

PS II-13

礫で構成された水路床における物質輸送機構と生物学的自浄作用

東京大学工学部 正会員 ○大垣眞一郎

東京大学大学院 学生員 長岡 裕

1. はじめに

礫等で構成された河床における生物学的自浄作用の機構を明らかにするには、礫層における水理学的特性、特に深さ方向の物質輸送のメカニズムを解明し、基質が礫層のどこまで深く供給され得るかを知ることが必要である。そのことによって始めて自浄作用を増大させる目的で水路等に礫を敷き詰めることの有効性を議論することも可能になる¹⁾。本研究では実験水路において導電率計と5組のセンサー、および塩水トレーサーを用いて礫層内の深さ方向拡散係数を測定し、さらに水路において硝化実験をあわせて行い、礫で構成された水路床における物質輸送機構及び生物学的自浄作用について若干の知見を得たのでその概要を報告する。

2. トレーサー実験

トレーサー実験には図1に示すように実験水路を2本用意した。水路は共に循環式の開水路で、中央部にそれぞれ直径1.9cm及び4.08cmの磁製球を最密充填に7層積み重ねた礫層を有している。実験は表1に示す水理条件について行った。

センサーとしては図2に示す様な細いビニール銅線で作ったもの（4電極法）を用いた。このセンサーを5組用意し、図3に示す様に礫層の表面、

1層目～4層目に埋め込み、水路の表流水を循環させながら塩水を瞬間的に投入して礫層表面の導電率変化、及び礫層各深さにおける導電率の応答を測定した。センサーの埋め込み位置を少しずつずらしながら同様の実験を5～10回程繰り返し、各層での導電率変化を平均したものを計算した。その結果の一部を図4に示す。

3. 礫層内深さ方向拡散係数の計算結果

測定した導電率変化に、一次元拡散方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_i \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (C: \text{導電率})$$

(D_i: 拡散係数)

を基にして求めた解析的な解をフィットさせるようにして礫層内各深さの拡散係数D₁、D₂、D₃、D₄（図3参照）を計算した（詳細については文献2を参照のこと）。求めた拡散係数と各水理条件に

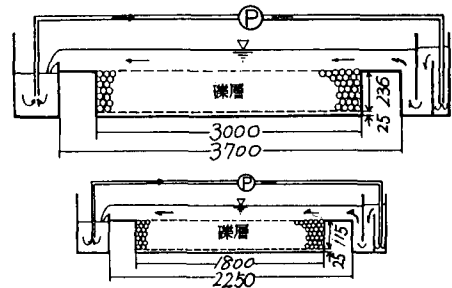


図1. 実験水路の概要（単位 mm）

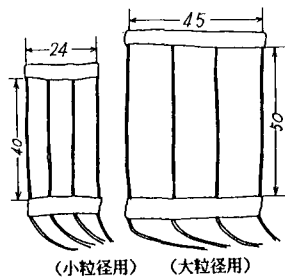


図2. 導電率測定用センサー（単位 mm）

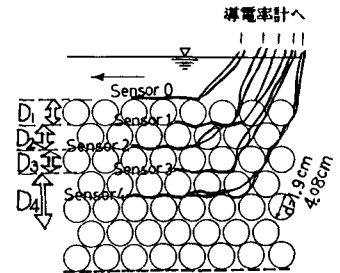


図3. 礫層内センサー設置位置

表1. 水理条件（トレーサー実験）

	粒径 (cm)	平均流速 (cm/s)	水深 (cm)
Case 1	4.08	42.8	6.75
Case 2	4.08	28.0	6.75
Case 3	4.08	21.1	6.75
Case 4	4.08	16.7	6.75
Case 5	4.08	11.7	7.00
Case 6	4.08	8.9	6.75
Case 7	4.08	5.8	6.75
Case 8	4.08	5.5	6.75
Case 9	4.08	3.9	6.75
Case 10	1.90	30.2	3.2
Case 11	1.90	20.3	3.2
Case 12	1.90	11.2	3.2

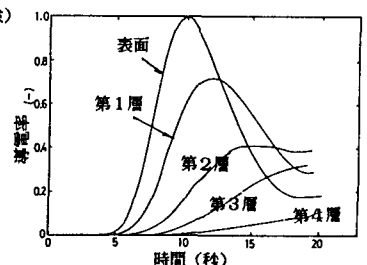


図4. 礫層内導電率変化（Case 10）

における表流水平均流速との関係を両対数で示したものが図5、図6である。これらより、本実験の水理条件の範囲では各層の拡散係数は表流水の平均流速の増加と共に大きくなり、概ね流速に対して 1.5～2 次の関係にあること、および礫層全体の拡散係数の分布の構造はほぼ一定で、表面付近から深くなるにつれて急激に値が減少することがわかる。図7は粒子レイノルズ数（代表長さとして粒径を採ったもの）と第1層における深さ方向拡散係数（ D_1 ）との関係をプロットしたものであるが、粒径の大小と無関係に、 D_1 は粒子レイノルズ数の関数として表現し得ることがわかる。

4. 硝化実験

図1に示した小水路（粒径1.9cm）とほぼ同じ水路に、表2中のCase13の水理条件で約2ヶ月間硝化菌を培養した後、Case14、15、16の順で約24時間の間に次々と水理条件のみ変化させ、それぞれの4条件について水質的定常期における流入基質、表流水の $\text{NH}_4\text{-N}$ を測定した。全Case共に流入基質（ $\text{NH}_4\text{-N}$ を中心とした無機基質）は濃度約9mg-N/l、滞留時間約1.5時間であった。各水理条件毎に流速と礫層における硝化フラックスとの関係をプロットしたものが図8である。この結果より、生物量が一定の条件下においても流速の減少に伴って礫層に付着した生物による活性は減少することが明らかになった。その原因としては、第1に図5～7に示したように流速の減少によって礫層深部への物質（基質）輸送能力が減少し、そのために礫層全体の活性が小さくなったということ、第2に流速の減少が礫層と表流水との境界付近における流れの乱れを小さくし、その結果境界付近に付着した生物膜そのものに対する基質輸送能力が減少してしまったという2つのことが考えられる。

引用文献

- 1) 長岡、大垣(1986)、礫で構成された河床における生物学的自浄作用、水質汚濁研究、9、520-527
- 2) 長岡、大垣(1987)、礫で構成された河床における水理学的特性—深さ方向拡散係数の測定、第21回水質汚濁学会講演集、175-176

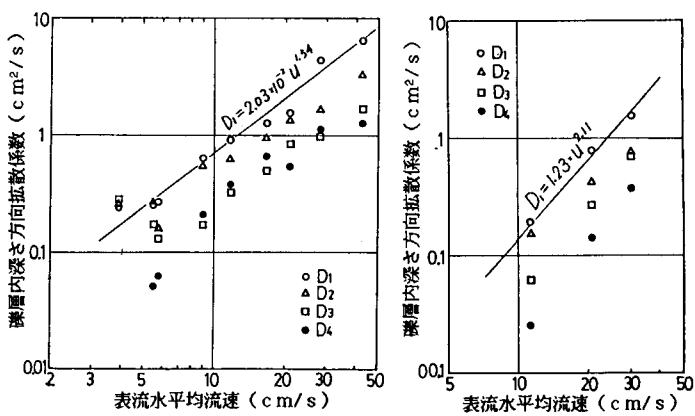


図5. 礫層内深さ方向拡散係数と表流水平均流速の関係（粒径=4.08cm）
図6. 礫層内深さ方向拡散係数と表流水平均流速の関係（粒径=1.9cm）

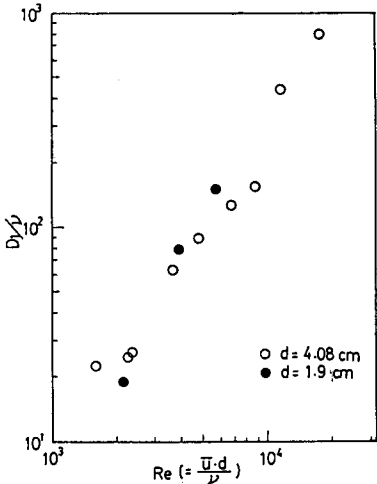


図7. 礫層第1層における深さ方向拡散係数と粒子レイノルズ数との関係

表2. 水理条件（硝化実験）

	粒径 (cm)	平均流速 (cm/s)	水深 (cm)
Case 13	1.90	10.0	9.5
Case 14	1.90	5.0	8.6
Case 15	1.90	2.6	8.7
Case 16	1.90	0.8	8.2

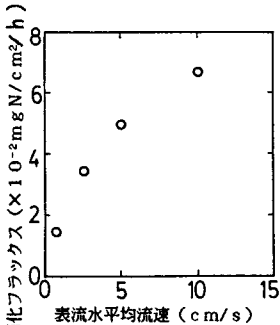


図8. 表流水平均流速と礫層に付着した硝化菌による硝化フラックスとの関係