

II-259 粗面上の球体に働く流体力

早稲田大学大学院 学生員 城 衛  
 新日本製鐵(株) 正員 大貫 博史  
 早稲田大学理工学部 正員 吉川 秀夫

(1)はじめに

掃流砂の解析において、砂粒が受ける流体力を正しく算定することは重要である。しかし河床近傍では速度勾配が大きいので、流体力算定のための代表流速の取り方が問題となる。また、粗面近傍において河床粒子によって生ずる乱れが存在するため、実際に粒子が受ける流速が流速分布則の延長と考えることにも問題が残る。特に移動限界付近では、時間的な乱れの影響を無視することはできない。本研究の目的は、粗面水路床上の流れにおける転動粒子の運動機構を解明することである。筆者らは前報<sup>1,2)</sup>において、滑面水路床上の転動粒子について代表流速を求めた。今回は次の段階として、粗面上に固定された球体に働く流体力を実験によって求め、さらに静水中において傾斜した粗面上の転動粒子に働く流体力・摩擦力・衝突・回転の効果を推定した。また、粗面上の流れにおける粗面近傍の乱れの特性を調べるために、流れの可視化を行った。

(2)実験方法

〈実験1〉流体力測定

実験装置は、高さ40cm、幅38cm、長さ800cmの風胴を用いた。3種類の球径( $d_b=3.76, 2.9, 1.6\text{cm}$ )の球を密に敷きつめた底面上に、3種類の球径( $d=3.76, 2.9, 2.0\text{cm}$ )の測定球を粗度頂上部と谷部に固定した。測定球にあけた小穴から球体表面の各点における圧力を測ることによって、抗力Dと揚力Lを求めた。

〈実験2〉傾斜粗面上の転動粒子の平衡速度測定

実験装置は、3種類の球( $d_b=0.23, 0.55, 1.6\text{cm}$ )を密に敷きつめた勾配を変化できる粗面を、十分に大きな水槽の中に入れたものを用いた。この粗面上を5種類の径( $d=0.23, 0.55, 1.27, 1.6, 2.9\text{cm}$ )の球を転がす。十分に定常状態になった後、転動球の運動をビデオ撮影し、異なる勾配における平衡速度を求めた。

〈実験3〉流れの可視化

実験装置は、高さ10cm、幅20cm、長さ40cmの矩形管路の底面に、球径1.6cmの球を密に敷きつめたものを用

いた。粗面の底にあけた小穴から乱さないように白インクを注入し、粗度球の半径の高さまでインクで満たした状態を保つようにした。幅0.2cmのスリット光を上面から当て、粗度球背後の乱れの様子をビデオ撮影することによって調べた。

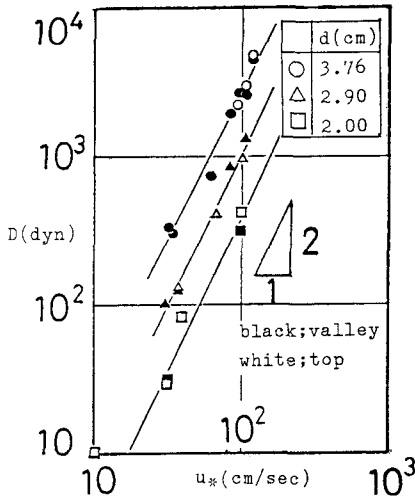


図1.抗力と摩擦速度の関係

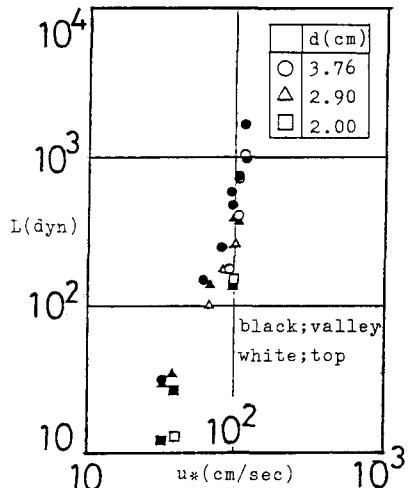


図2.揚力と摩擦速度の関係

### (3) 実験結果

実験1から抗力と $U_*$ の関係、揚力と $U_*$ の関係を図1,2に示す。ただし $U_*$ は流速分布が対数則に従うことより求めた。実験2から転動球に働く抗力・摩擦・衝突抵抗モーメントの影響の総和を抗力係数 $C_D$ として図3に示した。図3中の曲線Aは一様流中に固定された球の抗力係数、Bは静水中で滑面上を非回転移動する球の抗力係数<sup>2)</sup>、Cは静水中で滑面上を完全回転移動する球の抗力係数<sup>2)</sup>と Reynolds 数の関係を示す。実験3から粗度球の背後から出る剥離渦の様子を0.1(sec)毎に図4に示す。ここで平均流速は15(cm/sec)である。

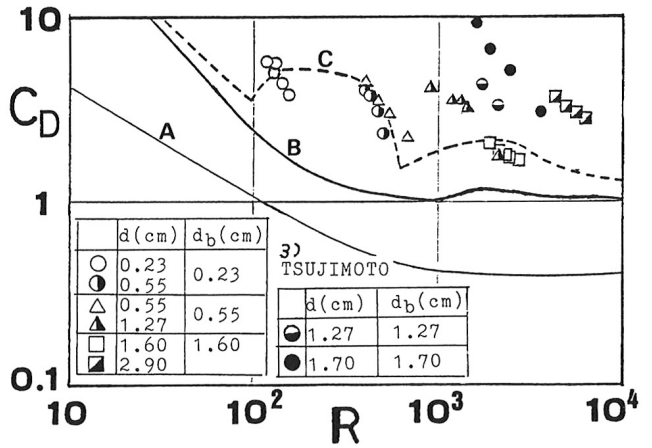


図3. 抗力係数と Reynolds 数の関係

### (4) 考察

図1より抗力は各球径によって $U_*$ の2乗に比例することがわかり、これより代表流速は $U_*$ と線形な関係であることがわかる。また粗度球と測定球の径の比が1に近い場合、測定球が粗度球の頂上・谷部のどちらにあるかは抗力の値にはあまり影響しないことがわかる。一方図2から揚力は、 $U_*$ の2乗とは比例せず、従って代表流速は $U_*$ と線形な関係にないことがわかる。また揚力は、測定球が粗度球の谷部にある場合の方が頂上にある場合より大きくなる。しかし球径に対する揚力の変化はわからない。図3より静水中における粗面上を転動移動する球に働く力の総和は、次のように考えることができる。各プロットと曲線Aとの差は、壁面の影響・回転の影響・摩擦と衝突の影響を表わし、Bとの差は回転の影響・摩擦と衝突の影響を、Cとの差は摩擦と衝突の影響を表わしている。曲線Cより下にプロットがある場合は、転動球が衝突によって壁面から離れるために壁面の影響が減少した結果であると思われる。しかし、各ケースで関連性が見られないのは、粗度球と転動球の比や速度など数多くのパラメータが存在するためであり、今後の課題となる。図4より粗度球背後の剥離渦は、周期が約0.3(sec)で発生することがわかる。粗度近傍の乱れの周期性がこの周期から予想されると共に、流体力の周期性も考えられる。一方、流速に平均流速 $V=15$ (cm/sec)を用いると、 $R=2400$ 、Strouhal 数 $S$ は0.36となるが、同じ $R$ の一様流中の球の $S$ <sup>4)</sup>は1.0である。しかし、流速の取り方に問題があり、また Strouhal 数の減少が流体力に及ぼす影響も今後の課題である。本論文をまとめるにあたり、松井真治君(岐建木村(株))の協力を得たことに感謝いたします。

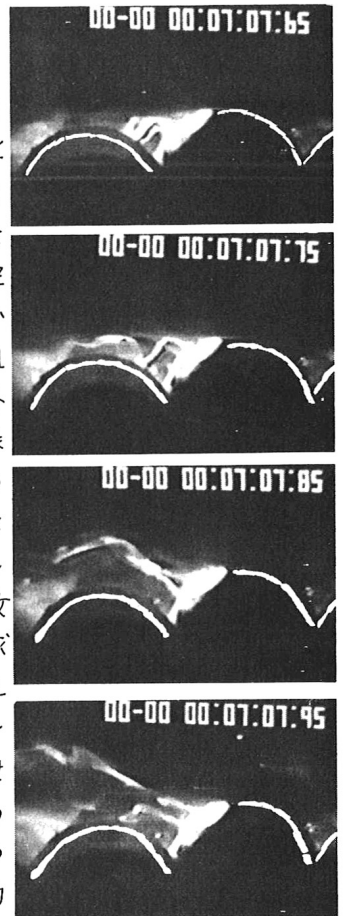


図4. 流れの可視化

### (5) 参考文献

- 1) 城衛藤堂憲幸, 吉川秀夫; 滑面上に固定された球体表面に働く流体圧力(第40回年次講演会概要集第2部 P.395)
- 2) 大貫博史, 城衛, 吉川秀夫; 滑面水路床上の粒子に働く流体力(土木学会論文集第365号/II-4(1-1)) 1985年11月)
- 3) 中川博次, 辻本哲郎, 細川泰廣; 床面に沿って転動する粒子の運動と流体力について(第23回水理講演会論文集 P.323)
- 4) ELMAR ACHENBACH; Vortex Shedding from Spheres, J.Fluid Mech.(1974.vol.162 part 2)