

流砂量式についての二、三の考察

九州大学工学部 正員 橋 東一郎

〃 〃 〇平野 帛夫

在来多くの研究者によって流砂量を算定する公式が作られ、實際河川へ応用する努力がはらわれてきたが、その信頼性については多くの不安を残している。このことは、(1)流砂の物理的機構がきわめて複雑で、最も基本的な河床に働く流体力や砂粒の運動状態なども実験的に把握し難いこと、(2)河床に発達した sand wave が流水をかく之流砂量に影響を及ぼすこと、および、(3)輸送型式が掃流、浮流という異なった力学的機構に基づくものであり、異なった取扱いを必要とするにわかれず、実験的に両者を分離することがきわめて困難なことなどによると思われる。このうち、掃流と浮流の境界は河床隆進における鉛直方向の乱水の強度 $\sqrt{u_*'} \approx 0.93 u_{*c}$ が沈降速度 w に一致する場合が一つの基準となる。また、 $w/u_* \geq 1.5$ に於ては浮流砂は河床附近に集中して $A = \alpha_k / k$ (α_k : 浮流限界係) にほぼ無関係になることから、この範囲では掃流の取り扱いが出来る。

これらの基準を掃流強度 $\psi = \tau_b / \rho g d$ と粒径 d との関係として表わしたものが図-1 である。さ2、掃流砂量の公式としては、物理的の考察と次元解析による方法と併用した Einstein の掃流砂関数や、揚圧力が粒子群に及ぼす力槽と saltation layer 中の粒子群が重力により下方に及ぼす力槽に等しいという考え方のもとに導かれた佐藤・吉川・芦田の式を初め、多くの実験公式が提案されていが、これらの式の精度については、右記の実験資料から充分検討されたとは言い難い段階にあるように思われる。

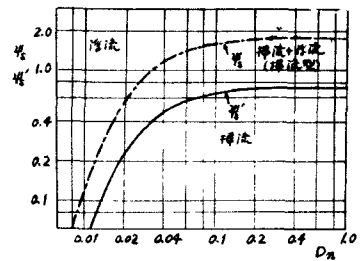


図-1 掃流と浮流の境界

ように思われる。最近、とくに米国において、多くの実験が行われ流砂量実験の資料もかなり豊富になりつつある。従って、この機会に図-1 の掃流型流砂量 $\psi_s \geq \psi$ の資料をできるだけ集め、著者らの実験結果とともに検討してみたい。

掃流砂の強度 $\tau_b = \rho_0 / \sqrt{g d^3}$ (ρ_0 : 掃流砂量の実質容積, s : 水中比重, d : 粒径) と掃流力 $\psi = \tau_b / \rho g d = R I / s d$ ($u_* = \sqrt{g R I}$) との関係 ψ をプロットしたものは図-2 に示すようにはばたいて示される。これは ripple, dune における河床砂の移動はその背面、行方から、掃流力的な面からみれば、砂移動に寄与する応力は全領域では無く、背面に於て形成される境界応力に支配されるからである。また、energy 消費の面からと、Einstein の指摘しているように、河床面において消費される energy のみ砂移動に有効で、dune の砂に与る消費は河床から排水に起こる砂移動に寄与しないと考えてもよい。後者の考え方に従い、dune に至り発達した流れと砂粒抵抗との interference を無視し、水深 h 、流速 U の流れの砂粒粗度 k_0 による energy 分配とそれを用いると

$$\tau_b / \tau_0 = (\psi / \psi_0)^2 \quad \psi_0 = 5.95 \log_{10} \left(\frac{U h}{k_0} \right) \quad (1)$$

とすると、Einstein の energy 分配は一定、得られるとして、水深 h と分割し、 τ_b は次々

$$q_1 = P q R_1 I \quad U/\sqrt{P R_1 I} = 5.75 \log_{10} (12.27 R_1 / k_s) \quad (2)$$

から算定されるものとしている。同一河床上の合成粗度の各々に対応させて水深を分割するモデルは水理学的には不明瞭であるが、上式を書きなおすと

$$q_1/q_0 = \left\{ q / (q_0 + 5.75 \log_{10} \frac{R_1}{k_s}) \right\}^2 \quad (3)$$

となり、(1)式より若干小さな q_1/q_0 を与える。図-2 に示された資料を用い、重と $q_0 = R_1 I / s d_k$ との関係プロットすると図-3 のようになる。なお、図中の実線は Einstein の掃流砂関数

$$1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-B \frac{1}{q_0} - \frac{1}{q_0}}^{-\frac{1}{q_0}} e^{-t^2} dt = \frac{A \frac{1}{q_0}}{1 + A \frac{1}{q_0}} \quad (4)$$

$$B = 0.143 \quad \frac{1}{q_0} = 2.0 \quad A = 4.35$$

である。明らかに重と q_0 との関係は図-2 にくらべて著しく改善されるが、測定値は概して(4)式を示す曲線の上に散らばり量的な一致はみられない。また、資料の中には *dune*, *flat bed*, *Anti-dune* の regime において *smooth* に属するものが含まれている(これは $u_{*1} \neq u_{*c}$) が、これらの資料はほぼ(4)式の曲線に適合している。従って、(3)式は *dune* の影響を過大に評価し、Einstein 式による計算値は一般に過小な値を与える傾向がある。

図-4 は藤原¹⁾による表示、すなわち重と $q_0 = u_{*c}^2 s d_k \cdot q_0$ との関係を *plot* したものである。この表示は(1)式の関係が乱れと境界層との相互干渉の存在を含むものと考え、実用的な便法として *dune* および *transition* の領域における流砂量を *flat bed* のものに一致させるような重と砂粒運動に寄与する掃流力 q_1 とみれば、 q_1/q_0 と q/q_0 の関数として逆算した結果、簡単に

$$q_1/q_0 = q/q_0 \quad (5)$$

としたものである。理論的な裏づけを認めているが、新しい資料を含めて両者の相関は図-3 よりもかなりよいようである。

おわりに、佐藤らの掃流砂量の式は理論的に最も明快である。その式形はよく知られているように次式

$$\bar{q} = \frac{\gamma (C_L A^2)}{2\sqrt{2}\pi} F(0) \beta^{1/5} f(\tau/q_0) \quad (6)$$

で $\chi = \gamma (C_L A^2) F(0) \beta / 2\sqrt{2}\pi$ 中の A , β はそれぞれ砂粒に作用する代表流速、砂り平均移動速度と u_{*c} との比が粗度係数 ϵ の関数と考えられ、 χ と ϵ との関係は図-5 の実線のように与えられる。この関係は無次元化されているが若干の不明瞭さが残され、図-5 に示されているように ϵ の大きい場合における散らばりけがかなり著しい。

$$\psi = \frac{u_*^2}{s \beta^4}$$

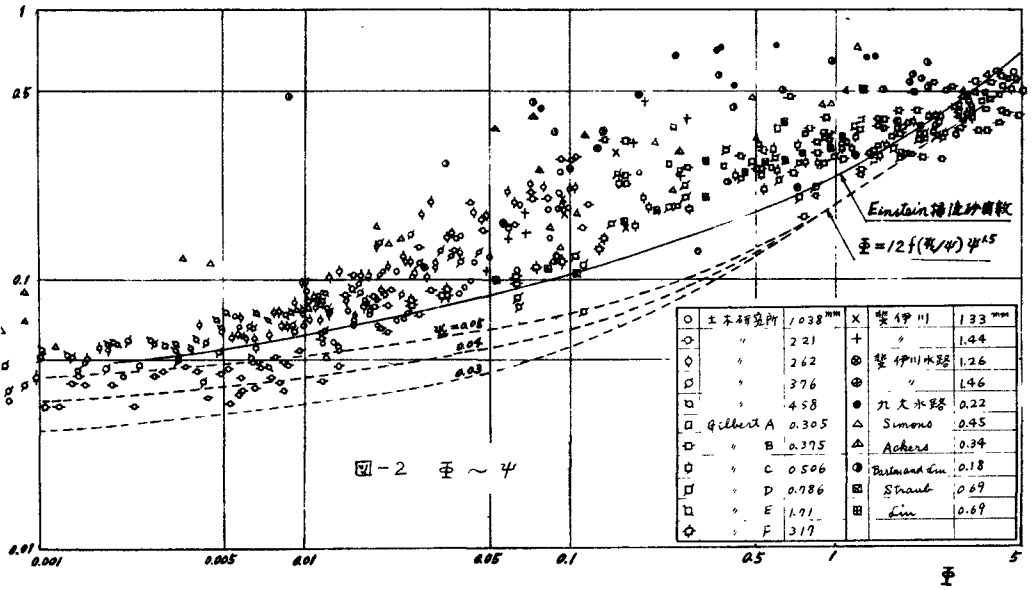


图-2 $\psi \sim \zeta$

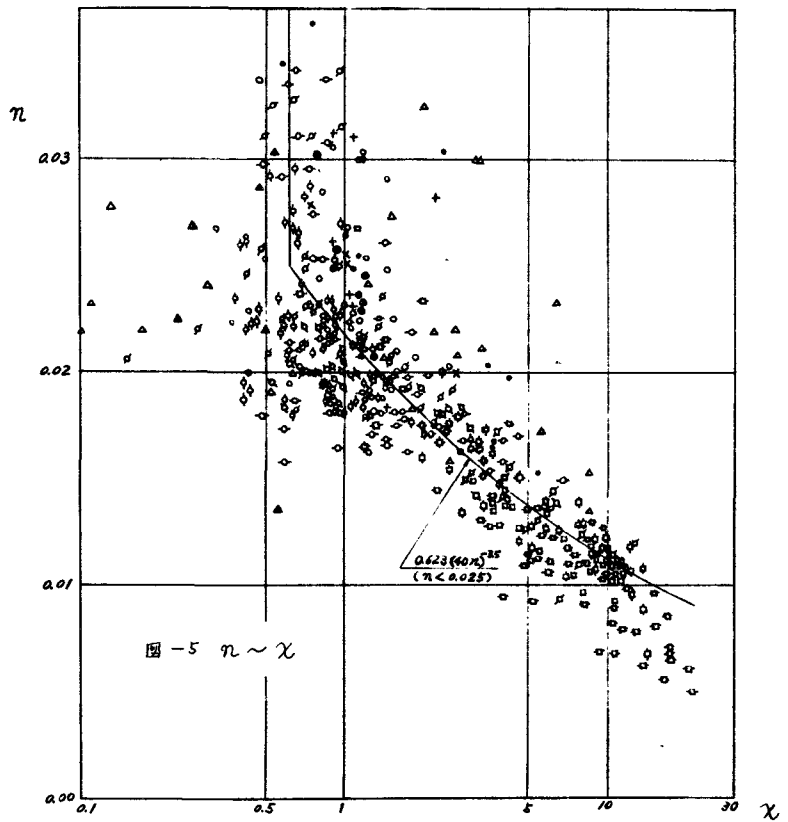


图-5 $\zeta \sim \psi$

