

埼玉大学 正 ○池田 駿介
建設技研 正 西村 達也

1. 序

蛇行河道内の三次元流れを簡易に求める手法を提案し、更にこの結果を用いて掃流砂および浮遊砂を考慮して河床形状を求める方法を研究したので報告する。なお、この理論結果は妥当であることを室内実験によって確かめた。

2. 三次元流れの解析法

三次元流れを厳密に求めるには乱流モデル等を用いて数値計算を行なわなければならないが、河床との相互作用を考える本研究ではこれらの方法は不適当である。従って、平面二次元流の成分、 $\tilde{u}$, $\tilde{v}$, と二次流の成分、 v'' , w'' , に分けて考える。平面二次元流の解は (1, 2)

$$\frac{u'}{U} = \frac{n}{R_0} (a \sin ks + b \cos ks) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $\tilde{u} = U + u'$, U = 断面平均流速, a , b は次式で与えられる。

$$a = \frac{kH(A + Fr + 2)}{4C_f^2 + (kH)^2}, \quad b = \frac{2(A + Fr^2)C_f^2 - (kH)^2}{4C_f^2 + (kH)^2}$$

このとき蛇行水路の中心線は $1/R = \cos ks/R$ に従うと仮定している。又、 A の値は $\eta'/H = An/R$ により表される横断方向河床勾配である (3)。 $\tilde{u}$ に対応する $v' = \tilde{v}$ の解は

$$\frac{v'}{U} = \frac{kR_0}{2} \frac{R}{r} \frac{H}{h} [a \cos ks - (b + A + Fr^2) \sin ks] \left[\left(\frac{B}{2R_0} \right)^2 - \left(\frac{n}{R_0} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (2)$$

である。二次流成分は次のようにして求める。主要項のみを残した二次流の方程式は

$$u \frac{\partial \Omega}{\partial s} - \frac{2}{r} u \frac{\partial u}{\partial z} = \epsilon \frac{\partial^2 \Omega}{\partial z^2} \dots\dots\dots (3)$$

となるが、一様湾曲水路の解を修正して式 (3) の解を次のように修正する。

$$\frac{v''}{U} = f^2 \left(\frac{\tilde{u}}{U} \right)^2 \frac{h}{kr} \chi F(\eta) \frac{R}{R_0} \cos(ks - \sigma) \dots\dots (4)$$

ここに $\Omega = \partial v'' / \partial z$ (w'' は $B/H \gg 1$ として無視している)。 $F = F_1 - \sqrt{C_f} F_2 / k$ で図2に示されている。 f は水路付近で1で側壁で0となる関数である。式 (4) を式 (3) に代入し、 u の分布として速度欠損則を用いて χ , σ の値を水路中心で求めると

$$\chi = \frac{1}{kH \left(\frac{1.11}{\sqrt{C_f}} - 1.42 \right) \sin \sigma + \cos \sigma} \dots\dots\dots (5)$$

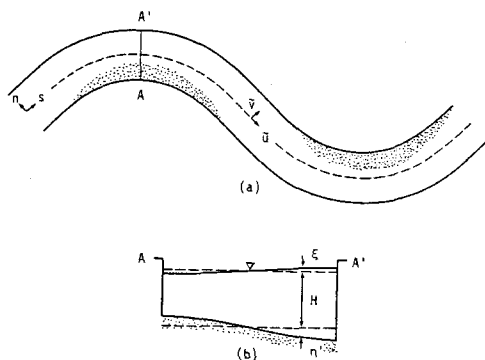


Fig. 1. Definition sketch

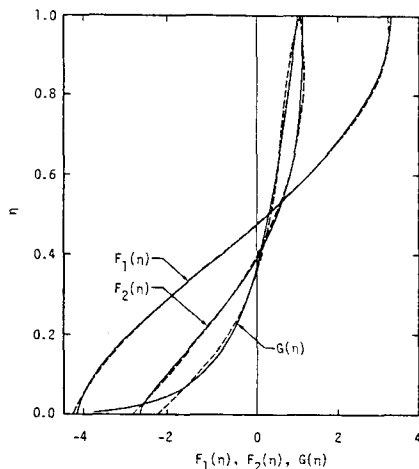


Fig. 2. Profiles of F and G

$$\sigma = \tan^{-1} [kH(\frac{1.11}{\sqrt{C_f}} - 1.42)] \dots\dots\dots(6)$$

となる。

3. 河床形状

河床形状が平衡状態にあるとき、流砂の連続式は

$$\frac{R}{r} \frac{\partial}{\partial s} (q_{Bs} + q_{Cs}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial n} [r(q_{Bn} + q_{Cn})] \quad (7)$$

である。記号の意味は図3に示すが、suffix. B, は掃流砂を, C, は浮遊砂を表している。以下にこれらの量を見積もる。Einsteinの式を近似して

$$q_{Bs} = 11.2 \sqrt{R_s g d^3} \frac{(\tau_* - 0.03)^{4.5}}{\tau_*^3} \dots\dots(8)$$

とする。ここに τ_* =Shields stress。横断方向流砂量は

$$\frac{q_{Bn}}{q_{Bs}} = \tan \delta + \frac{1 + \alpha \mu}{\lambda \mu} \sqrt{\frac{\tau_* c}{\tau_*}} \tan \theta \dots\dots(9)$$

θ は横断方向の河床の傾きであり、 δ はs方向と流砂の方向の傾きで、流れの解から次のように与えられる。

$$\tan \delta = \frac{1}{f \frac{\tilde{u}}{U} A_r \sqrt{C_f}} \left[\frac{v'}{U} + f^2 \left(\frac{\tilde{u}}{U} \right)^2 \frac{h}{\kappa r} \chi F(0) \frac{R}{R_0} \cos(ks - \sigma) \right] \dots\dots\dots(10)$$

浮遊砂による量は水面から底面高さまで積分し、単位幅当たり、

$$\frac{q_{Cs}}{U_h} = f \frac{\tilde{u}}{U} \phi_{Cs} \dots\dots\dots(11)$$

$$\frac{q_{Cn}}{U_h} = \frac{v'}{U} \phi_{Cn1}$$

$$- f^2 \left(\frac{\tilde{u}}{U} \right)^2 \frac{h}{\kappa r} \chi \frac{R}{R_0} \cos(ks - \sigma) \cdot \phi_{Cn2} \dots\dots(12)$$

となる。ここに ϕ_{Cs} , ϕ_{Cn1} および ϕ_{Cn2} は u_* / v_s と C_f の関数で、 $C_f = 0.01$ のとき図4のようになる。以上を式(5)に代入し河床形状は次式で与えられる。

$$\frac{\partial \eta'}{\partial n} = - \frac{\frac{R}{r} \int \frac{\partial}{\partial s} (q_{Bs} + q_{Cs}) dn + q_{Cn} + q_{Bs} \tan \delta}{5.38 \sqrt{\frac{\tau_* c}{\tau_*}} q_{Bs}}$$

4. 結語

三次元流れの簡易解法を導き、浮遊砂がある場合の河床形状を求めた。河床形状の実測値は砂漣によって歪められているが、理論値とよく一致した。

文献 1. Engelund, F., ASCE, Vol. 100, HY11.
2. Ikeda et al., JFM, Vol. 112. 3. Kikkawa et al., ASCE, Vol. 102, No. HY9.

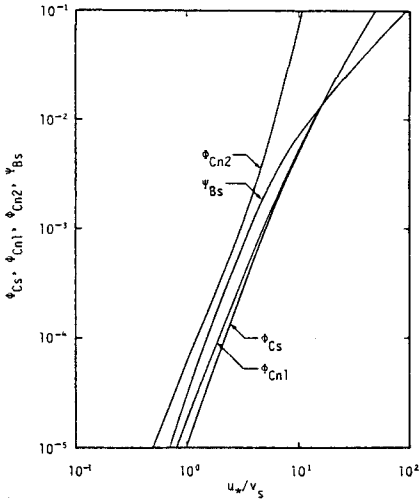


Fig. 4. Profiles of ϕ and ψ

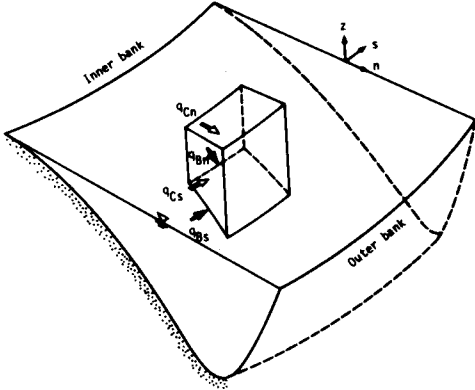


Fig. 3. Movement of sands

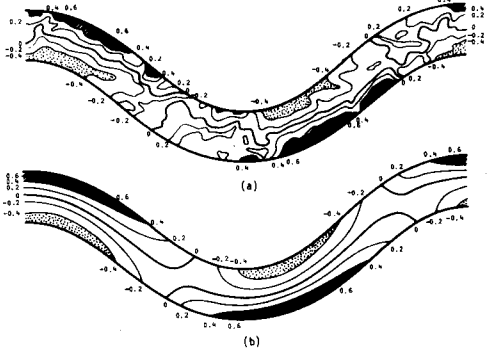


Fig. 5. Contour lines of η' / H .
(a)observed; (b)calculated