

立命館大学大学院
立命館大学理工学部
立命館大学大学院

学生員 ○ 平山清志
正会員 江頭進治
学生員 伊藤隆郭

1. はじめに 流砂量式に関する研究は、Du Boys の研究を端緒として、実験的および理論的に活発に行われ、数多くの成果が得られている^{1)~3)}。しかし、従来の研究では、無次元流砂量は無次元掃流力の $3/2$ 乗に比例するような形式で表現されており、掃流力の大きい領域において、流砂量は粒子径の影響を受けない。そこで、著者らによって得られた実験データや数多くの水路実験データに基づいて流砂量に及ぼす砂粒子径の影響を検討するとともに、江頭らにより提案された流砂量式^{4), 5)}を用いて、実験データと比較検討する。

2. 既往の流砂量式 従来の研究による流砂量式は、 $\Phi \sim \tau_*^{3/2}$ 型の方程式で表される。ここに、 $\Phi = q_b / \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}$ 、 $\tau_* = u_* / \{(\sigma/\rho - 1)gd\}$ 、 $u_* = \sqrt{gh_s \sin \theta}$ 、 q_b は単位幅流砂量、 g は重力加速度、 h_s は水深、 θ は河床勾配である。図-1 を参考にすれば、流砂量 q_b は次式で定義される。

$$q_b = \int_0^{h_s} cu dz = \int_0^{h_s} cu dz \quad (1)$$

ここに、 u 、 c は砂粒子の流速および体積濃度、 h_s は砂礫移動層厚である。 u 、 c に代表値 u_s 、 c_s を用いると、式(1)は次式で近似できる。

$$q_b \approx u_s c_s h_s \quad (2)$$

ここに、 $c_s h_s$ は単位面積当たりの砂の移動体積を表す。

従来の研究はたいいていの場合、 $c_s h_s \sim \tau_*$ ($\sim$ は比例の意味)、 $u_s \sim u_* \sim \tau_*^{1/2}$ として求められている。このような関係を用いて導出された流砂量式は、結局、流砂量が外力のなす仕事に比例するものとして求められたものと同じである。

3. 流砂量に対する粒子径の影響 図-2 は流砂量と摩擦速度の関係を示している。図には、本研究によって得られた実験データと過去に行われた数多くの実験データ^{1), 6)~9)}を示している。これを見ると、粒子径が小さくなると、流砂量が多く、粒子径が大きくなると流砂量が少なくなる現象が見られる。また、摩擦速度が大きい領域においても同様の傾向がみられる。これは、従来の研究では指摘されていない。そこで、この原因を考察する。

流砂量は、式(2)を参照すれば、粒子の平均移動速度、平均濃度及び粒子移動層厚の積で表される。移動床上の流れにおいて、平均濃度は河床勾配に対して一意的に定まり、粒子径の影響を受けない。したがって、粒子の移動速度および砂礫移動層厚に着目する。

図-3 は粒径が異なる砂粒子と水との混合物の流速分布である。プロットしている点が実験値であり、実線は水面、点線は粒子移動層の高さを示している。なお、両者のデータにおいて、勾配および流量はほぼ等しい。粒子径が小さい混合物の流れの速度勾配は、粒子径が大きいものよりも大きく、水深が若干小さい。つまり、粒子径が小さくなると流速の絶対値が小さくなることを示唆するものである。図-4 は、勾配がほぼ 10° の時の砂粒子径と土石流の平均流速の関係である。図中のデータは、図 3 のデータおよびそれとほぼ流量が等しいもの^{4)~6)}を用いている。図より、明らかに粒子径が小さい程、平均流速が大きくなっている。図-3 及び図

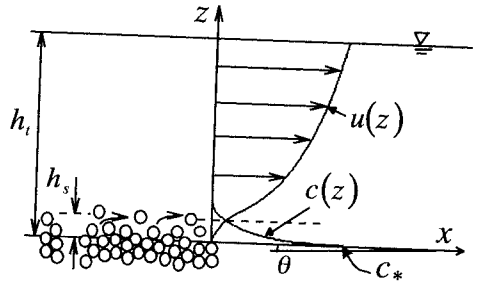


図-1 流れのモデル

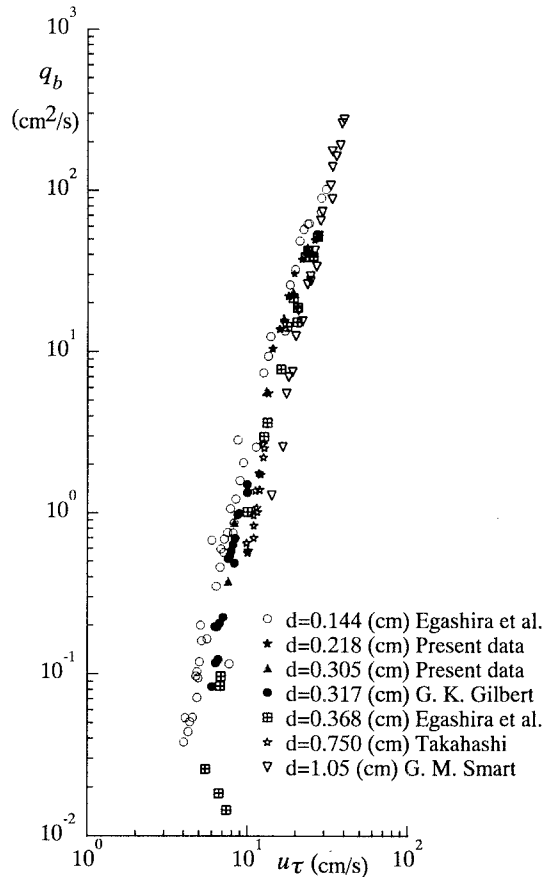


図-2 流砂量(実験データ)

—4 から、粒子移動層内の平均流速は、粒子径が小さい程、小さくなっているのが分かる。

図-5 は無次元掃流力と砂礫移動層厚比 h_s/d の関係を示したものである。図には、本実験で得られたデータ及び江頭らによって得られたデータ^{4), 6)}が示されている。図より h_s/d は無次元掃流力の1乗に比例している。これは、従来の研究より指摘されていることと同じである。

以上の考察をまとめると、粒子径の大きさが変化することによって流砂量に違いが現れるのは、粒子径の大小により粒子移動層の流速が変化することが原因である。この結果は、流砂量式を導出する際には、砂粒子の移動速度が砂粒子径の影響をうけるように、合理的に評価しなければならないということを示唆している。

図-6 は、図-2 の実験データに江頭らの流砂量式を重ね合わせたものである。江頭らの流砂量式においては、先に述べたように、粒子移動層内における粒子の運動を記述することにより導かれたものであり、流砂量に粒子径の影響が現れる。同図において、摩擦速度が小さい領域から大きい領域まで、実験値と計算値はよく一致している。

4. おわりに 流砂量に関する実験データによれば、掃流力が大きい領域において

も、粒子径の影響が現れ、粒径が大きくなると流砂量は減少する傾向が見られる。これは、粒子移動層内の移動速度が粒子径の影響を受けるためである。これを説明する有力な方法として、例えば、 $\Phi \sim \tau_*^{5/2}$ 型の流砂量式が考えられ、江頭らによる流砂量式は、掃流力の大きい領域でかなり適切に流砂量に対する粒径効果を評価できるようなのである。

本研究は、文部省科研費基盤研究B(代表 江頭進治)および文部省科研費特別研究員奨励費(伊藤隆郭)の補助を受けている。ここに記して感謝します。

参考文献 1)Bagnold, R.A.: Philosophical Trans., Roy. Soc. of London, 249, 235-297, 1957, 2)芦田・道上:論文報告集, 206, 59-69, 1972, 3)例えば, 河村三郎:土砂水理学 1, 第5章, 森北出版, 1982, 4)江頭・芦田・高濱・田野中:京大防災研年報, 33B-2, 293-306, 1990, 5)江頭・宮本・伊藤:水工学論文集, 41 巻, 789-794, 1997, 6)江頭・芦田・田野中・高橋:京大防災研年報, 34B-2, 261-274, 1991, 7)Graeme, M. S.: Jour. of Hydr. Eng., ASCE, Vol. 110, No.3, 267-276, 1984, 8)Gilbert, G.K.: USGS, Prof. Paper 86, 1914, 9)高橋:新砂防, 60, 5-14, 1966,

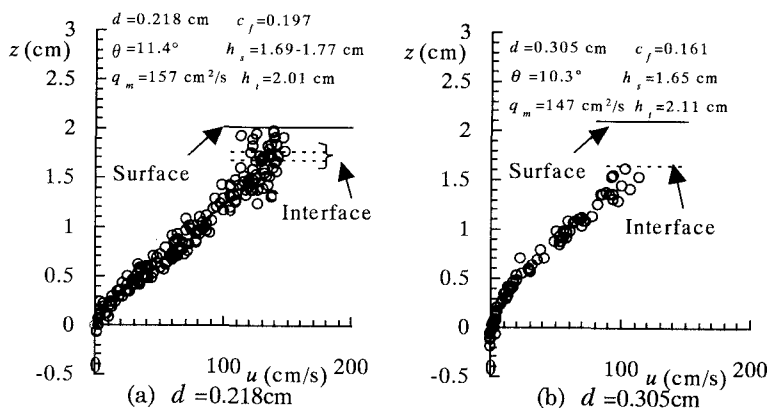


図-3 流速分布の比較

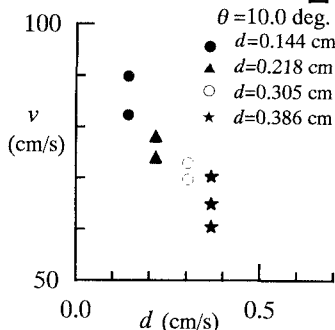


図-4 粒子径と平均流速の関係

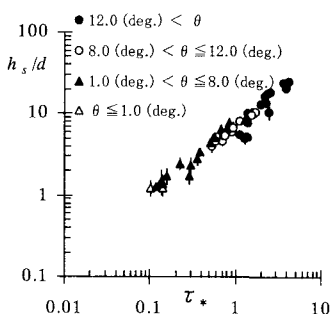


図-5 無次元掃流力と砂礫移動層厚比の関係

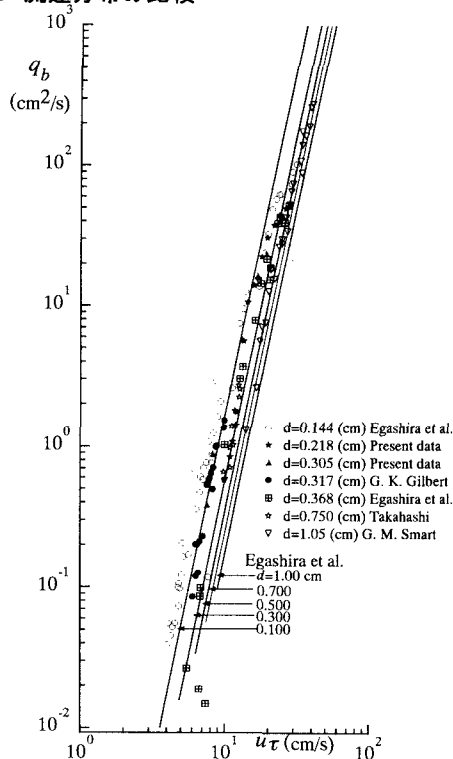


図-6 江頭らの流砂量式と実験値との比較