

移動床水路におけるエネルギー損失

京都大学防災研究所 奈良井修二
戸田建設 福島信夫

まえがき

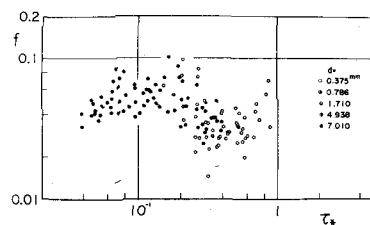
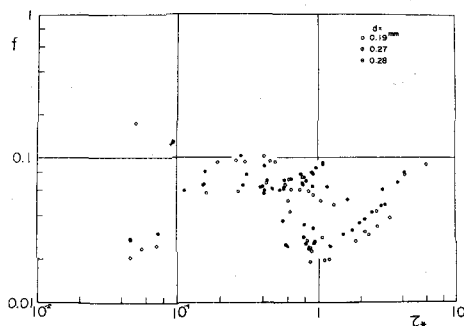
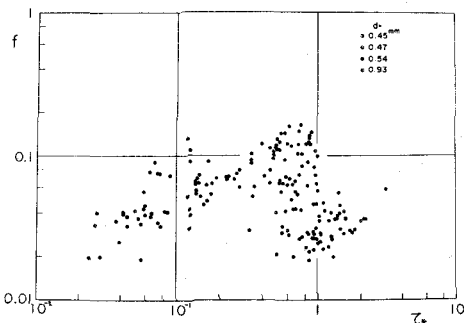
移動床水路での流砂現象に関する水理学的研究は、古くから水工学上の諸問題から数多くの研究がなされてきている。その研究課題は主として送流土砂量、河床形態の変動および流れの抵抗則の三問題にあり、各問題点あるいは相互の関連についての追究が続けられている。本研究は、これらの諸関係を究明する一つの試みとして、流砂現象と水流と河床砂の摩擦過程としてとらえ、その力学的過程は河床境界面でのエネルギー損失過程によって表現し得るものと考え、かなり巨視的な立場から検討しようとするものである。

水流の摩擦抵抗則について

流砂床と水流との摩擦抵抗則に関しては種々の研究がみられるが、ここでは Darcy-Weisbach 型式の摩擦抵抗係数 f によって検討する。図-1(1)~(3)は Gilbert および U.S. Geol. Survey が行った実験結果を f と掃流力の無次元表示 $\tau_* (= \tau_0 / (\rho g d))$ の関係で整理したものである。実験値にかなりのばらつきはあるが、実験の規模および精度の点で U.S. G. S. の解析結果から検討すると、 τ_* がおよそ 0.1 以下では f の値は 0.02~0.04 の範囲にある。 τ_* が 0.1 より大きくなると f は漸増しある上限値に達するようである。 $\tau_* \approx 1$ 近くになると f の値は τ_* がほぼ一定のままで低下し、その値は 0.02 まで減少し極小値を示す。さらに τ_* が大きくなると f の値は再び上昇する傾向にある。このような摩擦抵抗係数 f の変化は河床形態の遷移と対応しており、 $\tau_* \lesssim 0.1$; flat bed , $0.1 \lesssim \tau_* \lesssim 1$; ripple or dune , $\tau_* \approx 1$; transition (flat bed) or standing wave , $1 \lesssim \tau_*$; antidune である。

送流砂量に関する考察

上述の摩擦抵抗係数 f の変動特性を基にして、算流状態における掃流形式の流砂量に関して考察を試みる。摩擦抵抗係数 f 表示のなかに境界摩擦と河床形状の抵抗を分割できると仮定すれば次式

図-1(1) $f \sim \tau_*$ の関係 (Gilbert の実験資料)図-1(2) $f \sim \tau_*$ の関係 (U.S.G.S. の実験資料)図-1(3) $f \sim \tau_*$ の関係 (U.S.G.S. の実験資料)

α ようになる。 $f = f_* + f_0 \dots\dots(1)$ ここで、 f_* ；境界摩擦抵抗係数、 f_0 ；形状抵抗係数。境界摩擦によって失なわれるエネルギー ϵ_* を f_* を用いてあらわせば、

$\epsilon_* = f_* \frac{\rho u_m^3}{g} \approx (\frac{f_*}{f}) \rho g_0 I \dots\dots(2)$ ここで、 u_m ；水流の平均流速、 u_b ；河床付近の流速、 ρ ；水の密度、 g ；重力加速度、 g_0 ；単位巾当りの流量、 I ；水面こう配、 ϵ_* ；単位時間、単位面積当りに摩擦によって失なわれるエネルギー量。

一方、揚流砂層における砂粒群の運動で失なわれていくエネルギー ϵ_s を次式のように考える。 $\epsilon_s = \mu' (\sigma - \rho) g_0 B \dots\dots(3)$ ここで、 μ' ；流砂層における摩擦抵抗係

数、 σ ；砂粒の密度、 ρ_B ；単位巾当りの流砂量。

水流と流砂面との境界摩擦によって失なわれるエネルギー ϵ_* の一部が流砂運動を保存するのに有効とすれば、

$$\epsilon_s = e \cdot \epsilon_* \dots\dots(4)$$

ここで、 e ；効率

したがって、(2)(3)(4)式から流砂量に關して無次元化した表示であらわせば、

$$\rho_B / g_0 = e \cdot \frac{I}{f} \dots\dots(5)$$

ここで、 ρ_B ；水中重量での単位巾当りの流砂量、 g_0 ；単位巾当りの流量（重量単位）、 $e = (e \cdot f_* / \mu')$ ；包括的な効率、 f ；総摩擦抵抗係数、

図-2(1),(2)は、実験資料を従来の流砂量公式で用いられている $\rho_{B*} (= \rho_B / u_* d)$ と τ_* の関係で整理したものである。

図-3(1),(2)は、(5)式から計算される e と τ_* の関係を図示したものである。

詳細な検討は講演時に述べたい。

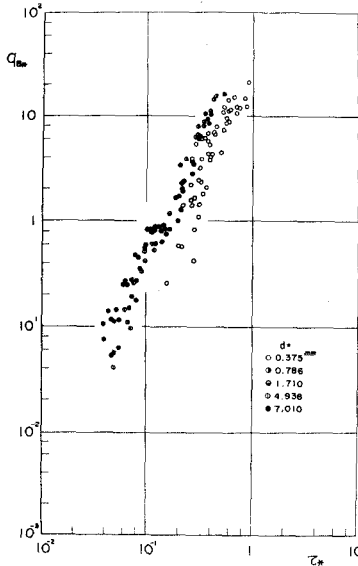


図-2(1) $\rho_{B*} \sim \tau_*$ の関係 (Gilbert の実験)

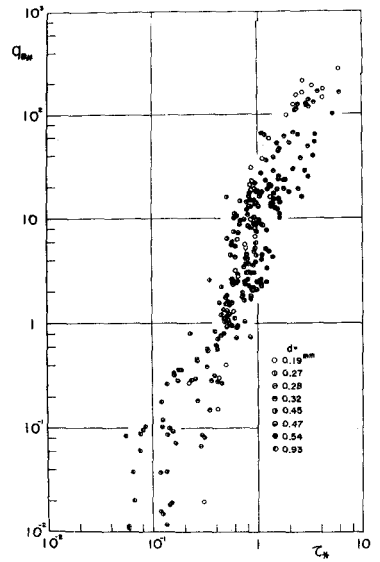


図-2(2) $\rho_{B*} \sim \tau_*$ の関係 (U.S.G.S. の実験)

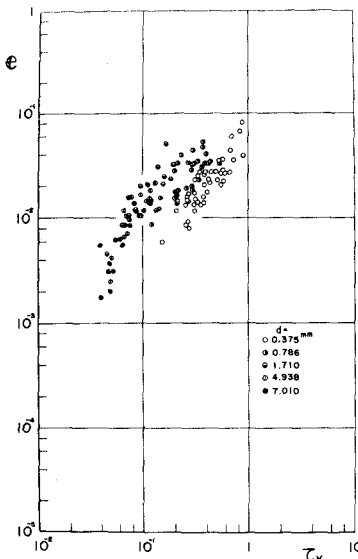


図-3(1) $e \sim \tau_*$ の関係 (Gilbert の実験)

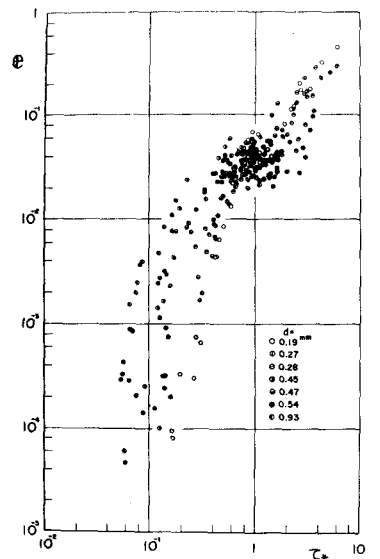


図-3(2) $e \sim \tau_*$ の関係 (U.S.G.S. の実験)