

東京大学大学院

学生員 塚原 浩一

東京大学工学部土木工学科

正員 玉井 信行

1. 概要

従来河川の水質に関しては断面平均値による記述が主であり、横断面内の偏差を考慮した例は少ない。本研究では多摩川を例にとり、横断方向の偏差を考慮した平面二次元的な水質モデルについて検討することとし、実測データに基づいた拡散係数の推定及び有限要素法を用いた水質シミュレーションを行った。

2. 分散係数の観測

断面内の流速及び水質分布に関する資料を得るため、多摩川上河原堰下流の多摩川中流域を代表すると考えられる瀬部において現地観測を行った。断面内の約50点において流速及び水質測定を行い、得られたデータに内挿関数を当てはめて断面内の流速及び濃度分布を求めた。得られた等流速及び等濃度線図を図-1, 2に示す。濃度の代表値としては電気伝導度を用いた。流速の鉛直方向分布は鉛直方向距離の2次関数で精度よく近似することができ、2点法による流速測定の妥当性が確認された。また、流速分布を見ると右岸寄りの水面下に流速の大きな部分があり直線水路における従来の観測結果と大きく異なるが、これは断面が連続彎曲部に相当しており二次流の影響が大きかったものと考えられる。参考のための観測点付近の平面図を図-3に示す。

このような分布形を基に、次の2つの定義式を用いて分散係数の推定を行った。¹⁾

$$D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = -\overline{u'c'} \quad (1)$$

$$D_L = -\frac{1}{A} \int_0^B \bar{y}' dy \int_0^h \frac{1}{k_t h} dy \int_0^B \bar{y}' dy \quad (2)$$

ただし、 $(\bar{\quad})$: 断面平均値、 $(\bar{\quad})'$: 平均値よりの偏差、 u : 流速、 c : 濃度、 h : 水深、 A : 流水断面積、 B : 水路幅、 D_L : 縦分散係数、 k_t : 横方向渦動拡散係数、 $\bar{y}' = \int_0^h u' dz$
座標系は、 x 軸: 流下方向軸、 y 軸: 横断方向軸、 z 軸: 水面を原点とする鉛直下向き軸、とする。まず式(1)により D_L を求め、次にこれを用いて式(2)により k_t の値を逆算することにより次の結果を得た。

$$D_L/u_{sk} = 1.8 \times 10^3, \quad k_t/u_{sk} = 1.6 \times 10^2$$

ただし、 u_{sk} : 摩速

これらの値については従来 $D_L/u_{sk} = 50 \sim 500$, $k_t/u_{sk} = 0.23$ のように言われており、今回の結果と大きく異なっている。一方、

同観測地において三沢川合流部付近に浮子を投入し、その軌跡を1粒子拡散と見なして k_t を推定した。この方法による結果は $k_t/u_{sk} = 0.2$ 程度となり、従来報告されている結果と同じオーダーとなった。このような差異が生じた理由としては、平均濃度の流下方向勾配の測定が正確さを欠いていたこと、彎曲部の二次流の影響などが

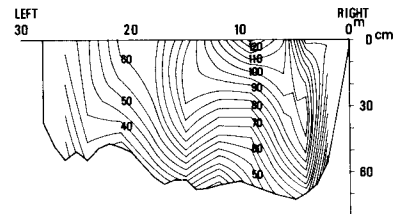


図-1 断面内流速分布 (cm/s)

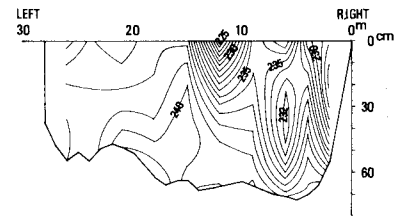


図-2 断面内濃度分布 (μS/cm)

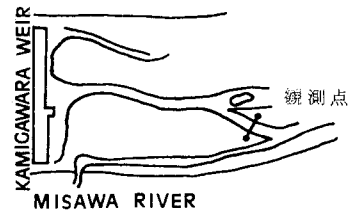


図-3 観測点平面図

考えられる。以上により多摩川中流域の代表値としては、

$$D_L = 2 \times 10^2 u_* h, \quad k_L \approx 2 \times 10^{-1} u_* h \quad (3)$$

程度と考えられる。

3. 平面2次元的な水質シミュレーション

横断方向の偏差を考慮して水質を扱うため、2次元拡散方程式

$$\frac{\partial}{\partial t}(hC) + \frac{\partial}{\partial x}(huc) + \frac{\partial}{\partial y}(hvc) = \frac{\partial}{\partial x}(hk_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(hk_y \frac{\partial C}{\partial y}) \quad (4)$$

ただし、 k_x, k_y : x, y 方向拡散係数、 u, v : x, y 方向流速成分

x 軸: 流下方向軸、 y 軸: 横断方向軸

を有限要素法を用いて解くことにより数値シミュレーションを行った。²⁾条件は次のように考えた。

- i) シミュレーション区間の上流端及び支川流入部では濃度の実測値を境界条件として与え、また河岸では境界を不透過面と仮定した。
- ii) 要素分割は、河川形状をよく反映するように4角形要素とし、また各要素内の近似関数は濃度勾配の連続性を考慮して x, y に関する2次関数を用いた。シミュレーション区間の要素分割を図-4に示す。
- iii) 流下方向の拡散は移流成分による輸送に比べて十分小さいものと考えて無視し、また横断方向の拡散係数は前節の結果を用いた。即ち、 $k_x = 0, k_y = 0.2 u_* h$ とした。
- iv) 横断方向の流速成分は無視し、 $v = 0$ とした。
- v) 定常状態を仮定し、 $\frac{\partial}{\partial t}(hC) = 0$ とした。
- vi) 横断方向の流速分布及び断面形状は3次あるいは4次関数で近似し、流量・水深等の実測データと整合するように定めた。

以上のようにして求めた拡散の様子を図-4に示す。濃度値としてはBODを用いた。排水ZRの高濃度の水塊が徐々に横方向へ広がっていく様子がよく現れている。また、図-5には下流端ZMでの断面内濃度分布を示すが、上流端XMではば一様であった濃度がZMでは右岸と左岸で4倍近い開きが見られる。

4. 結論

本研究を通して次のようなことがわかった。

- 1) 物質輸送の2次元性を考慮する場合、実測データに基づく拡散係数の推定が不可欠であり、現地の状況についてのより豊富な資料が望まれる。
- 2) 濃度の断面内偏差は多くの地点で有意な量に達していると考えられる。河川における物質収支を考える際にはこの因子への考慮も重要であらう。

参考文献

- 1) 玉井信行; 密度流の水理, 技報堂出版, P30, 38, 1980
- 2) Connor and Brebbia; Finite Element Techniques For Fluid Flow, Newnes-Butterworths, 1973

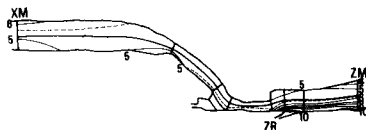


図-4 要素分割及び等濃度線図 (mg/l)

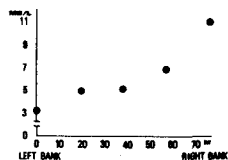


図-5 ZM断面内濃度分布 (mg/l)