

流れ場における底泥溶出物質の拡散実験について

神戸大学工学部 正員 松梨順三郎
○ 神戸大学工学部 学員 大前達朗

まえがき 近年、緩流河川、湖沼、沿岸域での富栄養の進行が社会的に大きな問題となっている。底泥からの栄養塩の溶出は富栄養に大きな寄与をもつといわれるが、その機構は明らかでない。本研究では溶出する栄養塩が「ゆるやかな流れの水域へ」のように拡散していくかに注目し、水路実験および数値解析により、その現象を説明しようと試みた。

表-1 実験水量

流量 cm^3/s	543.2
水深 cm	30.0
水路幅 cm	50.0

表-1 宝隆水理量

流量 cm^3/s	543.2
水深 cm	30.0
水踏幅 cm	50.0
表面流速 cm/s	3.0
水踏床分配	0.0
断面平均流速 cm/s	0.36
1/11L 数	878.3
水温 $^{\circ}\text{C}$	8.5

1. 実験装置 図-1は実験装置の概略を示す。(a)は水路側面図で、長さ17m、高さ0.6m、幅0.5mの長方形断面鋼製水路を示し、アクリル板により、図のように、底部0.1mのかさあげとし、(b)は水路断面図、(c)は面源部の詳細図である。面源は0.5m×0.4mとし、その構成は上面ポリスチレン部、金網、トレーサ(ナチンブル)注入ボックス部、上面アクリル板のボックス部よりなる。トレーサ注入は別系統とし、高所の定水位タンクより所定流量(流量=40.0cm³/s、トレーサ濃度=5PPH)と供給せざるようにした。

2. 実験方法と結果 実験に用いた流れ場の諸量を表-1に示す。水路床勾配 $i=0.0$ 、下流端に堰と設け、水深 $h=30.0\text{cm}$ 、表面流速 $U_0=30\text{cm/s}$ によって、貯水池側の定常な流れ場とした。面源からの定常流出率 $q_0=0.125 \times 10^{-6} (\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ とし、トレーサの注入を開始すると、それは時間の経過とともに水域にひろがり、流れへのつぎつぎと流れていく。本研究ではこのような固定連続面源からの溶出物質の非定常時濃度分布、および時間経過後の定常的な状態でのそれを計測した。図-2は計測点(147点)と面源の位置関係を示す。濃度測定は光学的濃度計(王豊瑞)を用いた。現有資料は(孝子のみ2)あたりの2つのような計測法を用いた。1測点での計測継続時間と40秒とし、溶出開始と時間の起算とし、図-2の3つの測点30, 36, 63の順に1分間隔でセンサーを移動し、6回降流して計測した。図-3の(a), (b), (c)はそれぞれ測点30, 36, 63の時間平均濃度の経時計測結果を示す。図-4は $t=120\text{分}$ の全測点における計測結果であり、濃度分布の空間特性と等濃度曲線により示した。図-3および図-4の濃度値はいずれも40秒間の時間平均値を基礎資料にしている。一方各測点において40秒間における瞬間濃度値の5つは特性を調べた。図-5の(a), (b), (c)はそれぞれ標準偏差、ひずみ度、とがり度の水深方向分布と鉛直断面 $x=80\text{cm}$ (測点30)位置での 140cm (測点36), 200cm (測点63) をローナターとして示した。各測点のデータ数は2000個である。これによると、いずれの鉛直断面にフックと、

Junzabro MATSUNASHI, Tatsuro ÔMAE

水底部の濃度分布はテータのちがいは大きく、正にひずんで
 するどくつかつた分布形をもつてゐるゝとがわかる。
 なおこの傾向は $x=80\text{cm}$ では水底の近く近傍で
 顕著であるが、 $x=140, 200\text{cm}$ にいくにつれて、この傾向
 が上部へ移行してゐるゝとがわかる。

3. 数値解析 現象を二次元とし、計算領域モデル
 を図6のように設定した。初期条件は $C|_{t=0}=0$ とし、境界

条件は S_1, S_2, S_4, S_5, S_6 で拡散流
 束 $q_n = -D_n \partial C / \partial n$ と零、底部 S_2 で
 $q_n = \hat{q}_n$ とした。なおy方向の流速
 $V=0$ とし、x方向流速 U は表面流
 速 $U_s=3.0\text{cm/s}$ と与え、分布形は乃
 流の流速分布式と便宜的に用
 いた。すなわち、

$$U = U_s \cdot (2y/h) \cdot (1 - y/2h)$$

拡散の基礎式とつぎのように設定する。

$$\partial C / \partial t + U \partial C / \partial x = \partial (D_x \partial C / \partial x) / \partial x + \partial (D_y \partial C / \partial y) / \partial y \quad (1)$$

数値計算法として2次元有限要素法を用い、ラグランジュ族二次要素を用いた。図2は要素に
 よる領域分割図(要素数30, 節点数147)を示す。 $C_a = N_\beta(x, y) \cdot C_\beta(t)$, $U_a = N_\beta(x, y) \cdot U_\beta(t)$, $\beta=1, 2, \dots$
 とし、これを式(1)に代入して、定式化し、要素ごとの積分を容易にするために、自然座標系
 ξ, η に座標変換すると次式となる。

$$\int_{\Omega} \left[\dot{C}_\beta \int_{\Omega} N_\alpha N_\beta \det [J] d\xi d\eta + C_\beta \int_{\Omega} \left\{ N_\gamma U_\gamma N_\alpha \frac{\partial N_\beta}{\partial x} + D_x \frac{\partial N_\alpha}{\partial x} \frac{\partial N_\beta}{\partial x} + D_y \frac{\partial N_\alpha}{\partial y} \frac{\partial N_\beta}{\partial y} \right\} \det [J] d\xi d\eta \right] + \Gamma_\alpha = 0 \quad (2)$$

$$\Rightarrow \Gamma_\alpha = \sum_{\beta} \left[\int_{\Omega} N_\alpha \hat{q}_\beta dS \right] \quad (3)$$

とする。空間積分にGauss Legendreの方法、時間積分に
 Crank-Nicholson法を用いて最終的に次式とえた。¹⁾

$$\sum_{\beta} \left[C_{\alpha\beta} + F_{\alpha\beta, k+1} \Delta t / 2 \right] C_{\beta, k+1} = \left[C_{\alpha\beta} - F_{\alpha\beta, k} \Delta t / 2 \right] C_{\beta, k} + \Gamma_\alpha \Delta t \quad (4)$$

表-2は計算に適用した D_x, D_y の組合せを示す。ケース1, 2, 3
 は $D_y=0.50\text{cm}^2/\text{s}$ であり、ケース4, 5, 6は $D_y=1.0\text{cm}^2/\text{s}$ である。

$\Delta t=60\text{sec}$ として計算した。図-3には測定値30, 36, 63における
 濃度の経時変化を各ケースとパラメータとして示した。ケース1が
 最も適合しているゝとがわかる。図-7, 8はケース1と適用した場合の
 $t=5\text{分}, 15\text{分}$ における濃度分布と等濃度曲線を示した。図4
 の実験結果と比較して、 $t=20\sim 30\text{分}$ で定常になるゝとがわかる。

参考文献 1) 松梨順一郎, 藤信明, 大前達朗
 : 流れ場における物質の鉛直拡散について,
 第2回流れの有限要素法シンポジウム, P.127-134, 1980-8, 日科技連盟。

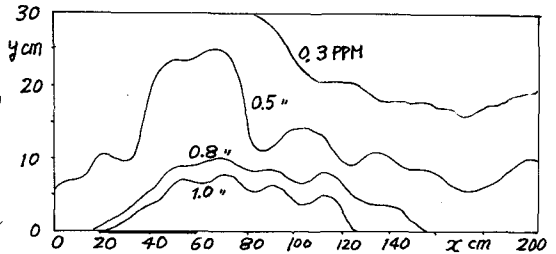


図-4 濃度分布 ($t=120\text{分}$)

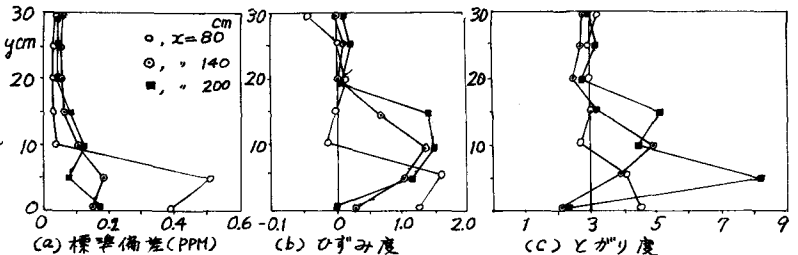


図-5 測定データのちがひ特性

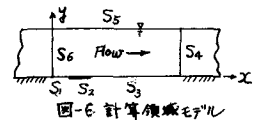


図-6 計算領域モデル

表-2 ケース表

ケース	$D_x \text{ cm}^2/\text{s}$	$D_y \text{ cm}^2/\text{s}$
1	2.5	0.50
2	5.0	0.50
3	7.5	0.50
4	5.0	1.00
5	7.5	1.00
6	10.0	1.00

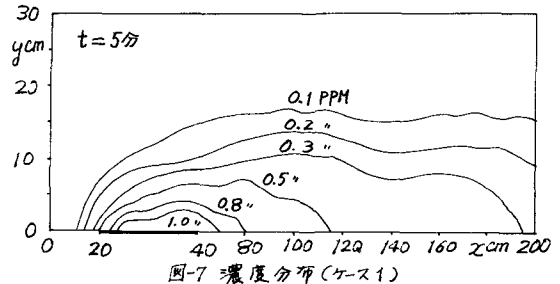


図-7 濃度分布 (ケース1)

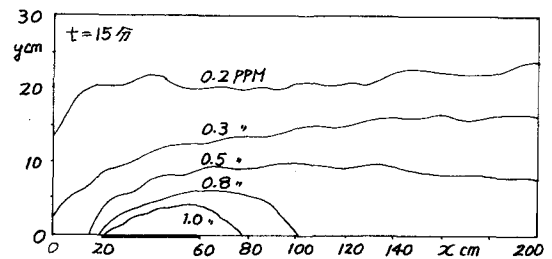


図-8 濃度分布 (ケース1)