

早稲田大学 大学院 学生員 廣末 真宏
 早稲田大学 大学院 学生員 関根 正人
 栗田王肇 (株) 菊池 節夫
 早稲田大学 理工学部 正 員 吉川 秀夫

1. はじめに

浮流粒子の運動には主として主流方向の流速の他、鉛直方向の速度変動分が関係していると考えられるが、その他多くの要因が複雑にからみ合っており、一般の流れの場において浮流砂の機構を解明することは難しい。筆者らは、既に静水中で格子を振動させ人工的に制御可能な乱れの場を作り、その場での粒子の浮流運動についての研究¹⁾を行った。その結果から水の鉛直方向の速度変動と粒子の運動とに關係する諸特性を明らかにすることができた。本研究では上記の乱れの場に鉛直方向にほぼ一様でかつ格子がない時に層流状態である流れを加えた場合について実験を行い、粒子の運動に主流方向の流速及び鉛直方向の速度変動分がどう關係しているかを検討した。

2. 実験概要

実験で用いた水路は前報¹⁾に用いたものと同じである。これに流れを加えられるよう改造した。粒子の運動をロータリービデオカメラで録画し、水の流速 U 及び鉛直方向の速度変動 $V_f (= \sqrt{v_z^2})$ はレーザー Doppler 流速計で測定した。この実験水路では、水路床付近をのぞいて流速分布はほぼ一様で、水の鉛直方向の速度変動分 V_f もほぼ一様であることが確認された。又、格子の振動のみの場合と、これに流れを加えた場合について格子を同じ振動数 f で振動すると、流れを加えた方が速度の鉛直方向の変動分 V_f が幾分増加する。これは格子の水に対する相対速度が変わるからである。

3. 浮流砂の運動特性

3.1 拡散係数 E について

層流程度の流れに人工的な乱れを加えた場合、流れにより拡散係数 E がどう変わるかを検討した。水の鉛直方向の流速の変動分 V_f の断面平均を $\bar{V}_f$ とし、水路床近傍の速度の鉛直方向の変動分を V_{fb} とする。格子の振動のみの場合とこれに流れを加えた場合について $\bar{V}_f$ と E の關係を図1に示した。これより同じ $\bar{V}_f$ に対しては、 E は流速 U にほとんど關係しないことが知られた。すなわちこの実験の範囲では、主流の流速は金鋼の乱れを増加させるだけで、 E は主流速 U 及び主流方向の変動速度 U' に關せず、 $\bar{V}_f$ のみに依存する。

3.2 浮流粒子の滞留時間

浮流粒子の濃度分布が定常状態の時、水路床から離脱する粒子の個数と水路床へもどる個数は一致する。そこで粒子の滞留時間 t_x は、浮流粒子の濃度重心 $\bar{z}$ の位置から沈降速度 W_0 で落下する時間 t に比例すると考えられるので、式が成立する。

$$t_x = K t = K \cdot E / W_0^2 \quad (K: \text{比例定数}) \quad (1)$$

格子のみの振動の場合と、これに流れを加えた場合について V_{fb} と E/W_0^2 の關係は、 W_0^2 が一定であるので図1からわかるように V_{fb} の増加とともに E/W_0^2 も増加することがわかる。また格子の振動のみにより水路床から離脱した粒子が再び水路床へもどるまでの時間を Lagrange 的に追ってもとめた粒子の実測の滞留時間 t_x より、この比例定数 K を決めるとほぼ4~5程度であった。格子の振動に流れを加えた場合についてもこの K が同じと

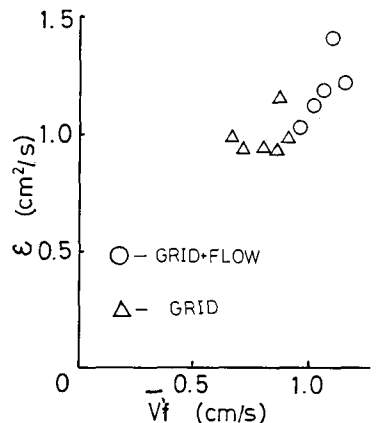


図1: $\bar{V}_f$ と E の關係

するならば、粒子の滞留時間は流れを加えたほうが大きくなるが、今後さらに比例定数 K について検討したい。

3.3 平均離脱率について

平均離脱率 $\bar{P}_{sv}$ とは、水路床粒子が単位時間当り、単位面積当り運動状態となる粒子の個数と、水路床の単位面積当りに存在する粒子の個数との比である。この $\bar{P}_{sv}$ には V_{fb} が関係すると考えられるので、実験値について調べてみると図2に示すように $\bar{P}_{sv} \propto V_{fb}$ となることが判った。

前報で示したように格子の振動のみの場合、鉛直方向の速度変動分 V_{fb} の分布は正規分布しているが、これに流れを加えた場合も同様に V_{fb} は正規分布していることが実験より確かめられた。格子の振動のみにより粒子が水路床から離脱するには、 V_{fb} が沈降速度 W_0 以上必要であることが判っている。 W_0 を越える V_{fb} の出現確率 P_0 は

$$P_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{W_0}^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (2)$$

($t = W_0/V_{fb}$)

この P_0 と $\bar{P}_{sv}$ の関係を図4に示した。これより格子の振動のみの場合、 P_0 と $\bar{P}_{sv}$ の間には次の関係がある。

$$\bar{P}_{sv} \propto P_0^{1/2} \quad (3)$$

なおシミュレーションの結果も同図に示してあるが、同様

の関係があることが知られる。以上より流れのない水路床から、格子の振動のみにより離脱する粒子の $\bar{P}_{sv}$ は、 V_{fb} と W_0 によって決定されることがわかる。次に格子の振動に流れを加えた場合についても同様の整理をし、図2, 4に示した。これより実験例が一つしかないが $\bar{P}_{sv}$ には V_{fb} が関係していることが判る。又流れを加えた方が、 $\bar{P}_{sv}$ が若干大きいことがわかる。これは、 $\bar{P}_{sv}$ には、 V_{fb} の他に主流方向の流速及び流速の主流方向の変動分 U' の効果があるからだと考えられる。今後は(3)式も含めこれらについて検討する予定である。

3.4 浮流エネルギーについて

粒子の運動が定常状態の時、単位面積当り、各高さの浮流粒子の量の総和を粒子の浮流エネルギー $\bar{N}$ とする。 $\bar{N}$ と V_{fb} の関係について図3に示す。これより $\bar{N} \propto V_{fb}$ であることがわかった。格子の振動のみの時に比べて、これに流れを加えた時のほうが $\bar{N}$ が増えている。これは、格子の振動に流れを加えた時の、離脱率 $\bar{P}_{sv}$ 、滞留時間 $\bar{t}$ が、ともし格子の振動のみの時より大きくなっていることから確かめられる。

おすび

本研究では前報の続編として、流れを加えた場合についての浮流砂の運動特性について検討を加えた。

参考文献

- 1) 関根・吉川：浮流砂の運動機構に関する研究，第29回水理講演会論文集，1985

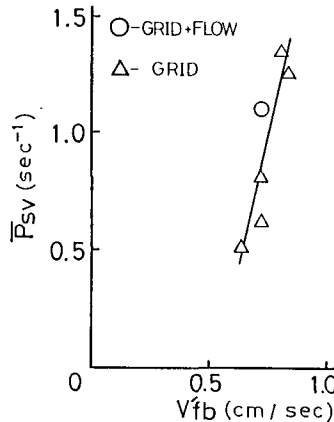


図2: V_{fb} と $\bar{P}_{sv}$ の関係

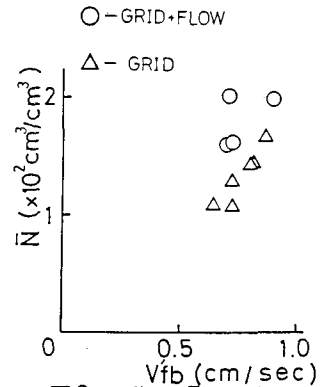


図3: V_{fb} と $\bar{N}$ の関係

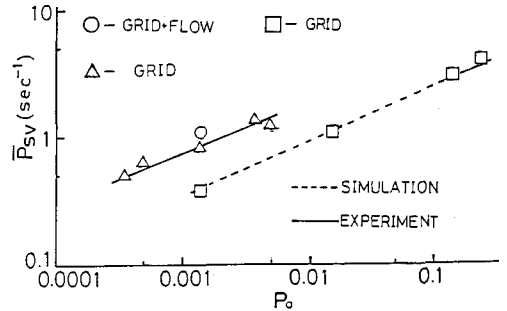


図4: P_0 と $\bar{P}_{sv}$ の関係