

北海道大学工学部 正員 板倉 忠興

緒言 著者は第26回年次講演会において、開水路合流部の流速分布を求めるために噴流拡散の理論の適用を行なった結果を報告した¹⁾。採用した合流部のモデルは、長方形断面を有するひとつの横方向の流れに対して、或る角度で同じく長方形断面を有する支流が合流するものであり、主流中への支流の拡散係数も運動量の拡散の面から算出していくつかの普遍的な関係を見出した。この結果は分子拡散に相当するものであって流速分布を算出する場合に有効である。

一方、支流からの浮遊物質や汚水等が主流中に拡散する場合などは、その物質が有限の大きさも有しているために分子の拡散よりも抑制された拡散の状態が生ずるはずである。本文は実際に水路内に粒子を投下して物質の拡散係数の測定を行ない、前述の運動量の拡散係数との比較検討を行なった結果を述べたものである。

1. 粒子の拡散

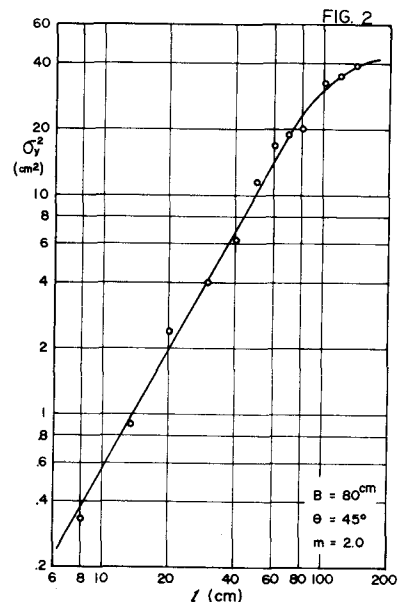
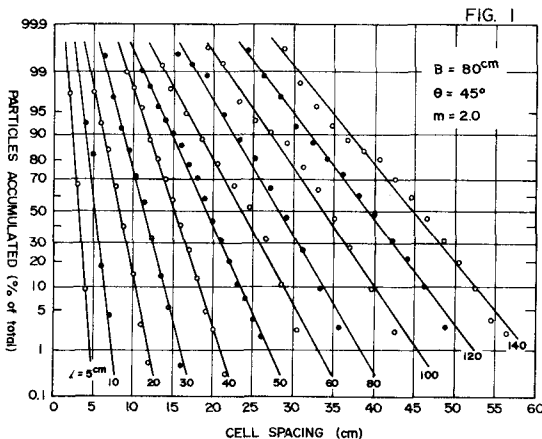
一般に拡散係数 ε は Einstein の表示を用いれば (1) 式で表わされる。

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \frac{d\delta_y^2}{dt} \approx \frac{1}{2} \bar{U} \frac{d\delta_y^2}{dl} \quad (1)$$

ただし、 $\bar{U}$: 平均流速、 δ_y : 粒子の平均的位置から横方向の標準偏差

l : 原点からの距離、 t : 時間

流下させる標的には直全 1.8 mm のパンケくすを用いた。これを支流の流出口に投下し、下流の支流中心線に直角な断面上に間隔が 1 cm または 2 cm の格子の網を水面下約 1 cm まで沈め、パンケくすを捕捉した。水深は約 5 cm であり、従って今回の測定は比較的水面に近い部分に限られている。一断面の測定には 100 ~ 150 個の標的を流下させ、²⁾ これを2回繰返してその合計の



累加百分率を算出した。これを確率紙上にプロットして直線とあてはめ、その勾配から標準偏差 σ_y を算出した。図-1はその一例である。図-2はこの標準偏差から分散 σ_y^2 を求め、合流点からの距離 l との関係を示したものである。

図-2から明らかのように、分散は或る距離までは l のべき乗に比例して増大するが、それ以後は主流中の影響によって拡散が抑制され一定値に近づく傾向にある。この主流中の効果が現われる距離は合流角度 θ が小さい程、また支流の流量が増大する程合流点から下流に遠ざかることが判った。主流中の影響が少ないと考えられる l が10の範囲における σ_y^2 の増加の割合は支流の流量が大の程大となる傾向が見られるが、合流角度による影響は 30° の場合がやや小となっているを除外せばあまり明確ではない。

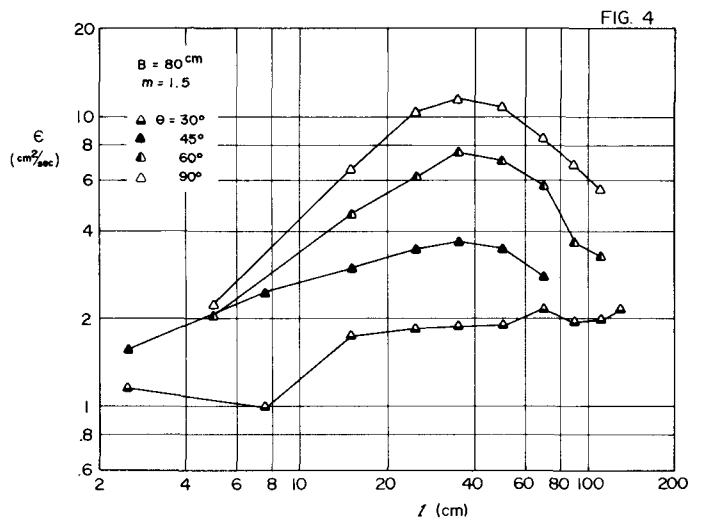
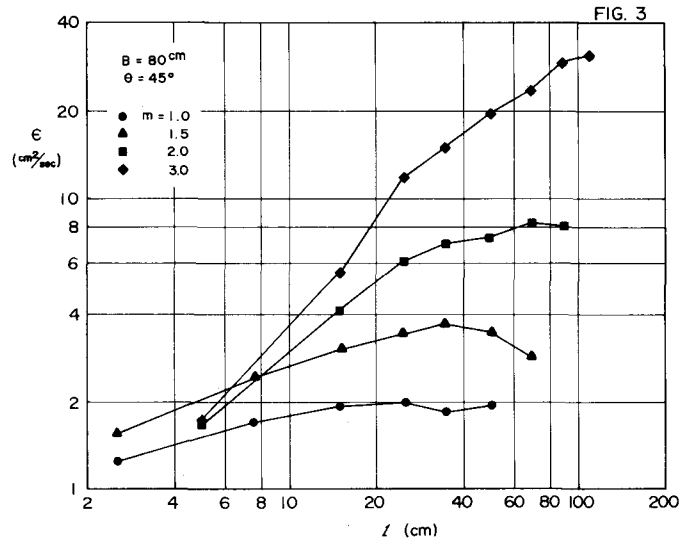
次に(1)式によって拡散係数 E を算出する。図-3は合流角度を一定として支流の流量を変化させた例である。拡散係数は距離 l に増加し或る距離で最大値に達した後、徐々に減少して0に近づくような変化をする。拡散係数の最大値は支流の流量が大の程大きく、さらに最大値に達するまでの距離も支流の流量が大の程大である。

図-4は支流と主流との流量比を一定として合流角度 θ を変化させた例である。この場合は合流角度が大い程拡散係数の最大値が大きくなっている。しかしそれが最大となる距離は合流角度に関係なく一定とみなされる。ただしこの一定の距離は支流の流量が増う程大であることは図-3に関して述べた通りである。

今、図-2で例示したように、主流中の影響を無視できるような領域について考えると、これを両対数紙上の直線の勾配として

$$\sigma_y^2 = M l^N \quad (2)$$

(2)式を微分して(1)式へ代入すれば



記号: $m = \frac{Q_3/D}{Q_0/B}$, Q_3 : 支流流量 (0.6~1.9 l/sec)
 Q_0 : 主流流量 (10 l/sec), B : 主流中 (80 cm)
 D : 支流中 (5 cm)

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \bar{U} M n \ell^{n-1} \quad (3)$$

さらに交流が potential core を通さねば $\bar{U} \propto \ell^{-\frac{1}{2}}$ であるから

$$\varepsilon \propto \ell^{n-\frac{3}{2}} \quad (4)$$

(4)式に(2)式を代入すれば

$$\varepsilon \propto \left(\frac{\delta_+^2}{M} \right)^{1-\frac{3}{2n}} \quad (5)$$

図-2で例示したように今回の実測では $n=1.5 \sim 2$ を得ている。 $n=1.5$ では(5)式から、拡散係数 ε が一定となり、合流角度が 30° の場合のすべての実測値、ならびに $m=1.0$ の場合がこれに相当している。

次に、交流の中心に直角な断面上で流速が中心流速の $\frac{1}{2}$ となる点までの距離 Y を拡散の代表寸法にとって、拡散係数との関係のプロットしたものの一例を図-5に示す。この場合は図-4に示した ε と δ_+ との関係と同様であるが、 ε が最大となる Y は、合流角度と共に大となることがわかる。

2. 運動量の拡散と粒子の拡散

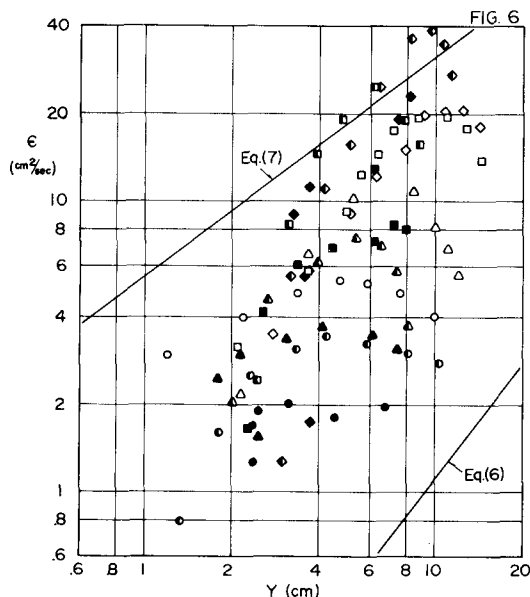
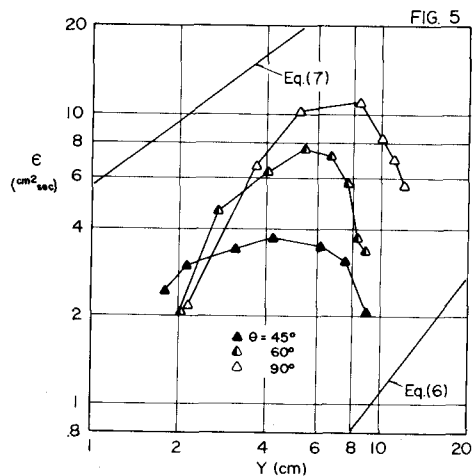
図-6は ε のすべての実測値と Y との関係を示したものである。図-5および図-6中の直線はそれぞれ(6)式および(7)式である。

$$\varepsilon = 0.05 Y^{\frac{4}{3}} \quad (6)$$

$$\varepsilon = 5.5 Y^{0.75} \quad (7)$$

(6)式は静止流体中に噴流が拡散する場合のもの(おろ3,4)、すべての実測値がこれより大となっているのは、主流が存在するために見かけ上交流の拡散が促進されることを示している。

(7)式は合流点の流速分布に対して二次元噴流の拡散の理論を適用し、運動量の拡散係数 ε から ε を試算した結果得られた関係であり¹⁾、殆どすべての実測値が(7)式を下まわっていることは次のように説明される。すなわち、運動量の拡散は言わば分子の拡散であり、他方、粒子の拡散の場合は粒子が有限の大きさを有しているために慣性の効果が入り、さらに粒子より小さい渦はその



拡散に寄与することができないために小さな値となっていると考えられる。

また、運動量の拡散の場合にはすべてが(7)式でほぼ普遍的に表わされたものが、粒子の拡散では合流角度および流量比によって明瞭に区別されることも大きな特徴である。この点も含めて、運動量の拡散係数から物質の拡散係数を推定する場合について、その可能性ならびに実測値との適合の範囲について次のような考察を行なった。

(7)式を得るために用いた関係と(1)式とを等しいと置くと(8)式の関係が得られる。

$$\frac{1}{2} \bar{U} \frac{d\bar{U}^2}{d\ell} = \frac{1.135}{4\delta} \bar{U} \bar{U} \quad (= \varepsilon) \quad (8)$$

(8)式を用いれば、粒子拡散の実測値から運動量の拡散の場合の噴流拡散の定数 δ を算出することが可能である。

結果は zone of flow establishment の領域 ($\ell/D = 5 \sim 20$) では δ の実測値とほぼ一致し、上述の比較を行なうことが有意であることを知った。

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、実験等で協力いただいた当時の当土木工学科学生 佐藤 巧君に深く感謝いたします。尚、本文中の計算には北海道大学大型計算機センターの FACOM 260-60 を使用した。

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26回土木学会年講，Ⅱ-89，昭和46.10。
- 2) 若佐・村本・今本：開水路流れにおける拡散現象について，第7回水講，C-2，昭和37.10。
- 3) Brooks, N.H.: 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.
- 4) 枝倉：河川合流点における流れの機構の研究，第16回水講，pp.7~12，昭和47.2。
- 5) Orlob, G.T.: Eddy Diffusion in Homogeneous Turbulence, Proc. of ASCE, HY9, pp.75~101, 1959.
- 6) 南部：河川水中の自浄作用と汚染度分布に関する研究，京都大学，pp.2-1~2-40，昭和35.9。