

岐阜大学工業短期大学部 正員 藤田 一郎

岐阜大学工学部

正員 河村 三郎

1. まえがき

河川合流に関しては従来よりいくつかの研究が行なわれてきているが、これらはいずれも固定床を対象としたものであり、移動床に関するものはほとんどみられない。本研究では、合流部を有する移動床開水路における動的平衡洗掘深に関する河村の理論⁽¹⁾を発展させて一次元的な理論解析を行なった。

2. 一次元解析の理論

この解析では、河床はすでに動的平衡に達しており、流れは定常と仮定する。また、水路は矩形断面を有し、合流部の上・下流の水路幅は等しいとする。基礎式は図-1を参照すると流砂の連続式が

$$q_{s1} \cdot B + q_{s2} \cdot B_2 = q_{s3} \cdot B \quad \text{--- (1)}$$

流れの連続式が

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \quad \text{--- (2)}$$

となる。ここに、 q_s は単位幅当りの流砂量である。流砂量公式としては、カリンスキー・ブラウン型の次式を用いる。

$$\frac{q_s}{U_* D} = a_s \left[\frac{U_*^2}{(\sigma/\rho - 1) g D} \right]^p \quad \text{--- (3)}$$

ここに U_* は摩擦速度、 D は平均粒径、 σ/ρ は砂の比重、 g は重力加速度、 a_s, p は定数である。また、流れの運動方程式として横流入を含む開水路の運動方程式を用いると

$$\frac{\beta}{g} v \frac{dv}{dx} + \frac{\beta v q_s}{g A} - \frac{q_s}{g A} v_2 \cos \theta = S_0 - S_f - \frac{dy}{dx} \quad \text{--- (4)}$$

ここに、

$$q_s = \frac{dQ}{dx} = q_{s0} \{ S(x) - S(x-L) \}, \quad S(x) = \begin{cases} 1 & (x \geq 0) \\ 0 & (x < 0) \end{cases}$$

β は運動量補正係数、 v は断面平均流速、 A は流水断面積、 S_0 は河床勾配、 S_f は摩擦勾配、 dy/dx は水面勾配、 θ は合流角、 L は合流部における支川幅、 q_{s0} は単位長さ当りの横流入量である。ここでは式(4)の左辺第一項を次のように近似させる。

$$\frac{\beta}{g} v \frac{dv}{dx} = \frac{\beta Q q_s}{g A^2} - \frac{\beta Q^2}{g A^3} \frac{dA}{dy} \frac{dy}{dx} + \frac{\beta Q q_s}{g A^2} \quad \text{--- (5)}$$

実験データによれば式(5)の第二式の第一項のオーダーが $O[10^{-2}]$ 、第二項が $O[10^{-4}]$ であるため、定常流の運動方程式、式(4)における式(5)の仮定は十分成立すると考えられる。また、 $x=0$ 、 $x=L$ において式(4)の勾配項が等しい、即ち、

$$(S_0 - S_f - dy/dx)_{x=0} = (S_0 - S_f - dy/dx)_{x=L} \quad \text{--- (6)}$$

と仮定し、図-1より $h_0 \doteq h_1$ 、 $h_d \doteq h_3$ とおけば、結局、運動方程式より次式が得られる。

$$2\beta \{ (1 - q_r) h_{31}^2 - 1 \} - B_r q_r h_{32} (h_{31} - 1) \cos \theta = 0 \quad \text{--- (7)}$$

ここに、 $q_r = Q_2 / Q_3$ 、 $h_{31} = h_3 / h_1$ 、 $h_{32} = h_3 / h_2$ 、 $B_r = B / B_2$ である。

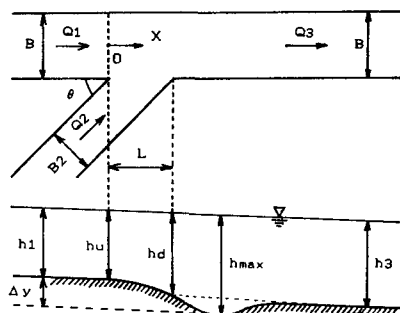


Fig. 1 Definition Sketch

一方、式(1)に式(2)、(3)を代入し、マンニングの粗度係数を導入すると次式が得られる。

$$B_r D_{r1}^{2p-1-p} n_{r1}^{2p+1} (1-q_r)^{2p+1} \frac{7(2p+1)}{6} h_{31}^{2p+1} + B_r D_{r2}^{2p-1-p} n_{r2}^{2p+1} q_r^{2p+1} \frac{7(2p+1)}{6} h_{32}^{2p+1} = 1 \quad \text{--- (8)}$$

ここに、 $D_{r1} = D_1 / D_3$ 、 $n_{r1} = n_1 / n_3$ 、 $D_{r2} = D_2 / D_3$ 、 $n_{r2} = n_2 / n_3$ である。また、局所抵抗係数 f ($U_* / v = \sqrt{f/2}$) を用いれば次式が得られる。

$$B_r D_{r1}^{2p-1-p} f_{r1}^{(2p+1)/2} (1-q_r)^{2p+1} h_{31}^{2p+1} + B_r D_{r2}^{2p-1-p} f_{r2}^{(2p+1)/2} q_r^{2p+1} h_{32}^{2p+1} = 1 \quad \text{--- (9)}$$

以上より、平衡洗掘深 h_{31} と h_{32} の関係は、水路幅比、粒径比、抵抗係数比、及び流量比をパラメーターとして、式(7)、(8)、あるいは式(7)、(9)より求めることができる。

3. 考察

(i) 流量比の影響 $\theta = 30^\circ$ と 60° の場合の洗掘深比と流量比の関係を図-2に示す。いずれのケースについても、 q_r が 0.5 において本川上流部と支川の平衡洗掘深が一致し、その時の洗掘深比は約 1.5 となることからわかる。 q_r が 0.5 以上になると支川の流量の方が大となるため支川の掃流力が増大し河床が低下するのに対し、本川上流部は流量の減少に伴って逆に河床が上昇する。図-2より、理論値とデータとの一致は良好であるといえる。なお、このデータは平均粒径 $\bar{D}_3 = 8.8 \sim 9.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$ を使用した水路幅 $B = B_2 = 25 \text{ cm}$ の実験水路で得られたものである。

(ii) 合流角 θ の影響 図-3に $q_r = 0.4$ の場合の合流角と洗掘深比の関係を示す。これより、平衡洗掘深比に対する合流角の影響はあまりないことがわかる。これは対象とした平衡洗掘深が合流部の局所流の影響が弱まった部分における洗掘深であることが一つの要因と考えられる。一方、この理論では、直接推定はできないが、合流部での最大洗掘深 ($\Delta y = h_{\max} - h_1$) については図-4に示すように、 θ の増加に伴い増大する傾向がみられる。これは、 θ が大きいほど合流部直下流部に生じる死水域が発達するために、局所的に流速が増大して掃流力が増すためと考えられる。

(iii) 抵抗係数の影響 ここで用いた実験データは河床形態が主としてリップルの領域について行われたものであるため、リップルの規模

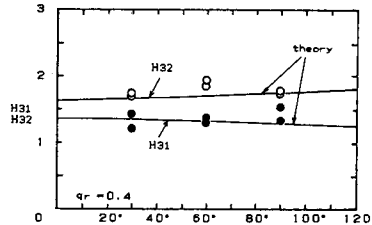


Fig. 3 Relationship between H_{31}/H_{32} and θ [$P_1, B=B_2, n_1=n_2=n_3, D_1=D_2=D_3$]

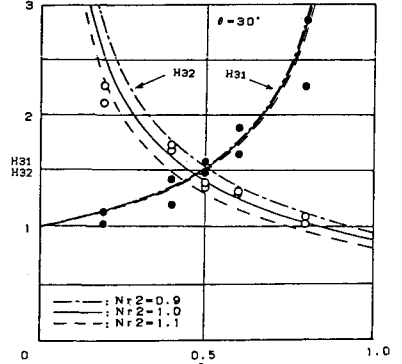


Fig. 2(a) Relationship between H_{31}/H_{32} and q_r [$\theta=30^\circ, P_1, B=B_2, D_1=D_2=D_3$]

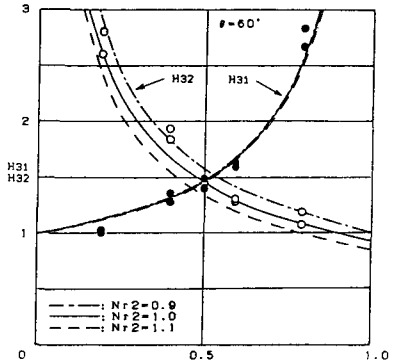


Fig. 2(b) Relationship between H_{31}/H_{32} and q_r [$\theta=60^\circ, P_1, B=B_2, D_1=D_2=D_3$]

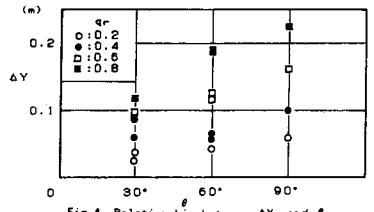


Fig. 4 Relationship between Δy and θ

によって抵抗係数は変化すると考えられる。図-2に支川と本川下流のマニングの n が異なる場合の平衡洗掘深比の変化を示す。支川に関するデータのばらつきは、ほぼ $n_{r2} = 1.0 \pm 0.1$ の間に入っていることがわかる。

局所抵抗係数 f を用いた場合もほぼ同様な結果が得られる。

4. あとがき 移動床合流部に関しては実験データが非常に少なく十分な検討がなされていないため、今後はデータの収集、並びに二次元解析を含めた理論解析を進めていく考えである。

〈参考文献〉(1) Komura, S., River-Bed Variations at Confluences, IAHR, 1973