

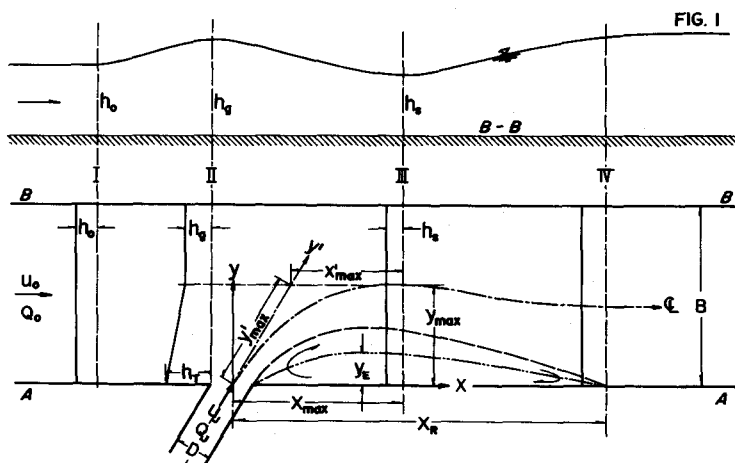
北海道大学工学部 正員 板倉 忠興
学生員 傾藤 晴彦

緒言 著者は第24回年次講演会(昭和44年9月)において、河川合流のモデルとして、一様流中に支流が直角に流入する場合をとり上げ、主流と支流の中の比が合流点の流況におよぼす影響について解析を行なった結果を報告した。¹⁾ 本文は、更に支流の流入角度の影響を加えて考察を行なったものである。支流の流入角度が直角より小さい場合についても、合流点の流況は直角合流の場合にほぼ等しく、同様の解析方法が可能であることを知った。

1. 主流の水面形

図-1は合流点の一般的な特性を示した略図である。主流は常流である。主流の水面形は丁度一様流の中に橋脚等が存在する場合と同様な状態を示す。

i) 断面II: 支流の流入角度を変えて(60°, 45°, 30°)行なった実験の結果からも、横断的な水面形は直角合流の場合と同様に(1)式の関係にあることを知った。



$$h(II) = \begin{cases} h_T - (h_T - h_g) \frac{y}{y_{max}} & (0 \leq y \leq y_{max}) \\ h_g & (y_{max} < y \leq B) \end{cases} \quad (1)$$

断面I(合流点の充分上流)と断面IIとの間での連続の式および比エネルギーは

$$Q_0 = (B - y_{max}) h_g u_g + \int_0^{y_{max}} h u dy \quad (2)$$

$$h_0 + \frac{u_0^2}{2g} = h_T = h_g + \frac{u_g^2}{2g} = h + \frac{u^2}{2g} \quad (3)$$

(1), (2), (3)式から(4)式が得られ、断面Iにおける比エネルギー(h_T)と次にii)で述べる y_{max} (支流中心線の最大貫入中)の値を知れば、断面IIにおける横断的な水面形が得られる。

$$2g(h_T - h_g) \left\{ (B - y_{max}) h_g + \frac{2}{15} (2h_T + 3h_g) y_{max} \right\} = Q_0 \quad (4)$$

ii) 断面Ⅱ： 支流の最大貫入点であり、直角合流の場合と同様に、水深 h_0 は主流中での最小値となつて横断的にはほぼ一様である。

断面Ⅰと断面Ⅱを検査面にとって、 x 方向の運動量および比エネルギーの関係を考えると、

$$\frac{\omega}{2} h_0^2 B + \rho Q_0 u_0 + \rho Q_T u_T \cos \theta = \frac{\omega}{2} h_s^2 B + \rho (Q_0 + Q_T) u_{II} \quad (5)$$

$$h_0 + \frac{u_0^2}{2g} = (h_T) = h_s + (1 + f_s) \frac{u_{II}^2}{2g} \quad (6)$$

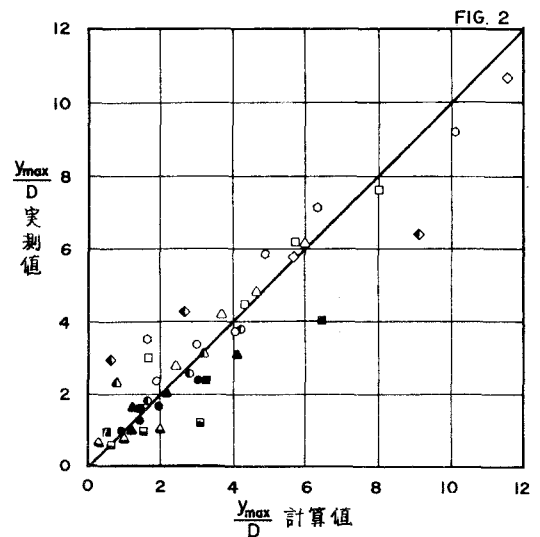
(5), (6)式中の未知数は u_{II} および h_0 であり、これから断面Ⅱの横断的水面形が得られる。ここで u_{II} は断面Ⅱ全体にわたつて考えた、断面平均の流速である。 f_s は平均流速による速度水頭の補正と合流によるエネルギー損失を合わせて考えた補正係数であり、実験結果では $f_s \approx -0.1$ と得た。

また u_{II} と断面Ⅱにおいて支流の影響が小さい $y = B$ 附近の主流の実際の流速との関係は、今回の実験の範囲内（主流と支流の中の比 $B/b = 10 \sim 26$ ，流速の比 $u_T/u_0 = 1 \sim 3$ ）では、流入角度および主流の中による系統的な偏差なしに $\pm 10\%$ の範囲ではほぼ等しい値となっている。

iii) y_{max} ： 支流の中心線を境界と考えて、合流点の直下流では主流の流積が減少し、また、断面Ⅱにおける平均流速 u_{II} に対して支流と主流の流量比に等しいだけ流速が増大すると仮定すると断面ⅠおよびⅡの間の連続の式は、

$$\frac{1}{2} Q_T + Q_0 = (B - y_{max}) h_0 \left(1 + \frac{Q_T}{Q_0}\right) u_{II} \quad (7)$$

以上の仮定を行なつて (7) 式から求めた y_{max} の値を実測値と比較したものが図-2である。図-2から以上の仮定はほぼ妥当と考えられ、これを用いて i) で述べた断面Ⅱにおける横断的な水面形が確定する事になる。



2. 支流中心の軌跡

主流中への支流の最大貫入点までの支流中心の軌跡は、直角に合流する場合は楕円となることは明らかとなっている。¹⁾ 支流が直角より小さい角度で流入する場合について、図-1に示した斜角座標を考え x'/x'_{max} , y'/y'_{max} の関係を図-3に示した。図-3から直角より小さい角度で流入する場合についても、主流と支流との中の比および流量の比の如何にかかわらず斜角座標上で (8) 式で示す楕円の軌跡を描くことを知った。

$$\left(\frac{x'}{x'_{max}} - 1\right)^2 + \left(\frac{y'}{y'_{max}}\right)^2 = 1 \quad (8)$$

直角座標上では

$$\left(\frac{x - y \cot \theta}{x_{\max} y_{\max} \cot \theta} - 1 \right)^2 + \left(\frac{y}{y_{\max}} \right)^2 = 1 \quad (9)$$

(9)式の交流中心の軌跡は、支流の最大貫入点の座標 $y_{\max}$ および $x_{\max}$ の値を知れば確定することになる。 $y_{\max}$ は前述の 1, iii) で得られる。 $x_{\max}$ については、Rouse²⁾ が用いたパラメータに川中の影響をとり入れた前回の報告¹⁾ のパラメータに、更に流入角度の影響を取入れた (10) 式の関係を用いることにする。
(ただし θ は度)

$$\frac{x'_{\max}}{D} = 0.04 \theta^{\circ} \left(\frac{Q_J/D}{Q_0/B} \sqrt{\frac{B}{D}} \right)^{0.7} \quad (10)$$

図-4 は (10) 式と実測値と比較して示したものである。

3. 死水域の形状

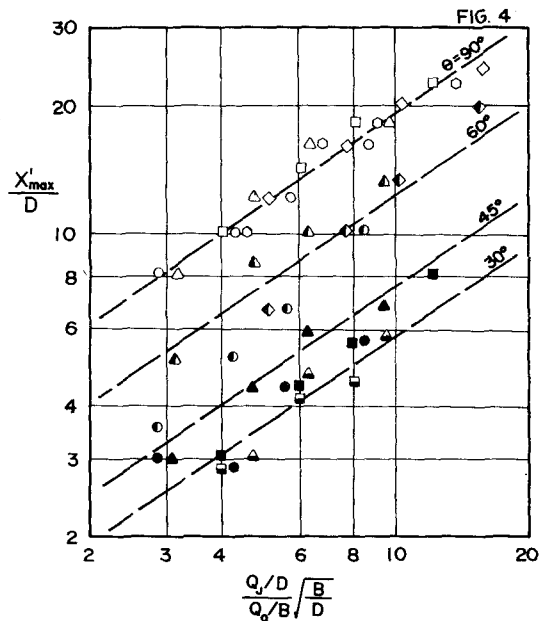
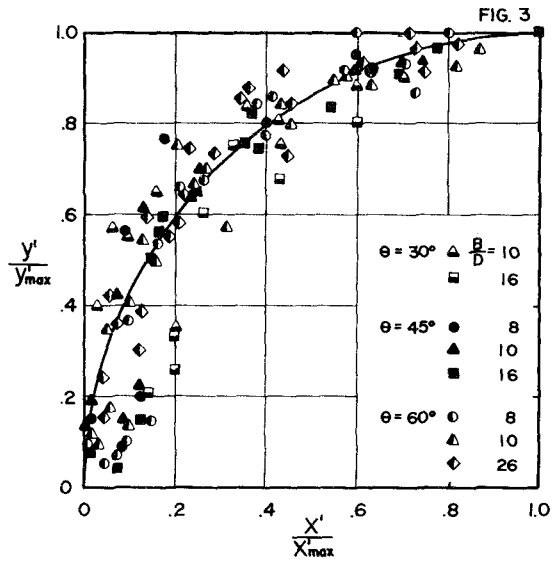
合流点直下流に形成される死水域の形状を表わす代表的な量として図-1 に示すように、Reattaching Point までの距離 x_e と死水域中で流速が 0 となる点までの横断方向の距離の最大値 y_e に着目して、直角合流の場合と同様に実験による解析を行なった。

直角合流に対する前回の報告と同様に、 x_e 、 y_e それぞれに対して (11) 式の関係に適用し、その係数 a 、 b に支流の流入角度の影響を取り入れた。

$$\frac{x_e}{D}, \frac{y_e}{D} = a \left(\frac{Q_J/D}{Q_0/B} \sqrt{\frac{B}{D}} \right)^b \quad (11)$$

係数 a 、 b については、 x_e 、 y_e 、それぞれについて

$$\begin{aligned} x_e: & \quad a = 0.055 (\theta^{\circ} - 35^{\circ}), \quad b = 1.1 + 0.004 (90^{\circ} - \theta^{\circ}) \\ y_e: & \quad a = 0.004 (\theta^{\circ} - 35^{\circ}), \quad b = 1.1 + 0.004 (90^{\circ} - \theta^{\circ}) \end{aligned} \quad (12)$$



死水域の長さとの比 x_R/y_E についてみると、支流が直角に流入する場合と同様に (13) 式の関係となり、死水域の形状は流入角度および主流と支流の中の比に関係なく一定の関係にあることを知った。図-5 は (13) 式と実測値とを比較して示したものである。

$$x_R \approx 14 y_E \quad (13)$$

また今回の測定では、流入角度が 30° の場合は死水域が形成されなかった。

(12) 式の係数 α についてみると、死水域が消滅する境界の角度は約 35° となっている。

ちなみに断面急転の場合の境界層の剥離の限界は、今回の実験のレイノルズ数の範囲では、約 0.2° 以下で非常に小さな値となっている。

4. 合流による主流のエネルギー損失

管路の合流の場合と同様の取扱いとし、断面 I と断面 IV について (14) 式によって実測値から主流のエネルギー損失を求めた。

$$\frac{U_0^2}{2g} + h_0 = (1 - f_r) \frac{U_{IV}^2}{2g} + h_{IV} \quad (14)$$

結果を管路の場合と比較すると、合流による主流のエネルギー損失はいずれの場合も非常に小さな結果を得ている。

本研究について懇切に御指導下さった 岸 力教授 に深く感謝いたします。また有益な討議をいただいた秋田大学土木工学科 石井千太郎 講師 および実験等で協力いただいた当時の当土木工学科学生 高木憲治 君に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 板倉・石井・須藤：河川合流点における流れの機構の研究，第24回土木学会年講，II-49，1969
- 2) Rouse, H : Diffusion in the Lee of a Two-Dimensional Jet, Extracts of Proceedings, IX-th International Congress of Applied Mechanics, Vol. 1, pp 307-315, 1957
- 3) 水理公式集（土木学会編），pp 153-157

