

移動床における流量と水路幅の関係について

立命館大学理工学部 正員 大同淳之

1 はしがき 河道計画において、断面内に余分な堆積、洗掘と許さない平衡条件を、縦断方向だけでなく、横断方向にも成立することが望ましい。現在、縦断形状については平衡条件が求められているが、横断形状については必ずしも十分でない。本報は、幅深さ比について若干の考察と実験をもとに関係式を求め、これを用いて流量と水深および水路幅の関係と求めたものである。

2 解 析

i) 流砂の運動式 流砂量 $q_{Bs} (= q_s / u_* d)$ は、 $\tau_* = u_*^2 / (s-1)gd$ との間に、

$$q_{Bs} = \alpha_1 \tau_*^m \quad (1)$$

と表わせる。 q_{Bs} と τ_* との関係は必ずしも直線でないで、(1)式で表すためには、領域を区分して適用することが必要で、例之は図1に示す著者らの測定例では、 $0.05 < \tau_* < 0.2$ の範囲で、 $\alpha_1 = 3.0 \times 10^6$ 、 $m = 8.0$ と表わせる。流砂量 q_s と体積濃度 C で表わすと、

$$Q = q_s B / C = [\alpha_1 q^{1/2} / (s-1)^m d^{m+1} c] B h^{m+1/2} I^{m+1/2} = \alpha_2 B h^{m+1/2} I^{m+1/2} \quad (2)$$

となる。

ii) 流速式 平均流速 u 、 $u/u_* = E(R/k_s)^{1/6}$ 、 $E = k_s^{1/6} / \eta \sqrt{g}$ とすると、

$$u = E(g^{1/2} / k_s^{1/6}) R^{1/3} I^{1/2} \quad (3)$$

となる。著者らの実験によると、 $R = \alpha_3 h$ の関係が成立するので

$$u = \alpha_3^{1/3} E(g^{1/2} / k_s^{1/6}) h^{1/3} I^{1/2} \quad (4)$$

k_s/d は τ_* または F_r 数の関数であることが示されているが、必ずしも十分に関係づけられていないので、 $k/d = \alpha_4$ とし、 $\alpha_3^{1/3} E(g^{1/2} / k_s^{1/6}) = \alpha_4$ として、

$$u = \alpha_4 h^{1/3} I^{1/2} \quad (5)$$

とする。

iii) 幅と水深の関係 水路幅は、河岸を形成する砂れきの性質によつて変わり、砂れきが凝集性を有する場合は、凝集性のない場合に比して狭くなるとされている。ここでは凝集性を有しない場合について、水路幅と水深の関係を支配する要因と考察する。

図2の横断面形で、河床に作用するせん断力で $dp \cdot dx$ は、 $dA \cdot dx$ の水の質量力と釣り合っているとすると、河床に作用するせん断力では、

$$\text{Lundgreen \& Jonsson}^{1) \text{ によつて、次のように表される}} \\ \tau = \rho g (dA/dp) I = \rho g R I / (\cos \theta + \frac{1}{2} \cos \theta h^2 \frac{d^2 h}{dy^2}) \quad (6)$$

ここに θ は任意の場所の横断方向の河床の傾斜角、 y は断面中央より測った横方向の距離である。 $d^2 h / dy^2$ が小さいとすると、

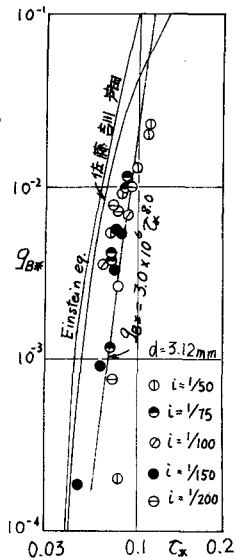


図1. 流砂量式

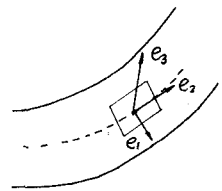


図2. 記号

DAIDO Atsuyuki

$$\tau = \rho g I h \cos \theta$$

(7)

となる。河床に作用する接線力および法線力のベクトルをそれぞれ T_{ET} , T_{EN} とすると

$$|T_{ET}| = \mu |T_{EN}|$$

(8)

が任意の場所で成立する。ここに μ は摩擦係数である。

$$T_{ET} = \alpha_0 \tau_c e_1 - \rho g (S-1) (1-P) d \sin \theta e_2, \quad T_{EN} = -\{\rho g (S-1) (1-P) d \cos \theta - \quad\} e_3 \quad (9)$$

ここに $\alpha_0 \tau_c$ は砂れきに作用する流体力, $\alpha_0 \rho \tau_c$ は浮力, d は粒径, e_1 , e_2 , e_3 はそれぞれ流れに示す方向の単位ベクトルである。(2)式と $\tan \theta = -dh/dy$ として(8)式と表わすと,

$$(h/h_0)^2 + \{(1+\mu\beta)/\mu\}^2 (dh/dy)^2 = \mu^2 \left[\{(1+\mu\beta)/\mu\} - \rho h/h_0 \right]^2 \quad (10)$$

ここに h_0 は流路中央の水深である。 $h(0) = h_0$, $h(B/2) = 0$ の条件でとくと,

$$\frac{h}{h_0} = \frac{1}{1-r} \left[\cos \left\{ \mu \left(\frac{1-r}{1+r} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{y}{h_0} \right\} - r \right] \quad (11) \quad \frac{2h_0}{B} = \mu \left(\frac{1-r}{1+r} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{\cos^{-1} r} \quad (12)$$

ここに $r = \beta\mu$ である。 r = 一定であるから, $h_0/B = \alpha_5$ (13), の成立を示唆する。 5

なみに, $y = 0$ で $\tau(0) = \tau_c$ とすると, $\tau_c / \rho g (S-1) d = \mu (1-P) / [\alpha (1+\mu\beta)]$, となり,

$\mu = 0.6$, $p = 0.35$, $\tau_c / \rho g (S-1) d = 0.05$, $\beta = 0.85$ とすると, $\alpha_0 = 5.2$, $h_0/B = 6.05$ となる。

P. Aecker²⁾ のデータは, (13)式の成立する

ことを示し, 凝集性のある土質で $\alpha = 10$

砂れきで $\alpha = 12.4$ と示している。一方,

若者らの実験値では図3に示すように

$$h/d = \alpha_6 (B/d)^n, \quad n = 2/3 \quad (13)$$

という結果を示している。これは上の解

折がまだ十分でないことを示している。

IV) 流路幅と流量の関係

(2)式に(5)および(13)式を代入して, 流量と水深, 流路幅の関係

$$\text{と求めると} \quad h = \frac{\frac{1}{\alpha_2 \frac{16}{3}(m+\frac{1}{2}) - \frac{2}{3}} \cdot \frac{3(m+\frac{1}{2}) - \frac{2}{3}}{\alpha_4 \frac{16}{3}(m+\frac{1}{2}) - \frac{2}{3}}}{\frac{2(m+\frac{1}{2})}{\alpha_4 \frac{16}{3}(m+\frac{1}{2}) - \frac{2}{3}}} Q^{\frac{2(m+\frac{1}{2})-1}{\frac{16}{3}(m+\frac{1}{2}) - \frac{2}{3}}} = \Gamma Q^M \quad (14)$$

$$B = (h/\alpha_6)^{\frac{3}{2}} = \left(\frac{\Gamma}{\alpha_6} \right)^{\frac{3}{2}} Q^N, \quad N = \frac{3}{2}M \quad (15)$$

となる。 τ_c の範囲で(2)式のべき数 m が $9 \sim 1$ の範囲変化するの

で, (14)および(15)式のべき数 M , N を m について求めた結果を図

4に示す。 M , N は m の変化にむかわらずほぼ $M = 0.36$, $N =$

0.52 , とほぼ一定で, これらの値は従来より Regime 式で $h \propto Q^{0.36}$

$B \propto Q^{0.5}$ とされている値にほぼ一致する。 Γ および $\frac{\Gamma}{\alpha_6}$ の値につ

いては講演時に述べる

3. おまじび 流砂量, 流速式および幅深さ比を表わす式と連立に解くと, Regime 式

とほぼ一致する水深-流量式, 流路幅-流量式が得られた。

1) Lundgreen & Jonsson, Proc. ASCE Vol 90 (HY1) 1964, 2) P. Aecker, Proc. ASCE Vol. 90 (HY4) 1964, 3) G. Parker, J. Fluid Mech Vol. 89 Part 1 1978

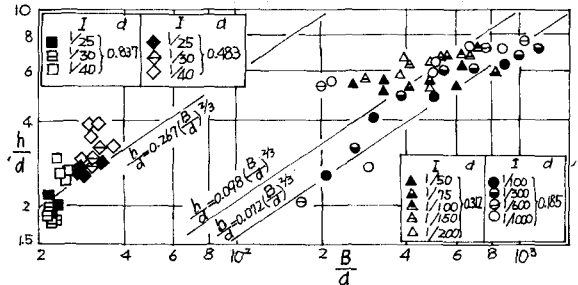


図3 水深 h と流路幅 B の関係

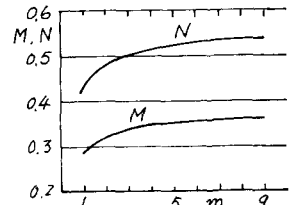


図4 水深, 幅に対する流量の指数

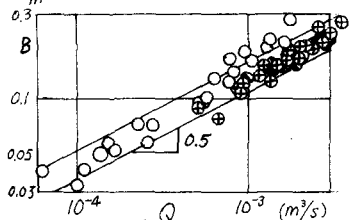


図5 流路幅と流量の関係の演算値