

II-194 拡散現象に関する2、3の考察

早稲田大学大学院 学生員 木村賢二
早稲田大学大学院 学生員 市村知也
早稲田大学理工学部 正会員 吉川秀夫

1. はじめに

流れ場における拡散現象を適切に評価することは、物質の拡散を調べる場合や流れ場のシミュレーション等を行う際に重要な問題となる。しかし実際に拡散現象のみを見積ることは容易でなく、拡散係数に様々な要因を押し込めて拡散として評価しているのが現状である。そのような観点から、本研究においては、実験を通して拡散現象に関する2、3の考察を試みた。

2. 実験概要

河道改修工事等によって、河床勾配の変化が生じた場合、土砂の堆積等の観点から拡散現象の評価が重要になると考えられる。実験ではこれをモデル化したものとして、図1に示す2つの異なる水路床勾配が滑らかに接合されている二次元水路を用いた。水路はア

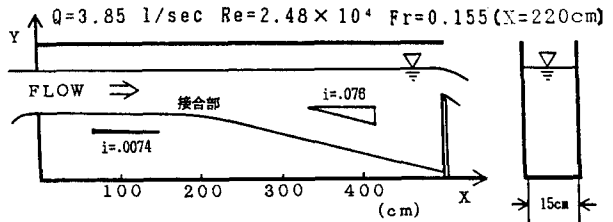


図1:水路概形

クリル製で、寸法及び座標は図に示す通りであるが、底面として径1.6cmのビー玉を密に配したベニヤ板を組み込んだ。実験条件は図1内に示す通りである。流速の測定は2成分ホットフィルム流速計を用いX=190~250cmの区間でX方向に10cm、Y方向には1cmのピッチで行った。同水路における流れ場の概要については先に報告している¹⁾。濃度の測定には透過光量式濁度計によって、染料(メチレンブルー)を用い、流速測定と同様のピッチで行なった。また、染料はX=130cmの水路床から水路幅方向に均一に連続投入した。

3. 実験結果と考察

3-1 移流と拡散(1)

流れ場の移流と拡散との影響の比を調べるために、定常二次元拡散方程式における各項のオーダー比較を行なった。代表値としてX=230cmの平均値を用い、仮に $\varepsilon = 2(\text{cm}^2/\text{sec})$ とすると、(1)式に示す様

$$\frac{\partial}{\partial x} (Cv) + \frac{\partial}{\partial y} (Cv) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon y \frac{\partial c}{\partial y} \right) \quad (1)$$

[20] [10] [1]

$$\frac{C_{i+1,j}U_{i+1,j} - C_{i,j}U_{i,j}}{\Delta x} + \frac{C_{i,j+1}V_{i,j+1} - C_{i,j}V_{i,j}}{\Delta y} = 0 \quad (2)$$

になり、拡散項の影響は移流項の1/10程度であることがわかる。従って拡散の影響を正確に見積るためには移流分の精度を十分高めておく必要があり、移流分の精度が低い場合、移流分の誤差も拡散係数に押し込めてしまう結果となる。更に、(1)式において左辺を0として差分化した移流方程式((2)式)を用いると、与えられた流れ場において、ある基準断面の濃度の実測値 C_i から次の断面の移流分による濃度 C_{i+1} を計算することができる。この計算による濃度と、その断面の実測濃度とを比較したものが図2である。計算値と実測値は比較的一致しているが、若干のばらつきがある。本実験においては、基準断面の値によって移流させた場合と、基準断面と計算断面の平均値による場合と

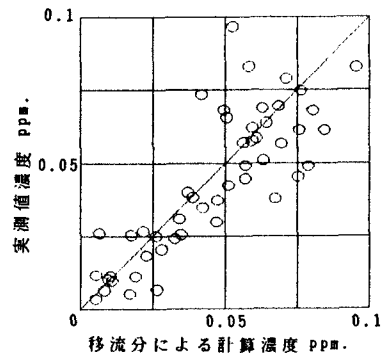


図2:実測値と移流による濃度の比較

ではほぼ同一の結果が得られたため、移流成分の精度は確保されていると言える。従って図2におけるばらつきが拡散によるものであるとして、3-3節以下でその評価を試みる。

3-2 移流と拡散(2)

拡散項と移流項の比較に関する知見を深めるために、文献2)の正方形の風洞による実験データを用い、渦度の移流・拡散について調べた。ある測定断面を基準として、その断面から次の測定断面までの間をコントロールボリュームとすると、移流分のみによる渦度の収支を調べることができ、コントロールボリュームの下流端の渦度分布を知ることができる。実測値と計算値

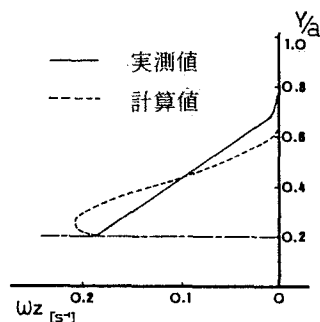


図3: 実測渦度分布と移流による渦度分布

との比較を図3に示す。この図より、この場合にも、移流分のみで流れの概略を知ることが出来るが、それは十分なものではなく、拡散の影響を論ずる余地が残されていることがわかる。

3-3 拡散係数による評価

(1)式の拡散方程式において、適当な拡散係数を与えることにより、3-1と同様の方法で拡散の影響を含めた濃度分布を予測することができるが、このときtry&errorによって実測値と計算値の濃度分布が十分一致する拡散係数を求めることが可能である。この方法によって、実測値と計算値が最も近づいた場合の濃度分布の比較を図4に示す。ただし図4は $x=220\text{cm}$ の断面におけるものである。

3-4 流速変動分による評価

一方、拡散係数を用いずに流速の変動分を直接評価して拡散の影響を調べることを試みる。(2)式の流速成分として平均値 U, V 、標準偏差 u_{rms}, v_{rms} をもつ正規分布を与え、3-1と同様の計算を行なうことにより濃度分布を求めることができる。この方法による濃度分布と実測値の比較を図5に示すが、この場合もよく一致することから、拡散係数を用いずに、流速の変動平均値により直接拡散現象を評価できることが示された。

3-5 拡散係数と長さスケールとの関係

また、拡散係数は、勾配型の定義によって導入された概念であるから、拡散係数と長さスケールとの間には密接な関係があると考えられるが、この関係は、拡散係数を用いた数値計算などを行う際に重要になる。前節までに述べた議論はすべて流下方向長さスケールとして測定断面の間隔である10cmを用いたものであり、また、文献2)のデータの場合には200cmを用いている。現在、それらの長さスケールを変化させたときの拡散係数について検討中である。

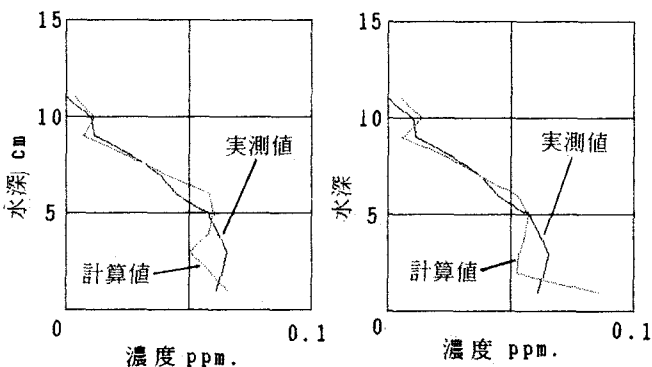


図4: 拡散係数を用いた濃度分布 図5: 流速変動分を用いた濃度分布

4. おわりに

以上、本研究においては拡散についての考察を行ってきたが、拡散係数の合理的な評価法や、拡散係数と長さスケールとの関係等、未だ不明確な部分が多く、また、本研究のように、河床勾配が変化する場合における拡散現象の具体的な解明も課題として残されている。なお、データの解析においては長谷部進一君(早稲田大学大学院)の協力を得た。

(参考文献) 1) 古川、市村、岡本、吉川; 野水池流入部における流れの二次元特性について; 第32回水理講演会論文集 p.p.281-286

2) F.B.Gessner, J.K.Po, and A.F.Emery; Measurements of Developing Turbulent Flow in a Square duct.