

北海道大学工学部 正員 ○ 板倉 忠興
神奈川県土木部 須藤 靖彦

緒言 著者らは第25回年次講演会¹⁾において、河川合流のモデルとして、一様流中に支流が種々の角度で流入する場合を取り上げ、主流と支流の中の比、流量比および支流の流入角度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も報告した。本文ではこれまでの結果の補足を行ない特に合流点附近の流速分布については、合流が直角に行なわれる場合について提案した噴流拡散の理論の適用方法(第22回年次講演会²⁾)を一部修正して適用の範囲を広げた。

1. 流速分布式

後の記述の利便のためここで H. Gürtler による二次元噴流の解法³⁾を略述する。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \varepsilon \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (1)$$

噴流の中心線 x 上で或る距離 $x = s$ における流速を U_s 、中を b_s とし

$$U = U_s \sqrt{\frac{s}{x}}, \quad b = b_s \frac{x}{s}, \quad \varepsilon = \varepsilon_s \sqrt{\frac{x}{s}} \quad (2)$$

さらに流れ函数を (3) 式のように仮定する。ただし σ は噴流拡散の定数。

$$\psi = \frac{1}{6} U_s \sqrt{s} \sqrt{x} F(\eta), \quad \text{ただし } \eta = \sigma \frac{y}{x} \quad (3)$$

これらを (1) 式へ代入し、噴流中心線上で無限遠での境界条件から以下のようになる。

$$\frac{1}{2} F' + \frac{1}{2} F F'' + \frac{\varepsilon_s}{U_s s} \sigma^2 F''' = 0 \quad (4)$$

$$F^2 + F' = 1, \quad \text{ただし } \sigma = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{U_s s}{\varepsilon_s}} \quad (5)$$

(5) 式の解は $F = \tanh \eta$ であり、 u は (6) 式のようになる。

$$u = U_s \sqrt{\frac{s}{x}} (1 - \tanh^2 \eta) \quad (6)$$

一方、噴流の運動量 J は保存されるものと仮定すると

$$J = \rho \int_{-\infty}^{\infty} u^2 dy = \frac{4}{3} \rho \frac{U_s^2 s}{\sigma} = \rho K \quad (7)$$

従って

$$u = \sqrt{\frac{3K\sigma}{4x}} (1 - \tanh^2 \eta) \quad (8)$$

ところで (1) 式の ε と噴流拡散の定数 σ との関係は、(2) 式、(5) 式、(7) 式、および (8) 式で $\eta = 0$ の関係から

$$\varepsilon = \frac{x}{4\sigma^2} U \quad (9)$$

次に或る距離 x における流速分布を考え、流速が中心流速の $\frac{1}{2}$, $u = \frac{1}{2}U$ となる点 $y = Y$ に着目すると (8) 式より

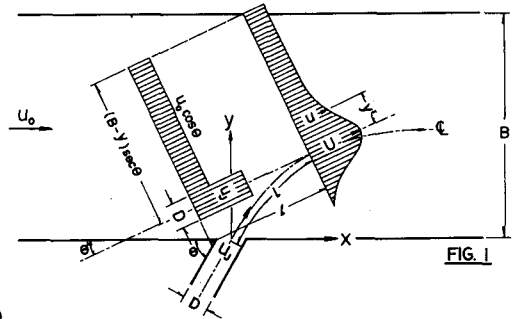
$$\tanh \eta = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{すなわち} \quad \sigma \frac{Y}{x} = 0.8814 \quad (10)$$

結局 (9) 式 と (10) 式 から (11) 式の関係を得る。

$$\epsilon = \frac{1.135}{4.5} Y U \quad (11)$$

2. 合流点の流速分布

合流点における流速分布に対して図-1 のようなモデルを考える。^{2), 4)} 無限小中の噴流の集合が拡散を行なうとし、それぞれの噴流の運動量は保存されるものと考えて、運動量の重ね合わせとして流速の表現を行なう。



$$\frac{u}{A \cdot U_j} = \left\{ \int_{\frac{\sigma}{L}(\frac{B}{2}-y')}^{\frac{\sigma}{L}(\frac{B}{2}-y)} (1 - \tanh^2 \eta)^2 d\eta \right\}^{\frac{1}{2}} + \left\{ \int_{\frac{\sigma}{L}(\frac{B}{2}-y')}^{\frac{\sigma}{L}(L-y')} \left(\frac{U_0 \cos \theta}{U_j} \right)^2 (1 - \tanh^2 \eta)^2 d\eta \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

ただし $L = (B - y') \sec \theta'$

3. 噴流拡散の定数

(12) 式中の拡散の定数 σ は実験によって定めることにするが、今回は次の三つの方法を試みた。

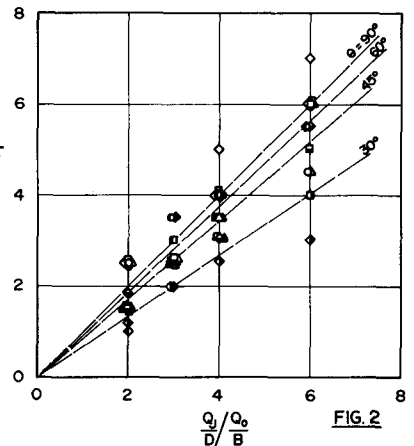
イ) 流速が支流の中心流速の $\frac{1}{2}$ となる点 Y に着目して算出 (死水域側)。

ロ) 流速が支流の中心流速よりも何%が減少する点に着目して算出 (主流側)。

ハ) 支流の中心流速の変化に着目して算出。

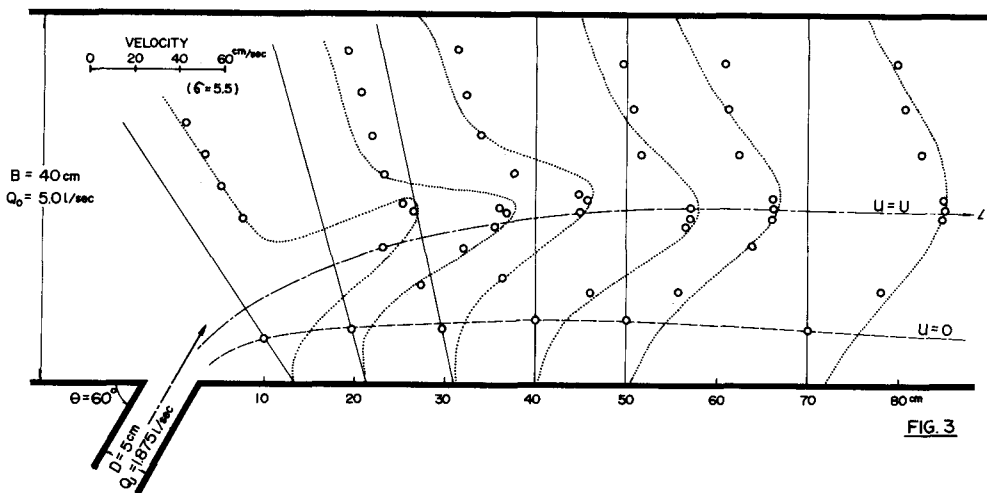
イ) は先の報告^{2), 4)} で試みた方法であり、直角合流の場合に対して $\frac{l}{D} \geq 10$ では $\sigma \propto \sqrt{l}$ なる関係を得ている。この方法では特に合流点直下流に形成される死水域を基準として算出することになり、必ずしも合流点全域の特性を代表するものとは考えにくい。また、昨年度の報告¹⁾ で述べたように、合流角度が 35° 以下の場合には死水域が発生しないことから一般的に適切な表示方法とは考えにくくなった。測定の結果についても合流角度が 90° より小さい場合は直角合流の場合のように明確な相関関係は得られなかった。

ロ) の方法はイ) に比較して主流側の特性をより強く表現することになる。今回は流速が支流中心流速から 20% だけ減少する点に着目して解析を行なったが、結果的には支流の流速がかなり大きい場合でなければ解析が不可能であり一般的指標としては不適当と思われた。



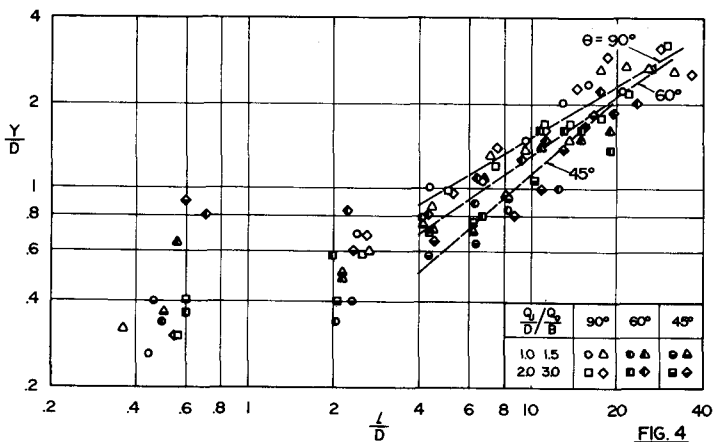
ハ)の方法がこの場合最も適しているようであり、以下にその結果を略述する。

図-2 は δ の実測値を一括して示したものである。一般に δ の値は支流と主流との単位中当りの流量比および合流角度によって大きな影響を受け、川中の比による影響は少ないようである。前述のように直角合流の場合には δ は合流点からの距離 l とともに増大する傾向が見られたが、この傾向は合流角度が小となるに従って次第に不明瞭となること、 δ もしの変数とする数学的な近似を敢て除くこと、さらに実際の計算の際の利便を考慮して、今回は δ の l による変化は考慮しないこととした。すなわち δ の値は支流と主流との流量および合流角度が与えられれば、ひとつの一定値とするものと考えた。図-3 は以上の方法によって求めた計算値と実測値とを比較して示したものである。



(12)式又は(10)式によれば δ の値が小の程支流の流速の減衰は急激であつて、支流の主流中への拡散が促進されることになる。実測の結果は図-2 のように、合流角度が小さい程 δ の値は小さく、また単位中流量比が小の程 δ は小となって支流の拡散が速やかに行なわれることを示している。

例えは図-4 は支流の中を代表する量として、支流中心線から流速が支流中心流速の $\frac{1}{2}$ となる点までの距離 Y の実測結果の一例である。一般に合流角度が小の程、 Y の増大する割合が大となる傾向を示している。なお図-4 に示した Y の値の大ききそのものについては死水域の影響が複雑に現われるようであり、現段階では適当な説明ができていない。また、 Y の値に対する主流と支流の川中の比の影響は明確ではなかった。



δ の値に関しては、著者らの δ の実測値は (12) 式のように無限小中の噴流の集合に対して得られたものであり、単一の噴流について得られた値と直接比較を行なうことは必ずしも適切ではないが、噴流が静止した流体中へ拡散する場合については、実測値として $\delta = 7.5 \sim 12$ が知られている。

これらは著者らの実測値と比較すると11分れも大きな値となっている。すなわち合流点のモデルにおける実測値は11分れの場合も静止流体中のものより小であり、主流が存在するために主流の拡散が見かけ上促進されることを示している。

図-5 は以上の実測値から (11) 式によって E を試算した結果を示したものであり、図中の直線は (13) 式である。

$$E = 5.5 Y^{0.75} \text{ (cm}^2/\text{sec)} \quad (13)$$

N. Brooks⁵⁾ が海洋への流水の拡散についての資料から紹介している

$$E = 0.01 L^{4/3} \text{ (cm}^2/\text{sec)}$$

とすると、基準寸法に対するべき乗の係数は小さな値となっている。

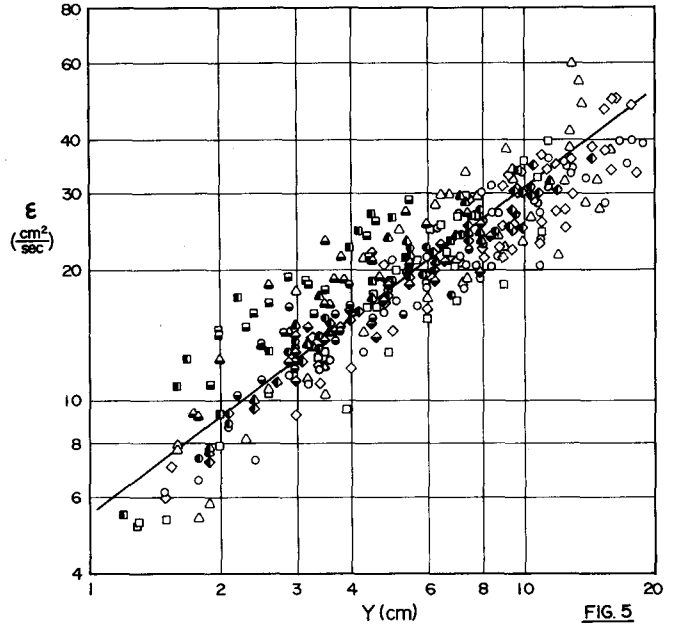


FIG. 5

本研究について懇切に御指導下さった 岸 カ 教授に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 枝倉・須藤：河川合流点における流れの機構の研究，第25回土木学会年講，Ⅱ-49，昭45.11。
- 2) 枝倉・石井・増永：河川合流点における流れの機構の研究，第22回土木学会年講，Ⅱ-72，昭42.5。
- 3) H. Schlichting: Boundary Layer Theory, 4th Ed., pp. 605 ~ 607 など。
- 4) 枝倉・石井：河川合流点における流れの機構の研究，第23回土木学会年講，Ⅱ-82，昭43.10。
- 5) N. H. Brooks: Diffusion of Sewage Effluent in an Ocean-Current, Proc. of 1st Int. Conf. on Water Disposal in the Marine Environment, July 1959, pp. 246 ~ 267, Pergamon Press, 1960.