

II-152 滑面固定床水路の掃流砂量式

日立造船(株)

九州地建竜門ダム工事事務所

建設省土木研究所

正員 川口和也

正員 柏井条介

外崎 悟

1. はじめに 滑面固定床水路における掃流砂を対象とした流砂量式は、移動床の式から発展したものも含めていくつか示されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。しかし、それらは堆砂限界の最大流砂量を示すにとどまっているのが現状である。そこで、本研究では流砂量が少ない場合でも適用できる流砂量式を求めることを目的として流砂実験を行い、掃流砂が存在する場合の流速分布、流水断面形状と流砂量の関係等について検討を加えた。

2. 滑面固定床水路における流砂量式 滑面固定床水路に掃流砂が存在する場合の全抵抗は、水路床に存在する砂粒子による抵抗と水路壁面による抵抗の2成分に分離して取り扱うことができると仮定すれば、

$$\tau = \tau_e + \tau_0 \quad (1)$$

の関係が成立する。ここに、 τ :全せん断応力、 τ_e :砂粒子の存在により生じるせん断応力、 τ_0 :水路壁面により生じるせん断応力である。(1)式のうち τ_e は砂粒子と水路床との摩擦力と釣り合うので

$$\tau_e = 1/6 n d^3 n (\sigma - \rho) g \cos \theta \mu \quad (2)$$

と表すことができる。ここに d :砂粒子平均径、 n :水路床単位面積あたりに存在する砂粒子の数、 σ :砂粒子の密度、 ρ :水の密度、 g :重力加速度、 θ :水路勾配、 μ :動摩擦係数である。水路単位幅当たりの流砂量 q_b は、砂粒子の平均移動速度を v_s とすると次式で示される。

$$q_b = 1/6 n d^3 n \cdot v_s \quad (3)$$

ここで、 $v_s = \alpha \cdot u_b$ 、 $u_b = \beta U_*$ とし(1)式、(2)式を(3)式に代入し無次元量で表示すれば、無次元流砂量 ϕ は、

$$\phi = (k/\mu) \cdot \tau_e \cdot \tau_0^{-1/2} \quad (4)$$

と表すことができる。ここに $\phi = U_*^2 / \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}$ 、 τ_e :掃流砂に作用する無次元掃流力 $= (U_*^2 - U_{*o}^2) / (\sigma/\rho - 1)gd$ 、 τ_0 :無次元掃流力 $= U_{*o}^2 / (\sigma/\rho - 1)gd$ 、 U_* :摩擦速度、 U_{*o} :水の場合の摩擦速度、 $k = v_s / U_*$ である。

3. 流砂実験装置および実験方法 実験装置の概要を図1に示す。実験水路は、勾配1/200、長さ20m、幅50cmおよび25cmの長方形断面で、2面がベニヤ板、1面がアクリル板製である。実験に用いた粒子は表1に示す3種類の比較的均一粒径の砂礫およびガラス球である。実験は、 $Fr = 1.15 \sim 1.34$ 、アスペクト比(水路幅 B /水深 h) $= 3 \sim 16$ の範囲で行い、流砂量、水深および流速分布を測定した。

4. 流砂時の流速分布 流砂量と水路中央の鉛直方向流速分布との関係を図2に示す。流速分布は流砂量の増加に伴い滑面对数則から粗面对数則へ移るが、各粒径とも粗面对数則に至る前に堆砂する。そこで、最大流砂量(水路に堆積が生じ始める限界)時の流速分布を滑面对数則と比較したものが図3である。実験範囲内では、粒径にかかわらず流速分布は1本の折線で近似できる。この流速の低下量は流砂量に比例すると考え図3の折線と滑面对数則の間を流砂量に応じ線形補間した結果の一例を図4に示すが、実験値は良く一致していると考えられる。

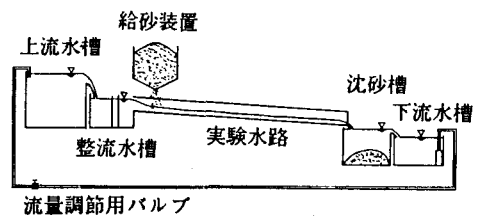


図1 実験装置の概要

表1 粒子の諸元

材質	平均径(mm)	静止摩擦係数
砂礫	1.2	0.73
	2.2	0.67
	3.6	0.46
ガラス球	2.1	0.19

5. 流砂量 (4)式の関係を図5に示す。ここでは動摩擦係数は静止摩擦係数の1/2とした。図5では流水断面のアスペクト比 B/h が小さいほど流砂量が多く、同じアスペクト比でも、ガラスのようにほぼ球形に近い粒子は流砂量が少ないことがわかる。

この原因についての詳細な調査は行っていないが、アスペクト比が小さくなると二次流等の乱れ成分の影響で粒子の移動位置が高くなり、作用流速が速くなるためと考えられる。また、ガラス球については、Rollingによる移動が主なため、乱れの影響を受けにくく砂粒子に比べると移動速度が小さいためと考えられる。50cm幅の水路につき水路中央部と側壁近傍との流砂量と掃流力の関係を調査した結果を図6に示す。側壁近傍の方が同じ掃流力に対する流砂量は若干多い傾向にあるが、これは前述の理由で説明できると考える。このようにアスペクト比により k の値が変化する問題を理論的に扱うことは現在のところ困難であるので、両者の関係を実験的に求めた。結果を図7に示すが、砂礫に関しては k と h/B の間にはほぼ線形関係になり立つことがわかる。そこで図5の横軸にアスペクト比の影響を加味したものを図8に示すが無次元流砂量 ϕ は、

$$\log \phi = \log(\tau_{*e} \cdot \tau_{*c}^{1/2} / \mu) + (\log h/B + 2.2)$$

で表されることが明らかとなった。

6. あとがき 掃流砂に作用するせん断力に着目し、流砂量が少ない場合でも適用できる流砂量式を導き実験により確認した。流砂量は流水断面のアスペクト比により変化し、アスペクト比が小さいほど多くなる傾向にある。流砂時の流速分布は流砂量の増加に伴い滑面对数則から粗面对数則へ移行していくが、粗面对数則に至る前に堆砂が始まる。この時の流速分布は実験範囲内では粒径にかかわらずほぼ一定であった。今後は水路勾配、粒径等実験条件の拡張、二次流等の乱れ成分と粒子運動の関係および τ_{*e} の最大値の評価を行う必要があると考える。

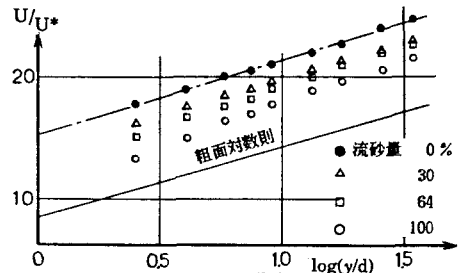


図2 流砂量別の流速分布

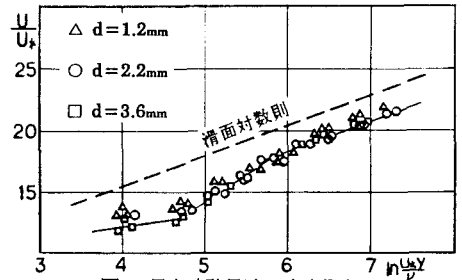


図3 最大流砂量時の流速分布

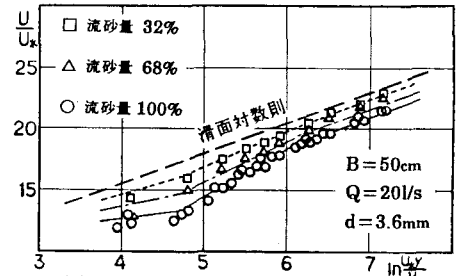


図4 流砂量と流速低下量との関係

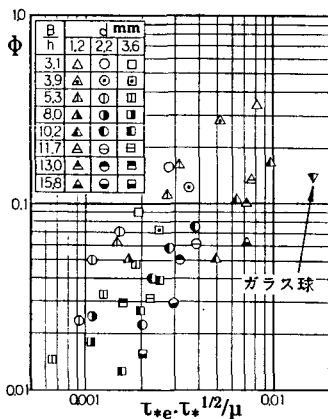


図5 流砂量と掃流力の関係

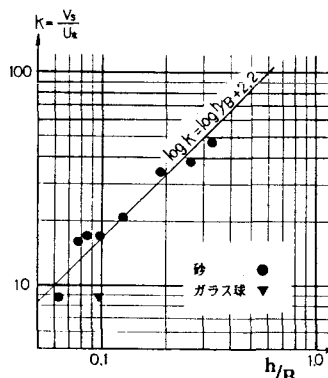


図6 kとアスペクト比の関係

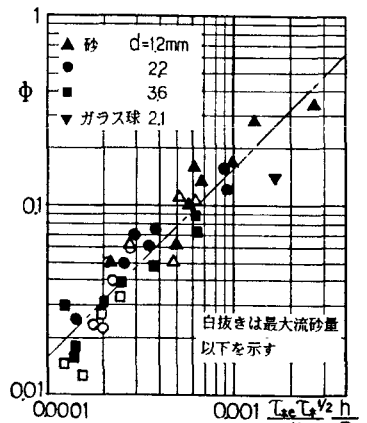


図7 水路幅を考慮した流砂量

[参考文献]1) 棒;滑面水路における掃流機構について、九大工学集報、vol.42, No.3 2) 嶋;掃流砂の運動機構と流砂量、第10回水理講演概要集 3) 芦田;移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究、土木学会論文報告集No.206 4) 水山;急勾配固定床水路における掃流砂量の算定方法、土木技術資料25-8