

粗大空隙層における移流分散特性

名古屋大学大学院

○ 奥田 卓

名古屋大学助教授 正員

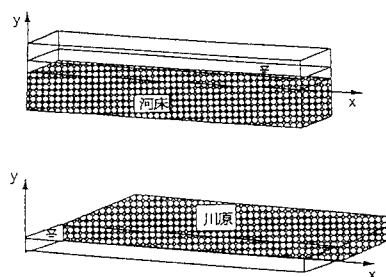
松林宇一郎

名古屋大学 教授 正員

高木 不折

1 はじめに

従来から、河床が砂や礫からなる自然河川では、河床内の流れは、透水性の高い浸透流であり、河川流との著しい相互作用によって、その境界面でのスリップ速度に起因する乱流クエット流れの影響を受けた、浸透層内流速分布を形成するということが明らかにされている。筆者らは、先の研究で¹⁾、その様な流速分布が生成するためには、空隙の流下方向の連続性が必要であることを示した。一方、河川の浄化機能等の議論には、そうした流れ場における物質の移動も大きな問題となる。



そこで本研究では、河床内の粗な空隙層における流れの構造を明らかにするとともに、空隙層内の溶質輸送過程に着目して、溶存物質の移流・分散および混合といった現象を把握することを目的とする。

図1 本研究における空隙層の概念図

2 溶質の輸送を表す移流分散方程式

多孔質体、つまり空隙層内は、均質かつ等方性であり、流れは飽和状態でダルシー則が成り立つものと仮定した場合、2次元移流分散方程式は、式(1)のように表される。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - u \frac{\partial c}{\partial x} \quad (1)$$

ここで、 D_x 、 D_y : x, y方向の移流分散係数、 C : 溶液の濃度、 u : x方向の実質流速、である。

ところで、本研究で取り扱う空隙層内の流速場は、図1にも示したように、2次元でかつ、高い透水性を有し、ダルシー則の線形性が成り立たない可能性を持っている。また、河川流の存在により、境界面を通じて空隙層内へ活発な運動量輸送が行われ、それにより、流速変動が生じている。つまり、式(1)の2次元移流分散方程式の初期条件、および境界条件は、初期濃度 C_i 、トレーサー濃度を C_0 とすれば、次のようである。

初期条件

$$c(x \geq 0, y \geq 0, t=0) = c_i$$

境界条件

$$c(x=0, y \geq 0, t \geq 0) = c_i, \quad c(x \geq 0, y=0, t \geq 0) = c_0$$

$$c(x=\infty, y \geq 0, t \geq 0) = c_i, \quad \left. \frac{\partial c}{\partial y} \right|_{x \geq 0, y \geq L, t \geq 0} = 0$$

(2)

ただし、 L は取り扱う場の長さである。

また、式(1)において、 y 方向に関する項を消去した1次元移流分散方程式を、固定連続放流条件のもとで解くと、次式のように知られた解を得る。

$$\frac{c-c_i}{c_0-c_i} = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x-ut}{2\sqrt{D_x t}} \right) + \exp \left(\frac{ux}{D_x} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x+ut}{2\sqrt{D_x t}} \right) \right] \quad (3)$$

ただし、 erfc は補誤差関数である。本報告では、こうした問題を考える上での第1段階として、1次元の飽和浸透流を対象として実験・解析を行い、1次元の透水係数、移流分散係数を同定し、水および物質の

移動について考察する。

3 1次元移流分散実験

実験は内径20.2cm、長さ50cmの塩化ビニルパイプを8個接続して、長さ4mの円管とし、その中に空隙層として砂利（粒径15～20mm、空隙率0.441）を詰めて行った。図2に概要を示す。

各高水槽はそれぞれ、水道水、およびトレーサーであるNaCl溶液を供給するためのものであり、その流量はバルブを用いて調節できる。この装置にはマンノメーターを設置してあり、動水勾配を求めることができる。また図2に示した①～⑦の各位置には、比電気伝導度測定用の自作プローブをセットした。各プローブは2本の電極からなり、電極間の抵抗をデータ・ロガーにより測定するものである。測定においては、電極の極性が同一であることにより生ずる、

電気分解による界面の抵抗変化をスイッチにより避ける工夫をしている。抵抗と溶液の電気伝導度は別途、検定曲線により求めた。

まず初めに、円管内に水道水を十分に供給し、空隙層を飽和定常状態にした後、突然、水道水の供給をトレーサーであるNaCl溶液に切り換え（ $t=0$ ）、同時に抵抗の測定を開始した。円管末端部からの流出がトレーサーとしてのNaCl溶液と同濃度となったことを確認した後、実験を終了した。

4 実験結果

各プローブで測定した時刻 t におけるSCの値を、水道水およびトレーサーであるNaCl

溶液のSCの値を用いて、 $C^* = \frac{C - C_1}{C_0 - C_1}$ で

無次元化表示した結果を図3に示す。ただし図中の実線は式(3)による破過曲線である

測定値と、式(3)による理論値との間で

最適な移流分散係数 D_x を求めると、 $D_x=86.4$ (cm²/s)となる。Pb-5($x=50$ cm)とPb-14($x=$

250cm)においては、測定値と理論値とが、ほぼ良いフィッティングを示しているが、

Pb-7($x=100$ cm)においては、測定値の方がトレーサーの到達が速く、円管の上流端付近

では、移流の影響が、分散の影響に比べて卓越していることが分かる。

また動水勾配より、この実験における砂利の透水係数 k を求めると、 $k=169.6$ (cm/s)となる。

5 おわりに

本研究では、河床内の粗な空隙層が持つ溶質輸送に関する特性を把握するために、1次元移流分散実験を行い、 D_x および k の値を求めたものである。この結果をもとに、河床付近の流れの構造を明らかにするべく、2次元の移流分散について実験および、考察を行う予定である。

参考文献

- 1) 奥田 卓: 河床における粗大空隙層内の流達場の特性, 名古屋大学工学部土木工学科卒業論文, 1992
- 2) Bear, J.: Dynamics of Fluids in Porous Media, American Elsevier, New York, pp.130-134

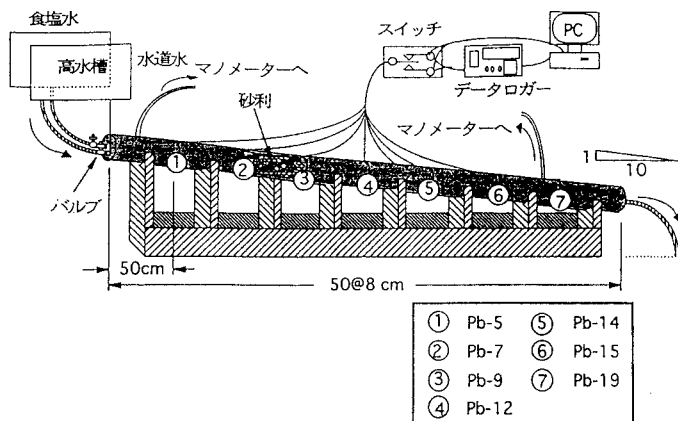


図2 1次元移流分散実験装置

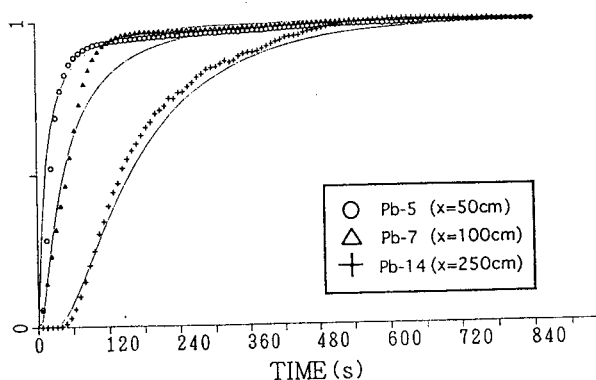


図3 トレーサーのSCの時間変化