

移動床合流部における動的平衡水深について

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

合流部を有する移動床開水路の動的平衡状態をマクロ的に論じる場合、流水の運動方程式として横流入の式を用いることによりある程度の解析を行うことができる。⁽¹⁾しかしながら、横流入は合流とは元来異なる現象であり、また横流入の式を導入した解析ではフルード数の効果を明らかにできないという問題もあるため、本研究では固定床合流に対してよく行われているコントロールボリュームを導入して解析を行った。

2. 理論

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、河床形状は実験データ等からの類推により図-1のように合流部で段落ちがあると仮定する。図-2のようにコントロールボリュームをとれば運動量のつりあいより次式が得られる。

$$\rho Q_3 \alpha_3 U_3 - \rho Q_1 \alpha_1 U_1 - \rho Q_2 \alpha_2 U_2 \cos \theta \\ = P_1 + P_2 \cos \theta - P_3 - R \sin \theta - Ff \quad \cdots (1)$$

ここに Q : 流量, α : 運動量補正係数, θ : 合流角, U : 断面平均流速, P : 支配断面上的の静水圧, R : $\overline{BC}$ 断面上に作用する反力(図-2), Ff : 底面摩擦力である。添字 1, 2, 3 はそれぞれ各支配断面に関する値を示すものとする。ここで反力 R は図-2において断面 $\overline{2B}$, と断面 $\overline{1A}$ の水位が等しいとおくと次のようになる。

$$R = \rho g (h_2 + z_2 - z_3)^2 B_2 \cot \theta / 2 \quad \cdots (2)$$

静水圧成分及び摩擦力成分はそれぞれ

$$P_1 = \rho g (h_1 + z_1 - z_3)^2 B / 2 \quad \cdots (3)$$

$$P_2 = \rho g (h_2 + z_2 - z_3)^2 B_2 / 2 \quad \cdots (4)$$

$$P_3 = \rho g h_3^2 B / 2 \quad \cdots (5)$$

$$Ff = \rho g A \cdot l e \cdot l \quad \cdots (6)$$

で与えられる。ここに $l e$: エネルギー勾配, l : 支配断面間距離, A : 流水断面積である。ここでエネルギー勾配については本川, 支川からの寄与を考慮し次のように与えられると仮定する。

$$l e = l m + E \cdot l t \quad \cdots (7)$$

$$l m = \{ (U_1^2 - U_3^2) / 4g + \Delta Z_3 / 2 + (h_1 - h_3) / 2 \} / l$$

$$l t = \{ (U_2^2 - U_3^2) / 4g + (\Delta Z_3 - \Delta Z_2) / 2 + (h_2 - h_3) / 2 \} / l$$

$$E = 1 + K \cdot Q r^2 \sin^2 \theta, \quad \Delta Z_2 = Z_1 - Z_2, \quad \Delta Z_3 = Z_1 - Z_3$$

ここに $l m$, $l t$ はそれぞれ本川上流, 支川に対するエネルギー勾配の寄与分, E は流量比, 水路幅

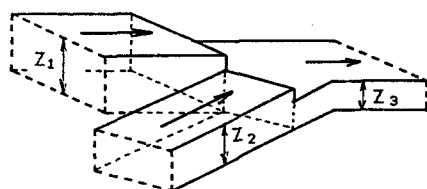


Fig.1 Assumed form of river-bed at confluence

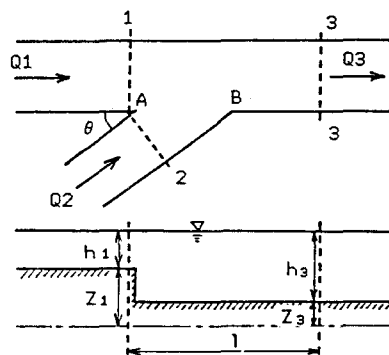


Fig.2 Control volume

比、合流角等の効果が \$t\$ にのみ影響すると考えた場合の補正係数、\$K\$ は水路幅比、死水域規模等に依存すると考えられる係数でここでは \$K=2\$ とした。この \$E\$、\$K\$ の内容については不明確な点があるため今後さらに検討していく必要がある。以上をまとめると運動量方程式 (1) は次のようにまとめられる。

$$\begin{aligned} & \alpha_3 Fr_3^2 - \alpha_1 h_{31} Fr_3^2 (1-Qr)^2 - \alpha_2 h_{32} Fr_3^2 Qr^2 \cos \theta / Br \\ & = (1/h_{31} + \Delta Z_3/h_3)^2 / 2 - 1/2 - ((h_{31}^2 Fr_3^2 (1-Qr)^2 \\ & - Fr_3^2) / 4 + \Delta Z_3 / 2 h_3 + (1/h_{31} - 1) / 2 \\ & + ((h_{32}^2 Fr_3^2 Qr^2 / Br^2 - Fr_3^2) / 4 + (\Delta Z_3/h_3 - \Delta Z_2/h_3) / 2 \\ & + (1/h_{32} - 1) / 2) (1 + K \cdot Qr^2 \sin^2 \theta) \quad \dots (8) \end{aligned}$$

ここに $h_{31} = h_3/h_1$, $h_{32} = h_3/h_2$, $Br = B_2/B$, $Fr_3 = U_3/\sqrt{gh_3}$ である。

一方、流砂量に関しては流砂量公式としてブラウン型の式を用い、マンギンの抵抗則を導入すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} D_{13}^{1-P} n_{13}^{2P+1} (1-Qr)^{2P+1} h_{31}^{7(2P+1)/6} \\ + D_{23}^{1-P} n_{23}^{2P+1} Qr^{2P+1} h_{32}^{7(2P+1)/6} Br = 1 \quad \dots (9) \end{aligned}$$

ここに $D_{13} = D_1/D_3$, $D_{23} = D_2/D_3$, $n_{13} = n_1/n_3$, $n_{23} = n_2/n_3$, D : 平均粒径, n : マンギンの粗度係数である。

また、合流点直上流における本川、支川の水位はほぼ等しいとみなせることから次式を仮定する。

$$h_1 + Z_1 = h_2 + Z_2 \quad \dots (10)$$

図-1における段落ち高さ $Z_1 - Z_3$, $Z_2 - Z_3$ については図-3に示すように近似的に次式が成立すると考えられる。

$$(Z_1 - Z_3) / (Z_2 - Z_3) = (U_2 / U_1)^2 \quad \dots (11)$$

以上 (8), (9), (10), (11) より流水・流砂に関する各パラメーターと動的洗掘深比 h_{31} , h_{32} との関係を明らかにすることができる。

3. 結果及び考察

図-4に合流角 30° , フルード数 0.3 の場合の流量比と洗掘深比の関係を示す。これより Komura の実験データ⁽²⁾との対応は比較的良好であることがわかる。

フルード数の効果を図-5に示す。これより、フルード数の影響はほとんどないことがわかる。これはフルード数の変化に伴い平衡河床高も変化するためと考えられる。

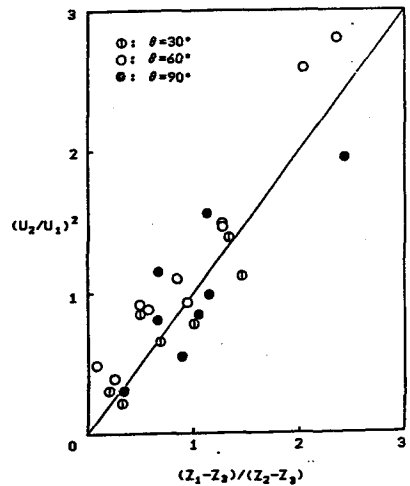


Fig.3 Relationship between $(U_2/U_1)^2$ and $(Z_1-Z_3)/(Z_2-Z_3)$

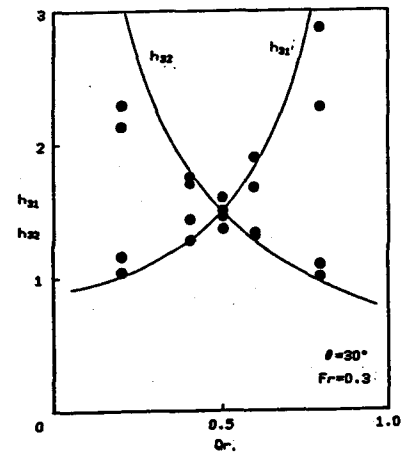


Fig.4 Relationship between h_{31} , h_{32} and Qr

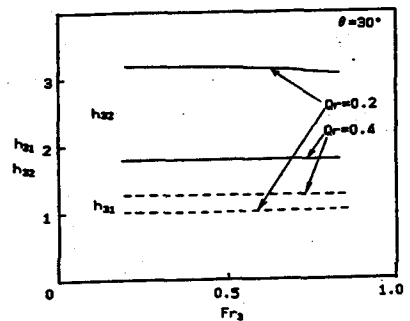


Fig.5 Relationship between h_{31} , h_{32} and Fr_3

- 参考文献 (1) 藤田・河村, 移動床合流に関する一次元解析, 38回年講, 1983
(2) Komura, S., River-Bed Variations at Confluence, I A H R, 1973