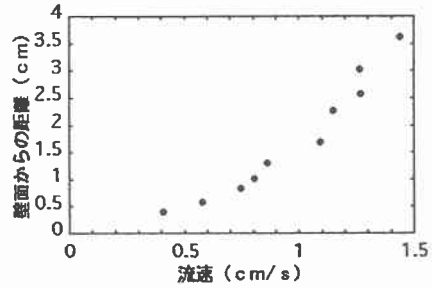
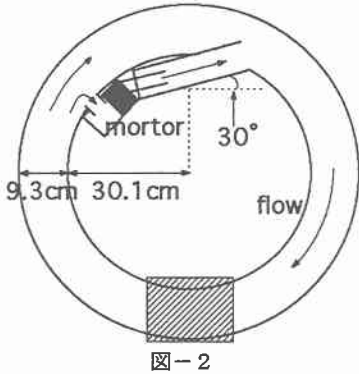


図-3

## 3. 粒子の回転による効果

これまで、せん断流中を自由に回転流下する粒子による乱流生成はほとんど注目されなかった。本研究では、まず、粒子を壁に固定した時と自由に回転流下させた時の流況を比較する。 $R_\Delta=100$ である。

写真-1~4は粒子を側壁に固定させた場合の染料による流れの可視化である。撮影の間隔は2.0秒である。



写真-1 (t=0)



写真-3 (t=4.0)

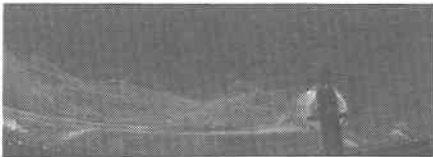


写真-2 (t=2.0)



写真-4 (t=6.0)

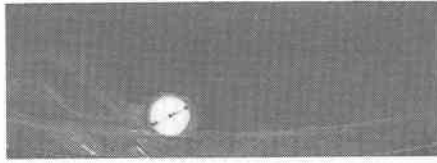


写真-5 (t=2.0)



写真-8 (t=3.2)

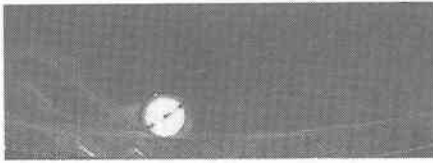


写真-6 (t=2.4)

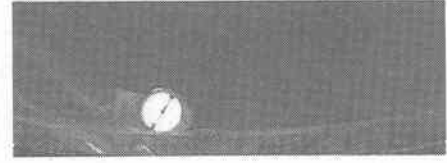


写真-9 (t=3.6)

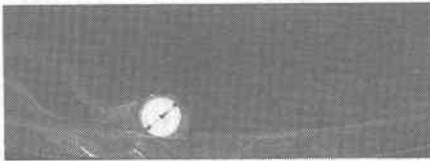


写真-7 (t=2.8)

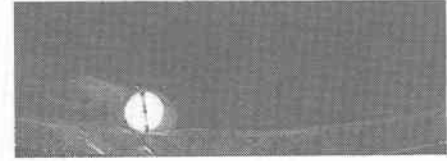


写真-10 (t=4.8) 渦の放出

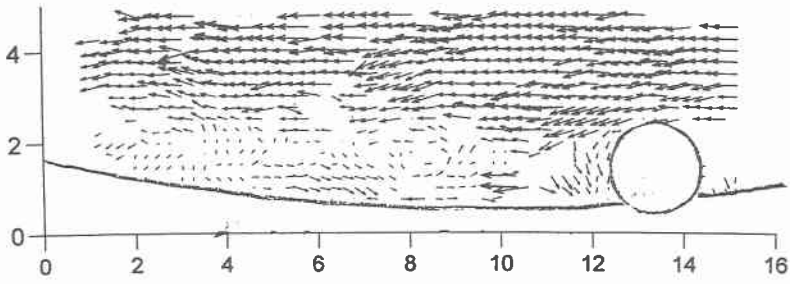


図-4

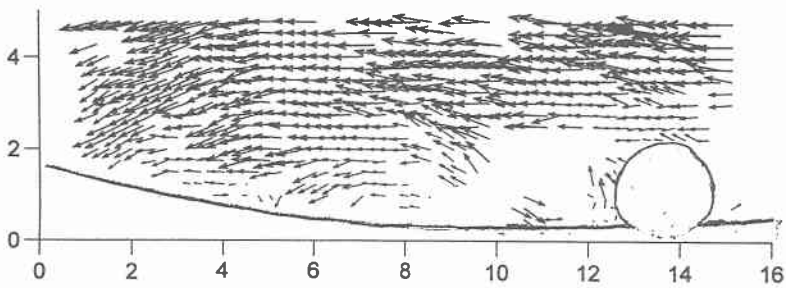


図-5

粒子上部付近の乱れは、レイノルズ数が 60 程度の一様流中に円柱を固定した時に下流側に見られるカルマン渦の構造に類似していた。また、粒子下流側は粒子頂部より上方と下方の流速差によって生じるせん断による乱れも見られた。これらの渦の発生位置は一箇所に定まっておらず、複数同時に起こることもある。また、その大きさの範囲も様々である。境界層付近の流体の上昇は認められなかった。図-4はPIVによる瞬間流速のベクトル図である。粒子前方の流速は周りよりも小さく、所々が渦状になっている。また、境界層付近の流体の上昇はこの図においても認められなかった。

写真-5～9は粒子を側壁に沿って回転させながら流下させた場合の染料による流れの可視化である。撮影の間隔は乱れが強いため0.4秒であり、粒子固定の場合の1/5である。

粒子を固定させた場合とは異なり、粒子と壁面の接点付近から上昇流が発生し、粒子の下流側で上昇し、粒子頂部を超えると渦状に巻き込む。その渦の発生は周期的で、大きさは粒子直径程度である。図-5はこの場合のベクトル図である。この図では染料によって観察された流れと同様に境界層付近の流体の上流へ向かうベクトルと渦の回転を表すベクトルが認められる。また、ビデオの撮影と合わせると粒子の下流側のすぐ近傍において一つの渦が、さらに下流側には一周期前に形成された渦が認められ、渦自体は下流に流れるにつれて流下方向に伸びていく。

#### 4. 考察

まず、bubbleAについてみてみる。図-6は粒子の回転速度 $v$ と時間経過である。

粒子が回転しているとき、流体はAcrivos型の状態Cにある。粒子と壁面の接点付近に集まった流体は行き場を失い上昇流となる。このような上昇流は粒子の回転を抑制する。このときの流速は図の1秒から3秒程度にあたる。この上昇流は底面付近の高渦度の流体をひき出し、それが一体となって渦として放出される(写真-10)。上昇流が無くなると、粒子は再び回転を始めると考えられる。このときの流速は図の3秒以降にあたる。次に、粒子が通過した後の粒子上流側の流体は流れが一様化されており、Acrivos型の流れはできず、bubbleBは観察されないと考えられる。

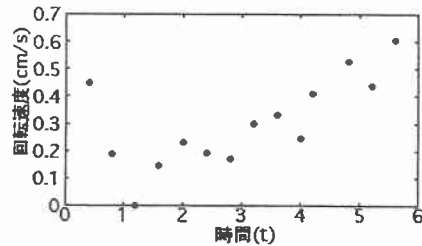


図-6

#### 5. 参考文献

(1)NEILL,COLEMAN J.of Hydraulic Research 19,No.3 1995  
Velocity profiles with suspended sediment

(2)CHARLES A KOSSAK and ANDREAS ACRIVOS J.Fluid Mech, vol.66,part 2,377 1974  
Stesdy simple shear flow past a circuler cylinder at moderate Reynolds numbers

(3)清水 啓之 森 明巨 板倉 忠興 土木学会北海道支部 論文報告集 第55号(B) 1999  
せん断流中の自由粒子まわりの不安定性について