

しるべき

沖積河川の河床変動に関しては従来から多くの研究が行なわれているが、それらは主として側岸が固定された流路を取りあつかっており、側岸が浸食される場合についてはあまり研究が進んでいない。しかし、沖積河川は側岸が浸食性の材料で構成されている場合がむしろ一般的であり、山地河川などでは、側岸浸食土砂が流送土砂の主な供給源になっている場合が少なくない。このような側岸浸食に伴う流路変動については、最近いくつかの研究がなされており、筆者²⁾や村本³⁾により、側岸浸食式と流路変動式とを組み合わせた拡幅の計算法が提案されている。しかし、それらの側岸浸食式については、その一般性に疑問のあることが指摘されており⁴⁾、信頼できる側岸浸食式の確立が強く望まれている。本報は、前報²⁾で導いた諸式について、その後行なわれた実験結果と比較し、その適用性を吟味しようとするものである。

2. 斜面における限界摩擦速度

傾斜角 θ の斜面上に静止している砂粒に働く力は、流体力 D 、重力 W および摩擦力 F であり、それと次の様に表わされる。

$$D = \varepsilon C_0 \alpha_s \pi d^2 \frac{\rho}{2} U^2 \quad \dots\dots (1) \quad W = (\sigma - \rho) g \alpha_s \pi d^3 \quad \dots\dots (2)$$

$$F = \mu_s (\sigma - \rho) g \alpha_s \pi d^3 \cos \theta \quad \dots\dots (3)$$

ここに、 ε :遮蔽係数、 C_0 :砂粒の抵抗力係数、 d :砂粒の粒径、 α_s :砂粒の面積係数および体積係数、 U :砂粒に作用する流速、 σ :砂粒の密度、 ρ :水の密度、 μ_s :砂粒の水中静止摩擦係数である。移動限界状態においては、これらの力が釣り合っているから、 $F = \sqrt{D^2 + (W \sin \theta)^2} \quad \dots\dots (4)$

式(4)に式(1)~(3)を代入して整理し、 $\tau_{ncs} = U_{ncs}^2 / (\sigma/\rho - 1) g d$ 、 U_{ncs} :移動限界状態における斜面上の摩擦速度、 X_s :移動限界状態における X の値、 $X = 2\alpha_s / \alpha_s \varepsilon C_0 g d^2$ 、 $q_s = U_s / U_{nc}$ とすると、 $\tau_{ncs} = \mu_s X_s \cos \theta \sqrt{1 - \tan^2 \theta / \mu_s^2} \quad \dots\dots (5)$
 $\theta = 0$ のとき U_{ncs} は通常の河床の限界摩擦速度 U_{nc} に一致するから、式(5)より、 $\tau_{nc} = \mu_s X_c \quad \dots\dots (6)$

ここに、 $\tau_{nc} = U_{nc}^2 / (\sigma/\rho - 1) g d$ である。さらに、 $X_s = X_c$ とみると、 $\tau_{ncs} = \tau_{nc} \cos \theta \sqrt{1 - \tan^2 \theta / \mu_s^2} \quad \dots\dots (7)$
 式(7)と山本の実験値⁵⁾と比較すると図-1のようになり、両者はほぼ一致する。

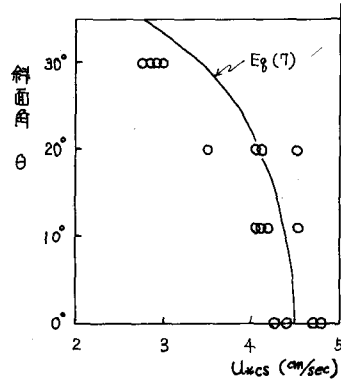


図-1 斜面の限界摩擦速度 (山本の実験より)

3. 斜面における砂粒の移動方向と速度

図-2のように、流路の斜面上を U_q の速度で移動している砂粒の運動方程式は、 x 方向、 y 方向に対してそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} \alpha_s \pi d^3 (\sigma + \frac{1}{2} \rho) \frac{dU_q}{dt} \cos r &= D \cos \delta - F \cos r \\ \alpha_s \pi d^3 (\sigma + \frac{1}{2} \rho) \frac{dU_q}{dt} \sin r &= W \sin \theta - D \sin \delta - F \sin r \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (8)$$

ここに、 δ は流体力 D の作用方向と x 軸となす角、 r は砂粒の移動方向と x 軸となす角、摩擦係数は μ_s と砂粒と河床砂粒間の動摩擦係数として $F = \mu_s W \cos \theta$ と表わされる。また、速度 U_q で流れ方向に移動しながら観察すれば、図-3に示すように、砂粒

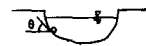


図-2

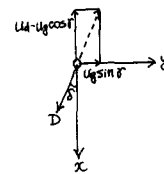


図-3 見掛けの移動方向

は解水中と、 x 方向分速 $u_x = u_g \cos \gamma$, y 方向分速 $u_y \sin \gamma$ で図示の方向に移動するように見えるはずであるから、 D および S はそれぞれ次のようになる。

$$D = \varepsilon C_0 \pi d^2 f \{ (u_x - u_g \cos \gamma)^2 + (u_y \sin \gamma)^2 \} / 2 \quad \dots (9)$$

$$\tan S = \frac{u_g \sin \gamma}{u_d - u_g \cos \gamma} \quad \dots (10)$$

式(9)~(10)を解くことにより、 θ が既知の斜面上における砂粒の移動経路を計算することができる。

次に定常状態とみなせる場合には、 $du_g/dt = 0$ において

$$\tan \gamma = \frac{\tan \theta}{\mu_k} \left(\frac{1}{\cos \gamma} - \frac{u_g}{u_d} \right) \quad \dots (11)$$

$$\frac{u_g}{u_d} = \cos \gamma - \left[\frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \frac{\mu_k}{\mu_s} \cos \gamma \cos \theta \sqrt{1 + \left(\frac{\tan \theta}{\mu_k \cos \gamma} - \tan \gamma \right)^2} - 1 + \cos^2 \gamma \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots (12)$$

更に、斜面がゆるやかで $\cos \theta = 1$ および $\cos \gamma = 1$ とおける場合には簡単になって

$$\tan \gamma = \frac{\tan \theta}{\mu_k} \sqrt{\frac{\tau_{*c} \cos \theta}{\tau_*} \frac{\mu_k}{\mu_s}} \quad \dots (13)$$

$$\frac{u_g}{u_d} = 1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c} \cos \theta}{\tau_*} \frac{\mu_k}{\mu_s}} \quad \dots (14)$$

上式の適用性を山本の実験結果³⁾より検討してみよう。山本は砂粒をはりつけた固定床に砂粒を流下させ、その速度と移動方向を測定している。まず、固定床における限界摩擦速度は移動床におけるそれ(図-1)とは異なると思われるので、実験値より求めてみる。式(14)より、 $u_g = 0$ に対する u_k を u_{k0} とすると、 $u_{k0} = u_{*c} \cos \theta \sqrt{\mu_k / \mu_s}$ となるので、これを式(13)に代入すると、

$$\tan \gamma = \frac{\tan \theta}{\mu_k} \frac{u_{k0}}{u_k} \sqrt{\cos \theta} \quad \dots (15)$$

山本のデータより、 $\theta = 0$ の場合の u_k と u_g の関係をプロットすると図-4のようになり、直線関係が認められるので、図より u_{k0} を求めると、 $u_{k0} \approx 2 \text{ cm/s}$ となる。次に、 $\tan \gamma$ と $\tan \theta \sqrt{\cos \theta} / u_k$ を求めてプロットすると図-5のようになり、両者の間にほぼ直線関係があることがわかる。また、式(15)において、 $u_{k0} = 2 \text{ cm/s}$, $\mu_k = 0.7$ とすると図の直線ようになり、(15)式の関係がほぼ成り立っていると考えられる。

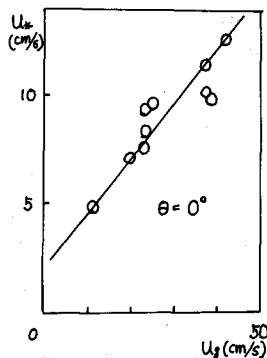


図-4. u_g と u_k の関係

4. 横断方向の流砂量

側岸の浸食量は流路の横断方向の流砂量 q_{BS} として取りあつかうことができる。流れ方向の流砂量を q_B とすると、

$$q_{BS} = q_B \tan \gamma = q_B \frac{\tan \theta}{\mu_k} \sqrt{\frac{\tau_{*c} \cos \theta}{\tau_*} \frac{\mu_k}{\mu_s}} \quad \dots (16)$$

であるから、自然流路における θ が何によって規定されるかを明らかにすることが最も重要な課題であると考えられる。今後多くの実験を行なってこの問題を追求していきたい。

参考文献

- 1) 平野東夫：塩漬に伴う流路変動，西部支部研究発表会論文集，昭和24
- 2) 村本嘉雄，藤田裕一郎：河岸の浸食機構について，土木学会年次学術講演会講演要集，昭和24
- 3) 山本晃一：斜面の上砂粒の移動実験，土木学会年講，昭和24

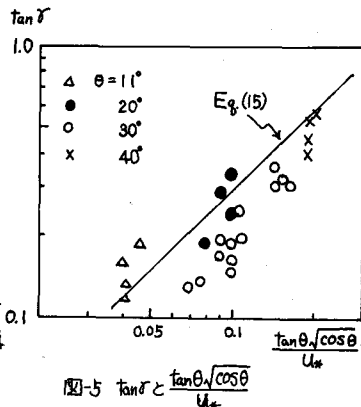


図-5. $\tan \gamma$ と $\frac{\tan \theta \sqrt{\cos \theta}}{u_k}$ の関係