

京都大学工学部 正員 工博 石原 藤次郎

京都大学大学院 正員 工修 〇今 本 博 健

1. 緒 言

開水路流れにおける拡散現象は、多くの工学的分野においてみられるが、その理論的解明には、なおいくつかの問題が残されている。たとえば、拡散の基礎式は、熱伝導論における解法を応用して解かれているが、乱流拡散現象には一般の熱伝導現象と異なる点も多く、熱伝導論の解法を適用するにさいしては、慎重な考慮をばらわねばならない。本研究は、開水路流れにおける拡散現象を解明する第一段階として、定常等流状態の流れにおける定常拡散現象をとりあげ、拡散の基礎式を解くにあたって行なわれている各種の近似化に関し、食塩水を用いた拡散実験によって、若干の考察を行なおうとするものである。

2. 拡散の基礎式

開水路乱流における拡散の基礎式は、拡散物質の保存の条件から導かれる。すなわち、流体を非圧縮性とし、濃度を C 、流速の x 成分をそれぞれ u , v , w とすると、

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

となる。 u , v , w および C は、それぞれ時間的平均値と変動値とに分けると、(1)式は、

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x}(\bar{u}'C') + \frac{\partial}{\partial y}(\bar{v}'C') + \frac{\partial}{\partial z}(\bar{w}'C') = 0 \quad (2)$$

となる。ここで、(3)式のように乱流拡散係数 E を定義すると、(2)式は(4)式のようになる。

$$\bar{u}'C' = -E_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}, \quad \bar{v}'C' = -E_y \frac{\partial \bar{C}}{\partial y}, \quad \bar{w}'C' = -E_z \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x}(E_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(E_y \frac{\partial \bar{C}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(E_z \frac{\partial \bar{C}}{\partial z}) \quad (4)$$

これが、開水路流れにおける拡散の基礎式である。

一般に、(4)式における $\bar{u}$, $\bar{v}$, $\bar{w}$ は位置の、また E は位置と濃度との関数と考へられ、(4)式を解析的に解くことは不可能である。このため実用上、(4)式に各種の近似化が行なわれるが、その方法としては、つぎに示すものが挙げられる。

i) 拡散係数に関する近似化 : 一般に、拡散係数は位置および濃度の関数であるが、その関数形を決定することは困難であり、また、その関数形が決定されたとしても、(4)式の解は複雑になるため、一定として取り扱われることが多い。

ii) 流速および濃度分布に関する近似化 : 開水路流れにおいては、主流方向の流れのみに着目したり、ある方向の濃度分布を無視することにより、拡散現象の次元を減じ、解析を容易にする。以下においては、これらの近似化に関する若干の考察を行なう。

2 実験装置および実験方法

長さ 10 m, 幅 25 cm, 深さ 35 cm, 路床こう配 1/500 のビニール樹脂製滑面直線水路において, 図-1 のように, 定濃度の食塩水を注射針 (φ1 mm) から定速度でもって流れに射出し, 射出点から流下方向に散開所の断面で, 注射針 (φ1 mm) によって水をとり出し, その濃度を硝酸銀による滴定—Mohr 法—, あるいは, 電導度計によって測定した。

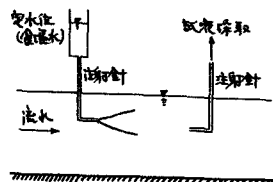


図-1

3. 実験結果および考察

図-2 は実験結果の一例を示したものであるが, この図から下記のことが検測される。

流下距離 x が小さいとき, 等濃度線は, 射出点 ($x=0, y=0, z=3.0$) を中心とする同心円状となっているが, このことは同心円状となっている領域が等方性乱流場に属し, $E_x = E_y = E_z$ であることを示している。

x が大きくなると, 濃度は水深方向にはほぼ一定とみなすことができ, x が大きい領域における拡散現象の一次元的取り扱いの妥当性を示している。また, 拡散係数は x が大きいときには一定と与えられるから, 濃度分布を決定する基礎式は, (4) 式において,

$$\frac{\partial c}{\partial t} = 0, \quad \bar{u} = \bar{w} = 0 \quad (5)$$

となり, さらに, 右辺第 1, 3 項を第 2 項に比し無視したものとなる。

以上は, 拡散物質が水流に完全に追従する場合に成り立つものであって, 拡散物質の濃度によっては, 流体との比重差などにもとづく水流と拡散物質との間の相対運動をも考慮しなければならない。

参考文献

*) 下水道試験法 1953 年版, 日本水道協会, B32.

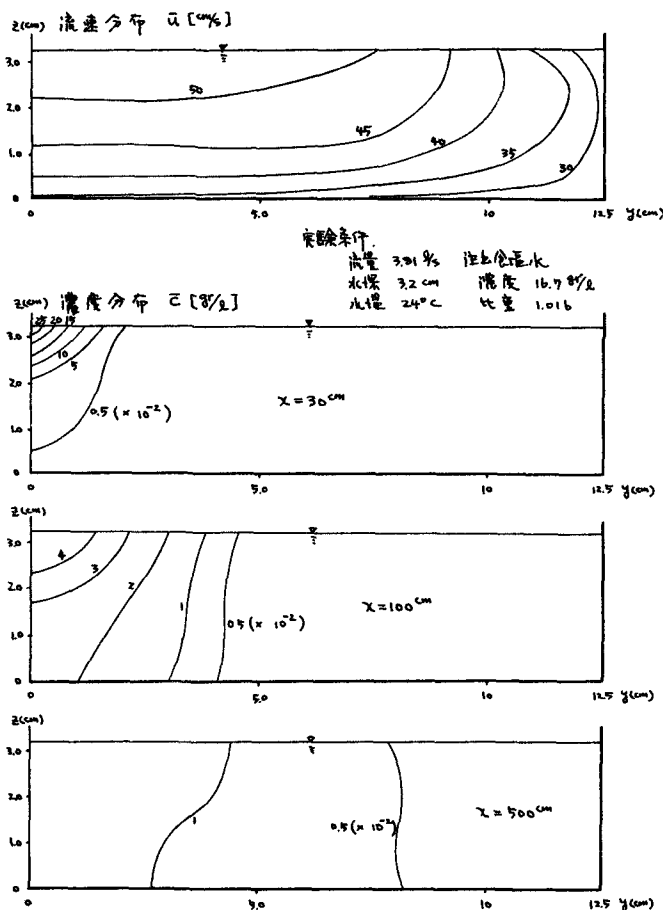


図-2 流速分布と濃度分布の一例