

開水路流れにおける微細粒子の浮遊限界に関する実験的検討

九州工業大学大学院 学生員○松本耕治  
九州工業大学 正会員 藤崎一裕  
九州工業大学 非会員 山崎勉

1. はじめに

現在の河川環境整備において、流出土砂の沈積がしばしば問題となっている。これまでに、この種の現象は主として粒径が比較的大きい礫や砂に関する研究は多くなされてきたが、近年、ウォッシュロードのような微細粒子を含んだ流れを解明する必要性が主張されてきた。ウォッシュロードは、一般には河床材料中に有意に存在しないため河床変動や河道計画の問題ではそれほど重要ではないが、貯水池や河口部などでの河床変動や水質に対しては重要な影響を及ぼす。そこで、本研究では矩形断面開水路を用いて微細粒子の沈積・浮遊状況の変化を調べた。そして種々の条件下での浮遊・沈積砂粒子径と摩擦速度の関係を実験的に求め浮遊限界粒子径と限界掃流力の関係を考察した。

2. 実験方法

実験は図1の幅40cm、長さ8mの可変勾配矩形断面水路を用いて行った。水中に投入された懸濁粒子は、下流端部に設置された2基の水中ポンプにより直径8cmのパイプを通して上流端の受水槽に運ばれ水路内を流下する。流量はポンプにより量を調整した。

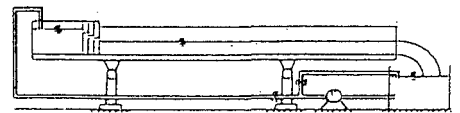


図1 実験装置図

流速の測定には、プローブの直径が4mmの電磁流速計を用い、水路中央のみを測定した。浮遊砂はサイフォンを用い水底から1cmの位置の懸濁水から採取し、沈積砂は直接水底からスポイトを用いて採取した。粒度測定には採取した砂を光透過式粒度測定装置を用いた。実験に用いた粒子は、市販の珪砂粉(比重2.65)で、粒度測定の結果、平均径は52 $\mu$ m (Run1~11)、28 $\mu$ m (RunA~D)であった。摩擦速度は水路床近傍の流速分布に対数則を当てはめて求めた。実験条件は表1に示す。

3. 実験結果及び考察

RunA~Dの採取試料の粒径加積曲線を図2~5に示す。図2~5より摩擦速度 $u_*$ によって浮遊砂と沈積砂の粒径加積曲線に大きな変化があることがわかる。摩擦速度が増加すると粒径加積曲線は右に移動し、粒径が大きくなることを示している。図6に、それぞれの粒径加積曲線より求めた浮遊砂と沈積砂のそれぞれの50%粒径 $d_{50}$ と摩擦速度の関係を示す。図より浮遊砂・沈積砂ともにばらつきはあるが、おおまかに $u_* \propto d^{0.5}$ の関係を境に浮遊と沈積の粒径が区分できると推測できる。図中の点線は $u_* \propto d^{0.5}$ の関係を示す直線である。さらに図6の浮遊砂のデータを、限界掃流力の無次元表示 $u_{*c}^2 / \{(\sigma/\rho - 1)gd\}$ を縦軸に、粒子レイノルズ数 $u_* d / \nu$ を横軸に用いて表したものを図7に示す。

表1 実験条件

実験番号 Run	水深 H(cm)	水路床勾配 I	摩擦速度 $u_*(\text{cm/s})$
A	10.0	1/300	0.43
B	9.7	1/300	0.12
C	10.0	1/300	0.86
D	7.5	1/300	2.08

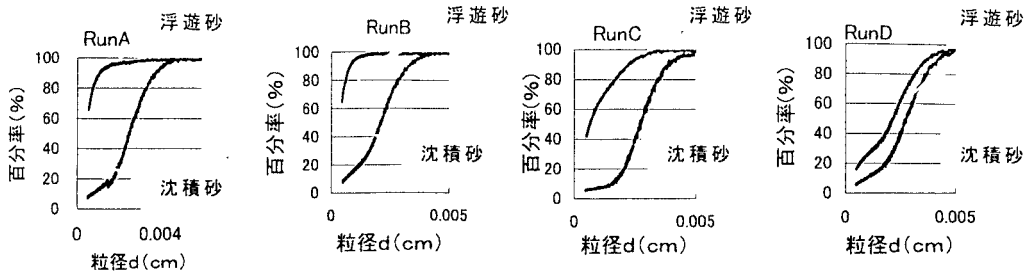


図 2

図 3

図 4

図 5

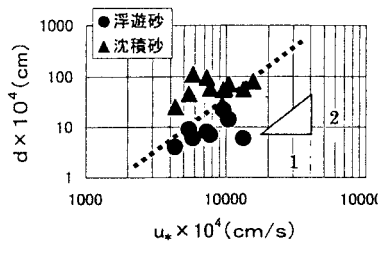


図 6 摩擦速度と粒径の関係

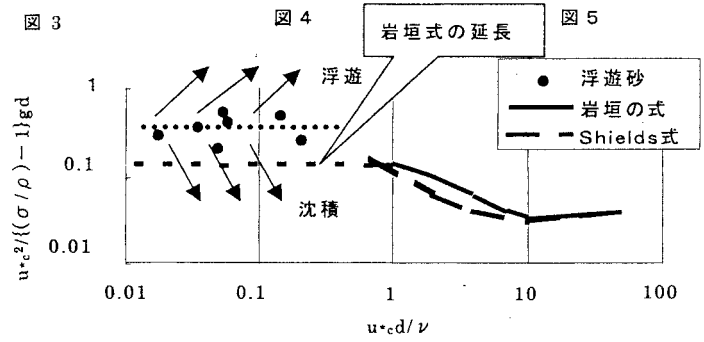


図 7 限界掃流力と粒子レイノルズ数関係

図 7 の曲線のうち、実線は岩垣の限界掃流力に関する式 ((1)式) でその細粒砂側への延長線を破線で示し、また曲線の破線は Shields の限界掃流力に関する式を表したものである。点線 (直線) は図 6 の点線と対応する。この点線の近傍に浮遊限界が存在すると推測できる。図 7 より浮遊砂の実験データは、Shields 曲線や岩垣の式の延長よりも高い位置に存在している。したがって、掃流砂よりも掃流力が大きい場合に浮遊すると考えられる。また岩垣の式と同様に粒子レイノズ数が 0.2~0.3 以下の範囲では浮遊粒子に働く掃流力の場合と同様に浮遊限界力も粒子レイノズ数に依存しないという結果を得た。図 6 からわかるように浮遊砂と沈積砂の平均粒径は近接しており、また、図 6 の点線は図 7 より岩垣の式に近い関係を示していることから、掃流と浮流とは異なった現象ではあるが、両者は相互に関連していると思われる。

$$\text{岩垣の式} \quad u_{*c}^2 = \tau_c / \rho = 226d \quad d \leq 0.0065\text{cm} \quad \dots \dots (1)$$

ここで  $\rho$  : 水の密度,  $d$  : 粒径,  $u_{*c}$  : 限界摩擦速度,  $\tau_c$  : 限界掃流力

4. おわりに

本研究では矩形断面形開水路を用いて微細粒子の浮遊限界粒径と摩擦速度の関係を考察しようと試みた。その結果、沈積砂と浮遊砂の 50% 粒径  $d_{50}$  は  $u_* \propto d^2$  の関数でおおまかに区分でき、その関係は極微細粒子の限界掃流力に関する岩垣の式と近い相関を示す結果が得られた。

<参考文献> 1) 吉川秀夫 : 水理学 (p253~257) 技報堂  
 2) 吉川秀夫 : 流砂の水理学 (p 86~144) 丸善株式会社  
 3) 岩垣雄一 : 土木学会論文集第 41 号「限界掃流力に関する基礎的検討」