

京都大学工学部 正員 工博 岩 佐 義 朗

京都大学大学院 正員 工修 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の問題、流入汚水稀釈の問題などで重視されるが、これらの拡散現象は厳密に言えば非等方性の場における現象であるため、その解明は極めて困難である。このため本研究では拡散現象を説明する第一段階として一様乱流域を対象とし自由表面における粒子の拡散現象を観察した。すなわち、水面に各種の粒径のポリエチレン粒子を流し、粒子の軌跡を統計的手法によって解析し、拡散係数に関して若干の考察を行なった。この種の研究としてはすでに G.T. Orlob の研究があるが、本研究では主として粒径の効果ならびに水路中の影響に関する考察を試みた。

1. 拡散係数

拡散係数の定義のしかたには各種の方法があるが、粒子拡散を対象とする場合には拡散に関する Einstein の式と Taylor の拡散理論を用いるのが適している。いま、 $u' \ll \bar{u}$; $d/dt = \bar{u} d/dx$ とすると、Einstein の式は

$$D_y = \frac{1}{2} \frac{d(\sigma_y^2)}{dt} = \frac{1}{2} \bar{u} \frac{d(\sigma_y^2)}{dx} \quad (1)$$

となる。ここで D_y , σ_y^2 はそれぞれ横方向の拡散係数および分散を表わす。

したがって、 x と σ_y^2 の関係がわかれば D_y を求めることができる。(1)式において

$$\sigma_y^2 = m x^n \quad (m: \text{const}) \quad (2)$$

とおくと、次式がえられる。

$$D_y = \frac{1}{2} \bar{u} m n x^{n-1} = \frac{1}{2} \bar{u} m n \left(\frac{\sigma_y^2}{m} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (3)$$

一方、Taylor の拡散式を用いると

$$D_y = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \overline{y^2} = \frac{1}{2} \bar{u} \frac{d}{dx} \overline{y^2} = \frac{\overline{u^2}}{\bar{u}} \int_0^x R_3 dz \quad (4)$$

$$\text{ただし } R_3 = \frac{\overline{u_x u_{x-2}}}{\bar{u}^2}$$

であるから、 $x \rightarrow$ 小的时候 $\overline{y^2} \propto x^2$ 、 $x \rightarrow$ 大小的时候 $\overline{y^2} \propto x$ となることがわかる。このことは(2)式において、 $x \rightarrow$ 小的时候 $n \rightarrow 2$ 、 $x \rightarrow$ 大小的时候 $n \rightarrow 1$ となることを示している。

しかしながら、以上の理論は拡散領域が無限の広がりを持ち、また拡散物質が水流と同様の渦を形成するときに成り立つものであって、開水路流れの粒子拡散においてほつぎの2点で離反すると考えられる。

(1) 水路中によって拡散中が限定されるため、 $x \rightarrow$ 大となるにつれて σ_y は一定値に近づき、また y 方向の粒子の密度分布も正規分布からはずれてくる。

(2) 粒径より小さい渦は粒子の拡散に関与しないと考えると、(2)式の n は粒径によって変化する。

2. 実験装置および方法

実験水路は巾 25 cm、深さ 35 cm、長さ 10 m 路床勾配 $1/500$ で両側面および底面は透明なビ

ニール樹脂滑面である。試験粒子はポリエチレン(比重0.935)製の直径1, 3, 5, 9 mmで厚さはそれぞれ直径の1/2の円盤、およびと同じ直径の球を用いた。この粒子を水面より1 cmの点から水面に落し、投入点より下流25~900 cmまで8点において粒子の横方向の位置を記録した。投入する粒子の数は5gの最大値に注目し、統計学的見地より100個とした。

3.3 実験結果および考察

水面における一様乱流域とLauferの実験と比較して流速分布の勾配から決定すると $y/z = 0 \sim 0.6$ となる(B:水路中)。

まず一様乱流域における粒子の密度分布の正規性を調べるために下流側 x の点における粒子の密度分布を確率紙にプロットした結果、各ケースではほぼ正規分布となっており、このことがわかる(図-1)。

正規性の検定は確率紙によるほか歪度および尖度による検定、 χ^2 分布による検定を行なった。

つぎに粒子の密度分布より計算した標本分散 s^2 と x の関係を示すと図-2のようになる。また $x \rightarrow$ 小に近づくと、 $n \rightarrow 2$ の傾向がうかがわれる。また x が1 m付近において勾配が急にゆるむがにほってあり、 s^2 は一定値に近づいている。これは水路中が25 cmのため変位の大きい粒子が丁度この付近で壁に衝突し、壁付近のせん断流によって変位が限定されるためと考えられる。また粒径の相異による n の変化は明らかでなかったが、これは本実験の水力条件(Re 数: 11.92×10^4)では乱れの渦が粒径に比して大であったことによると思われる。

以上、一様乱流域における粒子拡散実験の極く一部について述べたが、 Re 数の異なるケースについては現在なお実験中であって、粒径の効果、原点近傍の拡散状態、拡散中の縮小する現象に関しては講演時に報告する予定である。

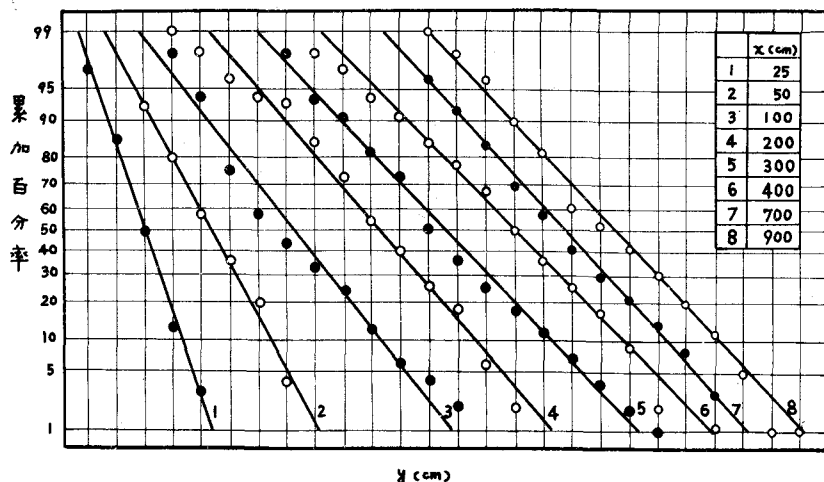


図 - 1

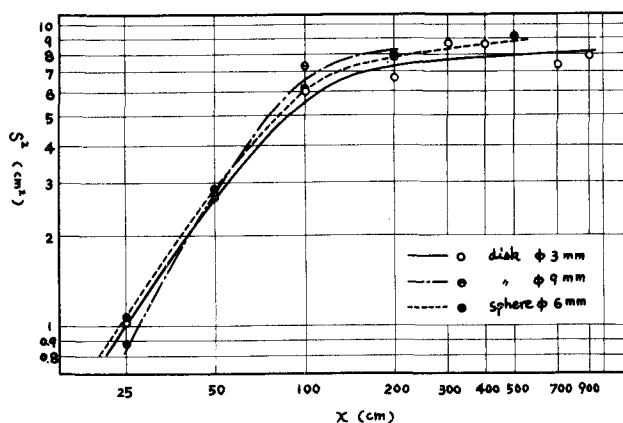


図 - 2