II-188　合流河川の分散と一次元解析の妥当性

大阪大学工学部　正員　村岡浩爾
大阪大学工学部　学生員　○狭間裕志

序　河川合流点は一次元解析における河道の特異点である。水理追跡など不定流の問題では水位および流速分布が川幅方向に比較的速やかに一様となるため実用的に問題ないが，水質追跡の場合には物質の濃度は川幅方向に混合が緩慢であるため，一次元解析として Taylor の bulk diffusion としての解析が難問となる。本研究では本川，支川の合流モデルで合流後の物質拡散を計測して濃度分布特性を明らかにし，Fischer の convective period と比較して一次元解析の妥当性を検討した。

1　実験装置と水理諸元　実験水路は図−1に示すように水路幅 $B=40cm$ の長方形断面で本川合流角度 θ は本川に対し30°,60°,90°の三種類である。支川に拡散物質としてフルオレセインナトリウム（$C_0=$約3p.p.m.）を上流より連続投入して定常濃度流とし，section 1〜6において横断方向に等間隔に5点採水した。採水は管径約1mmのガラス管採水器で10秒〜20秒かけて行なわれ，トレーサー濃度は蛍光光度計によって得られた。水理諸元は表−1に示す。$p=\infty$ は $Q_R=0$ l/sec, $Q_L=3$ l/sec を意味する。

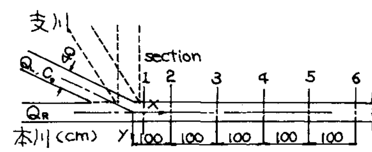

図-1. 実験水路平面図

表-1 水理諸元

本川流量 Q_R	0, 3 l/sec
支川流量 Q_L	1.5, 3, 4.5, 6 l/sec
流量比 $p=Q_L/Q_R$	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, ∞
平均水深H(合流後)	10.0 〜 11.3 cm
フルード数F(合流後)	0.070 〜 0.205

2　濃度分布　合流後の河道6断面で得た濃度分布を，代表として $\theta=30°$ の場合について示したのが図−2である。流量比 p との対比でこの分布形の特徴をまとめると以下の通りである。

(i) $p=\infty$ の場合には合流直後においてほぼ一様な分布形を示している。

(ii) 同じ流下距離を経た地点においては，p が大きい程横断方向によく混合している。

また合流角度 $\theta=60°, 90°$ の場合同様の整理を行なうと，θの観点からの特徴は以下の通りである。

(iii) p が同じ場合，同じ流下距離を経た地点においては θ が大きい程横断方向によく混合している。

(iv) 合流角度 θ には関係なく，$p=\infty$ の場合には合流直後においてほぼ一様な分布形を示している。

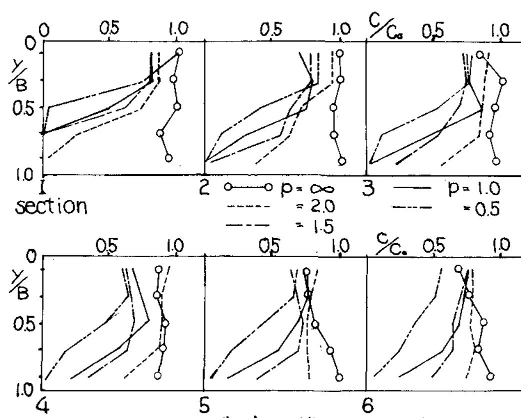

図-2 濃度の横断方向分布

3　分布の歪み係数　合流による濃度分布形は支川側左岸に濃度が高く，本川側右岸に低いという限られた歪み方をする。したがって分布形の歪み程度を示す歪み係数

$$\gamma = \frac{\int_0^B (c-\bar{c})^2 dy}{\bar{c}^2 B} \qquad \text{---------------} (1)$$

ただし　$\bar{c}$：濃度の水路幅平均

を導入するとき，γはいかなる分布形にも適用できるが特に合流後の分布形が幾何学的に類似することからそれをγで量的に評価することが可能と考えられる。この観点から測定分布をγで示すと図−3が得られる。問題は

γの値がいかなる値になれば現象が一次元的とみなせるかという限界値γ_cを定義することであるが、これについて不定流式で用いられる補正係数の考え方を利用する。すなわち流速uが平均流速$\bar{u}$に対し場所的に変化するための補正として周知のごとく、エネルギー補正係数α_1、運動量補正係数α_2、

$$\left.\begin{aligned}\alpha_1&=\int_A\left(\frac{u}{\bar{u}}\right)^3 d\left(\frac{A}{A_0}\right)\\ \alpha_2&=\int_A\left(\frac{u}{\bar{u}}\right)^2 d\left(\frac{A}{A_0}\right)\end{aligned}\right\}\quad(2)$$

を考える。図-4は仮設したいくつかの分布形に対し、

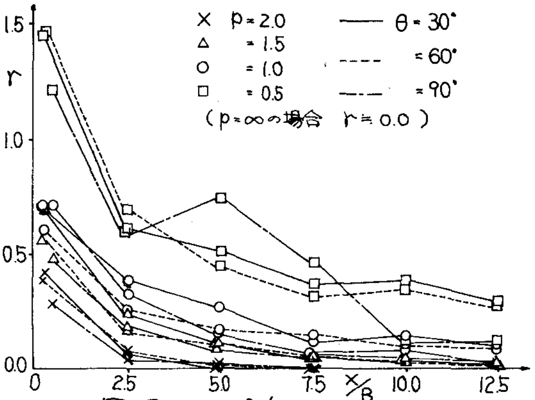

図-3 γの分布

(1)式のCをuに$\bar{C}$を$\bar{u}$に読みかえて得られた歪み係数γについてのα_1,α_2を計算したものである。通常α_1,α_2は約1.1以内で利用されることからそれに対する$\gamma=\gamma_c=0.05$が濃度追跡の無理なく一次元解析できる限界だと推察される。

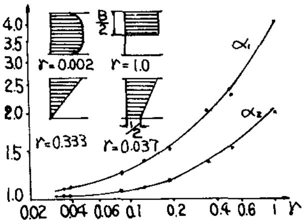

図-4. γに対するα_1,α_2

4 time scaleによる比較　一次元解析の妥当性検討に関するもう一つの方法はFischerによるtime scale理論を参考にすることである。すなわちFischerは拡散源からの初期拡散を横流による歪みが卓越するconvective period、一次元解析がbulk diffusionとして適用できるlater periodに分け、前者を規定するLagrangian Time Scale Tは幅のある水路について次式のように誘導した。

$$T=0.3\frac{l^2}{R\bar{u}_*}\quad\text{--------------}\quad(3)$$

ただし　l:水路の代表長，R:径深，$\bar{u}_*$:摩擦速度

Fischerは物理・数値実験の結果、convective periodの大きさ$t_c=6T$と求めこれは拡散距離にして、

$$L_c=1.8\frac{l^2\,\bar{u}}{R\,\bar{u}_*}\quad\text{--------------}\quad(4)$$

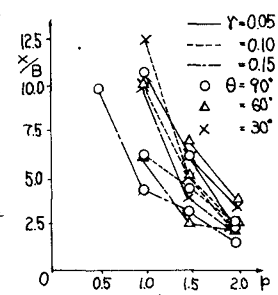

図-5. 拡散距離

となる。今筆者らの実験において、lを水路幅Bとして(4)式によりL_cを計算するとL_c=11.7〜12.6mの値をとった。図-5はγ_cを0.05, 0.10, 0.15と仮定して図-3より読み取った拡散距離を角度θ、流量比pで整理したものである。これによると大体次のようなことが推測できる。

(i) 合流角度、流量比が大きい程拡散距離は短かい。

(ii) $p=2.0$の場合、合流角度によらずほぼ1mの流下距離で一様になっている。

(iii) 拡散距離は1〜5mとなっておりFischerの拡散距離とは相当違った値を示しているが、これはFischerが拡散源を直線水路に与えたのに対し、筆者らは合流角度を持った水路に拡散物質を投入したためで、拡散距離が短かくなるのは当然だと思われる。

5 結論　以上のように歪み係数γを導入することによって、合流後の一次元解析が可能だとみなせるまでの拡散距離を合流角度、流量比について定性的に把握することができた。今後は、拡散距離に合流角度、流量比をどのようにパラメーターとして導入するかが大きな問題になってくると思われる。

謝辞　この研究に関し大阪大学　室田教授より数々の御意見と議論を賜った。ここに厚く謝意を表する。

参考文献　Hugo. B. Fischer: The Mechanics of Dispersion in Natural Streams, 1967