

東洋大学工学部 学生員 根本 顕
 ココンサルタント 館 毅
 東洋大学工学部 正員 荻原 国宏・福井 吉孝

1. はじめに

開水路を流下する汚濁物質等の挙動は、移流分散方程式で表わせるが、その方程式は解析的には解き得ず差分等の数値解析によるのみ解けている。しかし、差分を行なう際に移流項の誤差が問題となり、不規則な断面形状をもつ開水路になると、移流分散方程式では数値的にも解くことがはなはだ困難になる。

我々は、その様な不規則な断面形状をもたない開水路での濁質の流下現象をランダムウォークモデルと複合乱数列モデルを組み合わせて再現する。即ち、シミュレーション計算を行なった。

2. シミュレーション法

濁質の主流部の流下は、複合乱数列モデルにより、ただし、凸部内へ入り込んだ後の挙動は、ランダムウォークモデルでシミュレートする。(図5参照)

2-1 凸部内: 混合型合同法により発生させた区間 $[0,1]$ の一樣乱数 (R) を範囲 $[0, \pi]$ に変換し角度 (RA) を求める。

$$X_i = X_{i-1} + \cos(RA) \times ST \quad (1)$$

$$Y_i = Y_{i-1} + \sin(RA) \times ST \quad (2)$$

X_i, Y_i は粒子の移動地点を示す。 ST は Δt あたりの粒子の任意のstep長である。これを凸部内で繰り返し計算し、滞流時間の実測(図2)に一致する ST を決定する。(図3) 滞流時間は凸部内濃度がピークより $1/10$ までの時間とした⁽¹⁾。

2-2 主流部: 等方向一性乱流として排出源からの粒子を Δt 毎に追跡する。たゞ Δt における粒子の移動地点 (X_i, Y_i) 、乱流成分 (U_i, V_i) とすれば、各時間step毎の粒子の移動地点は式(3)(4)である。

$$X_i = X_{i-1} + (U + U_i) \cdot \Delta t \quad (3)$$

$$Y_i = Y_{i-1} + V_i \cdot \Delta t \quad (4)$$

以上、日野⁽²⁾と同様な計算法を用いた。ちなみに、乱子の階級数は5、各階級における乱子の寿命時間はそれぞれ、 $2\Delta t, 4\Delta t, 8\Delta t, 16\Delta t, 32\Delta t$ とし、 Δt は 0.2 sec とした。また、水理条件は、流量 1.0 l/s 、表面平均流速 23.27 cm/s 、水深 3.8 cm 、Froude数 0.38 、Reynolds数 5×10^3 、摩擦速度 2.05 cm/s である。

2-3 境界部: 主流部と凸部間の交換地点は混合領域とし、その内部の粒子の挙動、即ち主流へもどるものの地点、凸部内へ捕捉されるものの地点分布を実測し、関数形で与え図4に示した。また、混合領域の流速は、主流部流速の $1/3$ とした。

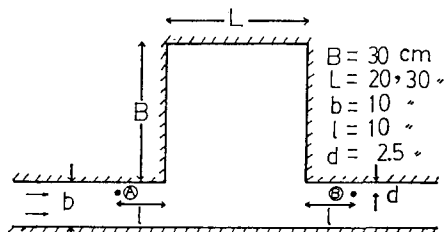


図1. 水路

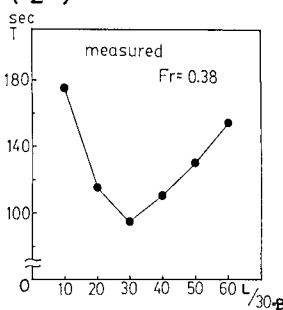


図2. 滞流時間

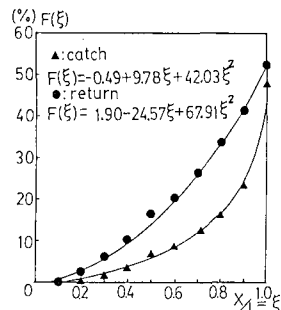


図4. 混合領域条件

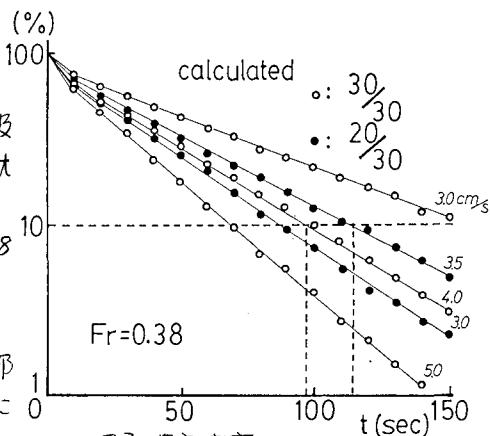


図3. 濃度減衰

3. 結論

実験には現れていないが凸部内に濁質等が取り込まれてから環流に乗り、何回かの循環をした後に主流部へ開放されるものが極少量であるが存在し、その内の何割かは滞留されると思われる。そして、それらが行なわれる間も、巻き上がりや凸部内の隅の渦によって不規則性を多分に伴う。よって、マクロな意味で凸部内をとらえてシミュレーションを行なった。

図1に示す地点Aでの入力に対する地点Bでの濃度を実験値と計算値を図6・7に示した。それらと比較するとB地点でのピーク濃度は、ほぼ一致する。これは、複合乱数列モデルが十分に乱流構造を表現できることを意味している。その以後のtailing現象については、まだ境界部に発生する周期的な渦の影響や凸部内の流速を濃度減衰から求めているというように直接求めない点などの評価に問題が残るため精度的に難がある。以上、改良する余地はまだ残るがこのような水路、即ち、断面形状が変化し死水域を持つ場合における濁質の挙動は、複合乱数列モデルとランダムウォークモデルを組み合わせることによって簡単にシミュレーションを行なうことができる。

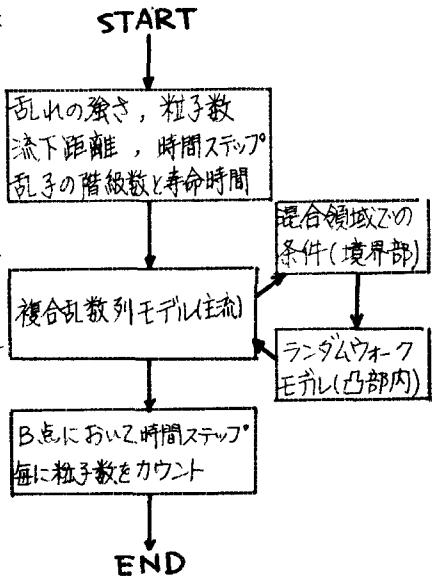


図5. 計算過程

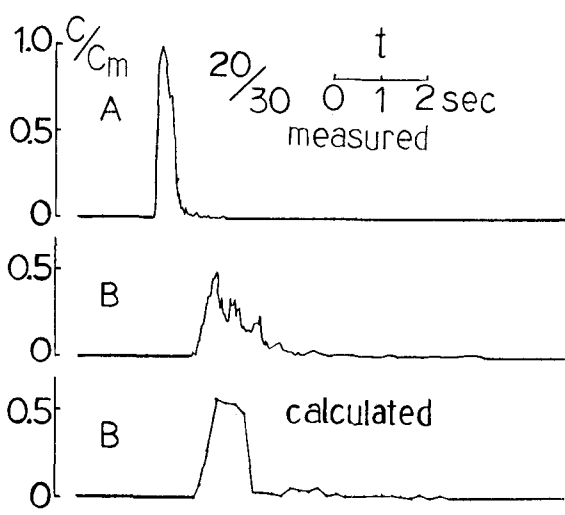


図6. 濃度分布

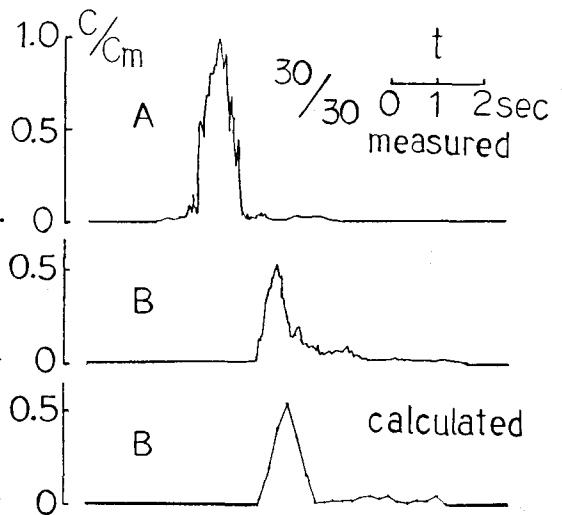


図7. 濃度分布

4. おわりに

今回のシミュレーションは、Lagrange的に直接流に乗った多数の粒子の同時的な運動を追跡したものであり、その粒子は質量を持たず、表層つまり濁質等を想定したものである。よって、底層を想定し、粒子に質量を持たせたシミュレーションを行ないたい。

5. 参考文献

- (1) 根本・荻原・福井：開水路凸型拡幅部における交換速度について
- (2) 日野：モンテカルロ法による乱流拡散の二・三の計算について
- (3) 根本・山本・荻原・福井：凸型拡幅部水路の水理的諸特性について

- 第38回年次学術講演会
第9回水理講演会
第28回水理講演会