

(Ⅲ-3) 開水路水流の粒子拡散について

京都大学大学院 正員 ○村 本 嘉 雄

京都大学大学院 正員 今 本 博 健

要 旨 開水路水流の拡散現象は浮遊砂流および密度流の問題、流入汚水の稀釈問題などにおいて重視されており、従来主として各種境界条件における拡散方程式の解を求める方向に多くの研究がなされてきた。しかし、拡散係数に関してはまだ十分な検討がなされてなく通常、拡散方程式の解と実測値の対応にかつて逆算的に決定されている。本研究では化学溶液の試験粒子を使用して開水路乱流場における拡散現象を実験的に検討し、拡散係数について若干の考察を行なつた。

§ 1・拡散係数

一般に開水路直線流における拡散現象は平均流が一樣流の場合とせん断流の場合に大別され、拡散係数いつぎのように与えられる。

1) 一樣流流域 一点より注入された粒子群を瞬間撮影する場合を対象として、 $w \ll \bar{u}$; $d/dt = \bar{u} d/dx$ の仮定を用い、Taylor の拡散式を変形すると、拡散係数 (D_H) は、

$$D_H = \frac{1}{2} \bar{u} \frac{d}{dx} \overline{y'^2} = \frac{\overline{v'^2}}{\bar{u}} \int_0^x R(\xi) d\xi = \frac{\overline{v'^2}}{\bar{u}} \left\{ d_0 + \int_{d_0}^x R(\xi) d\xi \right\} \dots \dots \dots (1)$$

となる。ただし、 $R(\xi)$ は Euler 相関係数、 d_0 は粒子の直径を表わす。

2) せん断乱流域 二次元等流の運動方程式で渦動粘性係数 ϵ_z を考えると、

$$-\rho \overline{u'w'} = \rho \epsilon_z \frac{d\bar{u}}{dz} = \tau_0 \left(1 - \frac{z}{H}\right)$$

となり、ここで $\bar{u}$ 分布として Karman の仮定にもとづく defect law (本年度年次学会で報告)

$$\frac{d\bar{u}}{dz} = \frac{U_*}{2KH \left(1 - \sqrt{1 - \frac{z}{H}}\right)}$$

を用いると、

$$\epsilon_z = 2KU_*H \left(1 - \frac{z}{H}\right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{z}{H}}\right) \dots \dots \dots (2)$$

が得られる。また Taylor の仮定による断面平均の拡散係数 (D_S) は

$$D_s = \int_0^1 \frac{u_*^2 \int_z^1 \left\{ \frac{5}{6} + \sqrt{1 - \frac{z}{H}} + \ln \left(1 - \sqrt{1 - \frac{z}{H}} \right) \right\} dz}{2 K^2 H \left(1 - \frac{z}{H} \right) \left(1 - \frac{1}{1 - \frac{z}{H}} \right)} dz \dots\dots(3)$$

となる。

§ 2 . 実験装置および方法

実験水路は巾50 cm、深さ50 cm、長さ20 m、路床勾配 1/500 で両側壁 ガラス滑面、路床砂粒粗面のものを使用した。試験粒子を生成する化学溶液としては白ベンキ、ベンゼン、トリクロエチレンを混合し、比重計を併用して水の比重に一致するよう調合した。この溶液をポイントゲージに固定した容量ビンに一定量満し、コックの開閉度合によりピペット先端からの粒子注入速度が流速以下となるよう、また粒子径が一定 ($d_0 = 1 \sim 2 \text{ mm}$) となるように調節した。撮影用照明にはストロボ単閃光を用い、スリットを透して粒子群に一定光束を照射させた。実験は一定流量における流水断面内の流速分布を詳細に測定した後、ピペット位置を各段階に移動して粒子を注出し、それを水路上面ならびに側面より撮影した。

§ 3 . 実験結果および考察

まず一様流の拡散現象を検討するためには流水断面内で一様乱流域を定める必要があるが、本実験ではエネルギー拡散量とエネルギー逸散量が対応する領域における流速分布の速度勾配に着目し、Laufferの実験値をもとにしてその限界を定めた。流水断面内における等流速線ならびに一様乱流域の一例を示す

と図-1のようになる。この領域は Orlob がほぼ同じ断面比 ($H/B \doteq 1/10$) の開水路で自由表面の拡散実験を行つた際に選定した一様乱流域 ($y/B = 0 \sim 0.5$) に対応している。

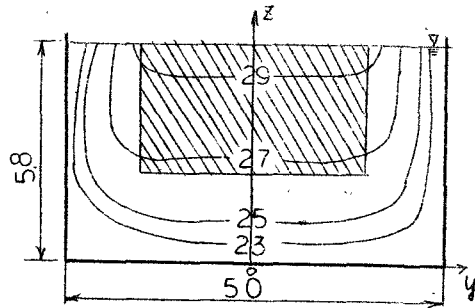


図-1 流水断面内の等流速線 (単位 cm-sec) および一様乱流域 (斜線部)

つきに一様乱流域における(1)式の関

係を吟味すると、理論的には $x \rightarrow x_0$ で $y'^2 \sim x^2$ ($D_H \sim \sqrt{y'^2 x / u}$)、 $x \rightarrow \infty$ で $y'^2 \sim x$ ($D_H \sim \sqrt{y'^2 / u} = \text{一定}$) であ

が、実験値では図-2に示すように、ほぼ $x < 7.0 \text{ cm}$ で $y'^2 \sim x^2$ ($\sqrt{y'^2} \sim x$)、 $x > 7.0 \text{ cm}$ で $y'^2 \sim x$ ($\sqrt{y'^2} \sim \sqrt{x}$) に近似しており、図-3に示す $|v| \sim x$ の関係においても、一様乱流域の実験値 ($y=0, z=5$) では $x \doteq 7.0 \text{ cm}$ を境に速度変動域が著しく減少する傾

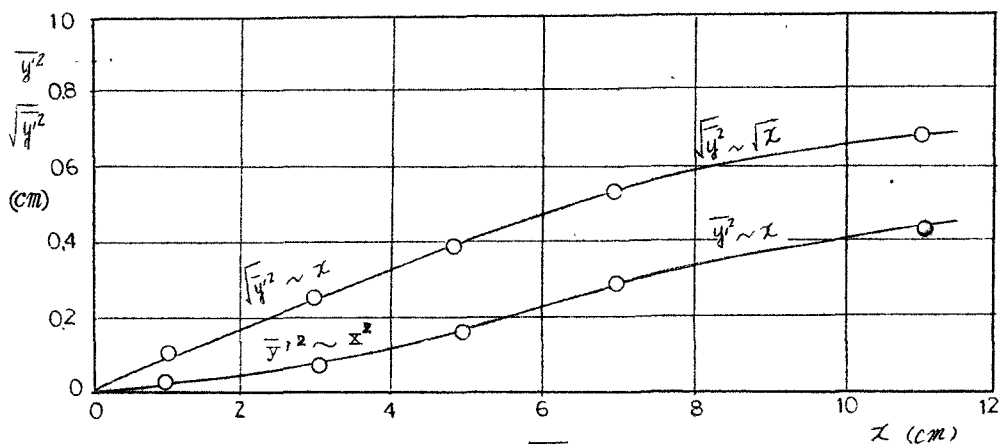


図-2 $y^2 \sim x$ 、 $\sqrt{y^2} \sim x$ の関係

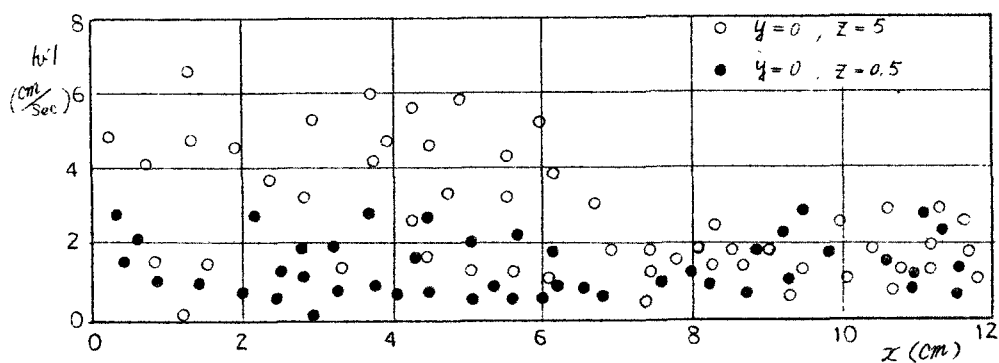


図-3 $|v| \sim x$ の関係

向がうかがえる。なお Kalinske の粒子拡散の実験では $D_H = \text{一定}$ ($y^2 \sim t$) となる範囲を拡散時間 $t > 0.25 \text{ sec}$ と示し、実用的指針を与えているが、本実験の $x > 7.0 \text{ cm}$ は $t > 0.23 \text{ sec}$ と当り、これに近い値となつてゐる。

以上、一様乱流域における実験結果の極く一部について検討したにすぎないが、現在さらに巾 2.5 cm 、深さ 3.5 cm 、長さ 1.4 m の長方形断面、合成樹脂製の水路で行なつた実験結果を整理中であつて、詳細は講演時に報告する。