

(11) 河床砂礫の掃流運搬に関する研究

正員工博 正員工博 専員
建設省土木研究所 ○佐藤清一 吉川泰夫 芦田和男

河床砂礫掃流運搬の問題は治水、利水の合理的な河川の処理と期し、安定な河道の設計を行うために是非とも解明されねばならぬ問題である。この問題は従来盛に研究されてきたが、実際河川の計画にあまり取りあげてこられなかったのは掃流砂の現地観測が困難であり、自然河川にまで充分に信頼して適用し得る一般的の掃流砂量公式が求められていないことによるものだと考えられる。

そこで著者等は1951年より1955年に至る5年間にわたり、先づ染色砂により流砂の運動状態を考察し、さらに従来古典的とされてきた Gilbert の実験に含まれていない大規模の流砂、および河床抵抗のかなり大きい部分をも含めて掃流砂の実験を行った。これにより流砂の物理的状態を考察し、河床附近の乱流理論にもとづいて理論を発展させ、我々の資料、Gilbert の資料を一貫的に説明し得る流砂量公式を導いた。以下これについて記す

実験水路 長：114m、水路巾：78cm

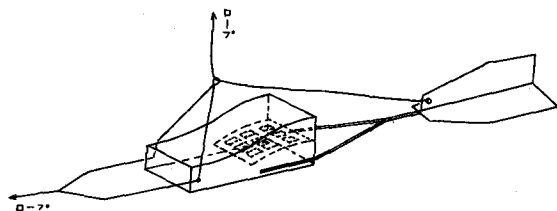
平均河床勾配： $\frac{1}{1000}$

床面に厚26~10cm程度に所定

の勾配で均一粒径砂を敷く

実験の範囲

粒径 (mm)	流量 (l/sec)	掃流力 (N/m)	掃流砂量 (g/sec/cm)	種類
1.038	63~300	60~515	0~0.67	36
2.21	28~350	133~1280	0~1.80	64
2.62	90~325	154~1170	0~1.44	63
3.76	80~400	255~300	0~1.53	52
4.58	80~350	320~910	0~0.50	31



掃流採取器見取図

図-1

掃流砂測定装置 (図-1 参照)

掃流砂量に関する理論的考察

染色砂により掃流砂の運動状態の研究にもとづき、先づ粒子の浮き上る状態を考察し、河床附近の粒子濃度を求め、これを掃流層の平均流速の積により掃流砂量を求める。河床粒子の浮き上る条件に対して(1) 水塊の乱れによる垂直速度成分が粒子の沈降速度より大きくなった時粒子が浮き上る。(2) 水塊の乱れによっておこる揚圧力が粒子の重量よりも大きくなった時粒子は浮き上る。この二つの考え方があつた(1)の考え方を取れば河床附近の粒子濃度は摩擦速度に比例することになり、(2)の考え方を取れば河床剪断力に比例することになるが、従来実際に測定された結果では河床剪断力に比例しているのだから(2)の考え方を取ることにし、次に掃流砂量公式を導いた。

揚圧力 p その平均値 $\bar{p}$ 、変動値 Δp とし、河床上ごく近傍において適当に定められた位置の瞬間速度 u_0 その平均値 $\bar{u}_0$ とすれば

$$p = C_L \frac{\rho}{2} \bar{u}_0^2 \quad \text{----- (1)}$$

$$p = C_L \frac{\rho}{2} \bar{U}_0^2 \quad \text{----- (2)}$$

$$\Delta \bar{p} = \bar{p} - \bar{p} = C_L \frac{\rho}{2} \bar{U}_0^2 \left(\frac{U_0^2}{\bar{U}_0^2} - 1 \right) \quad \text{----- (3)}$$

ここに C_L : 揚力係数

さらに圧力変動は Einstein と El Samni の実験によれば正規誤差分布に従い

$$f(\Delta p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\Delta \bar{p}} e^{-\frac{\Delta p^2}{2\Delta \bar{p}^2}} \quad \text{----- (4)}$$

$$\text{但し } \int_{-\infty}^{\infty} f(\Delta p) d\Delta p = 1 \quad \sqrt{\Delta \bar{p}^2} = \text{標準偏差}$$

河床の単位面積中、揚圧力が効果的に働く面積を γ 、 δt 時間の中、揚圧力が効果的に働く時間と δt とすれば、 δt 時間に流れが揚圧力により粒子に効果的に与える力積は単位面積について

$$\delta t \cdot \gamma \int_{p_c}^{\infty} p f(p) dp$$

一方単位面積上の掃流層内の粒子の全体積を N とし、粒子の密度を ρ_s とすれば、重力が δt 時間内に鉛直下方に与える力積は

$$N(\rho_s - \rho) \cdot g \delta t$$

いかにに掃流運動が平衡している場合と考えると

$$\delta t \cdot \gamma \int_{p_c}^{\infty} p f(p) dp = N(\rho_s - \rho) g \delta t \quad \text{----- (5)}$$

$f(p) dp = f(\Delta p) d\Delta p$ と考慮し (5) 式に (3) 式を代入して整理すれば ($\delta t = \delta t'$ と考えられる)

$$N(\rho_s - \rho) g = \gamma (I_1 + I_2) \quad \text{----- (6)}$$

$$\text{ここに } I_1 = \bar{p} \int_{p_c}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\Delta \bar{p}} e^{-\frac{\Delta p^2}{2\Delta \bar{p}^2}} d(\Delta p) \quad I_2 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\Delta \bar{p}} e^{-\frac{\Delta p^2}{2\Delta \bar{p}^2}}$$

限界掃流力の定義はわかりあいであるが、ここでは揚圧力の変動値が標準偏差の2倍の所の圧力が粒子重量に打ち克つ時の掃流力を以て限界掃流力と定義する。この定義に従えば移動率は2-3%とかなり限界掃流力の従来の考え方とは同じ値を与えるものと考えられる。即ち $p_c = (1+2\sigma)(\bar{p})_c = \frac{\gamma}{2}(\rho_s - \rho)gd$ 、これと $\bar{U}_0 = \alpha U_*$ とおくことにより (3), (5) 式から

$$N(\rho_s - \rho)g = \gamma \frac{C_L \alpha^2}{2\sqrt{2\pi}} \left\{ \sigma e^{-\frac{(1+2\sigma)\frac{(C_L \alpha^2) \frac{\gamma}{2}}{C_L \alpha^2} - 1)^2}{2\sigma^2}} + \int_{\frac{1}{2}(1+2\sigma)\frac{(C_L \alpha^2) \frac{\gamma}{2}}{C_L \alpha^2} - 1}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right\} \equiv \gamma \frac{C_L \alpha^2}{2\sqrt{2\pi}} F\left(\frac{\gamma}{2}\right) \equiv \gamma \frac{C_L \alpha^2}{2\sqrt{2\pi}} F(0) \cdot f\left(\frac{\gamma}{2}\right)$$

$$\text{ここに } \sigma = \sqrt{\left(\frac{U_0}{\bar{U}_0}\right)^2 - 1} \quad (C_L \alpha^2)_c \text{ は限界時の値}$$

掃流層の平均流速を $\bar{U}_0 = \alpha U_*$ であるとはせば単位中、

単位時間の掃流砂量 q_b (重量単位) は

$$q_b = N \rho_s g \bar{U}_0 = \gamma \frac{C_L \alpha^2}{2\sqrt{2\pi}} \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho} F(0) \cdot f\left(\frac{\gamma}{2}\right) \alpha U_* \\ \equiv \varphi \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho} f\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cdot \alpha U_*$$

El Samni に従い $\sigma = \frac{1}{2}$ とし、 $(C_L \alpha^2)_c = (C_L \alpha^2)$ とし $f\left(\frac{\gamma}{2}\right)$

は容易に計算し得る。 φ は抵抗係数の函数と考えられるが実験値について図-2のごとき関係が得られた

