

東京大学大学院 学生員 ○長岡 裕
 東京大学工学部 正会員 大垣真一郎
 東京大学工学部 正会員 花木啓祐

1. はじめに

河川の自浄作用に関する研究は多いが、礫や岩などで構成された浸透層を有する河床について着目した研究は少ない。そこで本研究では浸透性河床における自浄作用の解明の第一歩として硝化作用をとりあげ、室内水路を用いた実験により、主に浸透層上の流れとの関係において基礎的知見を得ることを目的とする。

2. 実験装置と実験方法

実験装置の概要を図-1に示す。水路は矩型の開水路で、人工の磁製球(直径1.9cm)を7層敷きつめた浸透層を有しており、水路水はポンプによって循環するようになっている。実験は

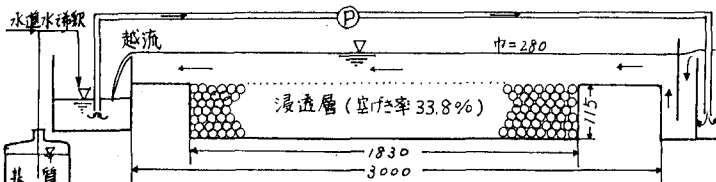


図-1 実験装置の概要 (単位mm)

5種類の水利条件について行なったが各々の条件での水路の諸元を表-1に示す。水路には表-2に示す組成の基質を流入させ、植種後定常に達するのを待ってから、水質条件($\text{NH}_4\text{-N}$ 流入負荷量)を何種類かに変化させて、それぞれの条件下での定常期について採水と分析を行なった。以上を表-1に示した5種類の水利条件について行ない、多様な水利条件と水質条件の組み合わせの条件下での水質データを得た。採水は浸透層の各層毎の7ヶ所(1層目、2層目、……、底)。浸透層表面、表流水、及び流入基質の合計10ヶ所について行ない、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DOの濃度の分析を行なった。水温は25℃前後、pHは7.5~8.0に調節した。

表-1 水利条件毎の水路の諸元

水利条件	CaseA	CaseB	CaseC	CaseD	CaseE
循環流量(l/min)	50	50	112	154	204
* 体積(l)	145	112	121	126	131
表流水深 $h(\text{cm})$	8.7	5.5	6.5	7.0	7.5
表流水平均流速 $u(\text{cm/s})$	3.4	5.4	10.3	13.1	16.2
表流水 $Re (= \frac{u h}{\nu})$	3000	3000	6700	9200	12000

* 浸透層中の空けき水は含まない

表-2 基質組成 (水道水希釈前)

NH_4Cl	CaCl_2	MgSO_4	NaHCO_3	K_2HPO_4	KH_2PO_4	Na_2HPO_4
9.63	1.73	0.69	31.5	1.37	0.54	1.11

(単位 g/l)

3. 実験結果

$\text{NH}_4\text{-N}$ の浸透層単位表面積当りの硝化活性と表流水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度との関係と水利条件毎にプロットしたものが図-2である。これとみると水路全体の硝化反応は大まか一次反応となっており、水利条件がAからEとなるにつれて同じ表流水濃度でも反応が飛躍的に上昇している。図-3は浸透層中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度とそれぞれ表面濃度で除して無次元化した濃度分布を各水利条件毎に平均してプロットしたものである。これとみると濃度分布は表面から2層目までとそれより深い領域とで異なったパターンとみせており、表面から2層目までの領域では濃度分布はなだらかで、それより深い領域で急激に下降するという傾向がある。その特徴はCaseEを除

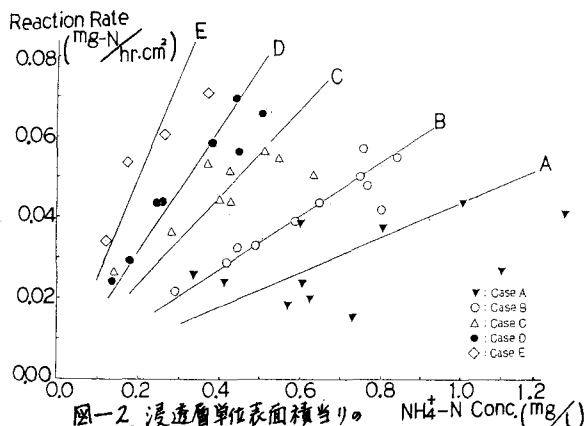


図-2 浸透層単位表面積当りの $\text{NH}_4\text{-N}$ 酸化活性と表流水濃度との関係

いて水理条件がAからEとなるにつれて際立ってくるといえる。
 図-4はCase Eについての実験終了後に浸透層をくずし、各深さ毎の付着生物量(硝化菌量)を測定した結果である。これより硝化菌は表面付近で最も多く付着しており、深くなるに従って急激に付着量が減少することがわかる。尚、浸透層中では脱窒等の反応は起こっておらず、DOの消費は $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ の酸化と収支が大むねとれていた。

4. 考察

図-2で示した様に水理条件の変化によって硝化活性が影響を受けることがわかったが、その理由を考察する。図-2の回帰直線の傾き(一次反応速度定数 k ($-\frac{dC}{dt}=kC$)に水深 z を乗じたものになっている)と表流水の平均流速及びレイノルズ数との関係をプロットしたものが、図-5、図-6である。これだけからでは必ずしも明らかではないが、表流水の平均流速やレイノルズ数の値の増大が硝化活性の増加に何らかの形で影響を与えていることがわかる。再び図-3をみると、水理条件がA~Dの範囲では浸透層の深い部分で基質が不足しており、硝化活性は極めて小さいことがうかがえる。図-4の硝化菌付着量分布からもこのことはうかがい知れる。以上より浸透層の表面付近の1層目が2層目程度の領域のみが表流水の硝化に寄与しており、その領域での活性が表流水の流れの影響で増加したと考えられる。山田、川端及び神田⁽²⁾によると浸透層を有する流れは主流領域、遷移領域、浸透流領域に分けられ、遷移領域では主流の影響を受けた指数関数型の流速分布が存在し、浸透流領域では圧力勾配のみによる浸透流のみが存在するとされている。(図-7参照)このことから遷移領域(本実験の場合表面から1、2層目まで)においては乱流拡散が大きく、十分に基質が表面より供給されるのに対し、それより深い浸透流領域では極めて遅い浸透流による分散のみで、基質がほとんど供給されず、図-3や図-4に示す様な結果が生じたと考えられる。

5. まとめ

浸透性河床における硝化作用は、球の径1.9cm、表流水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度0.1~1.5mg/l、表流水平均流速3~16cm/s、レイノルズ数3000~12000の範囲の条件下では表面から2層目までの領域が、全体の硝化に寄与し、表流水の平均流速等の増加によって乱流拡散が増大し、硝化活性も増えることがわかった。将来は有機物酸化等についても同様の実験を行なうこと、水理条件、特に浸透層の構成物の径、形状等をさらに多様にするなどなどを考えている。

参考文献 (1) 山田正、川端規之：浸透層上の流れに関する理論的研究，土木学会論文報告集 325号1984年
 (2) 神田、若大里、佐伯：透水性河床下の流れに関する実験的研究，土木学会33回年次学術講演会

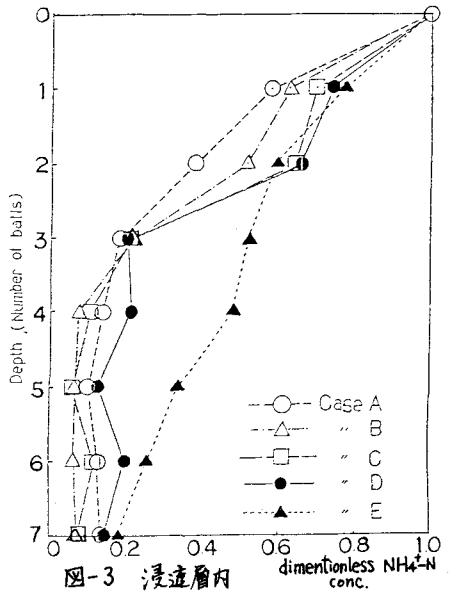


図-3 浸透層内 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度分布の無次元表示

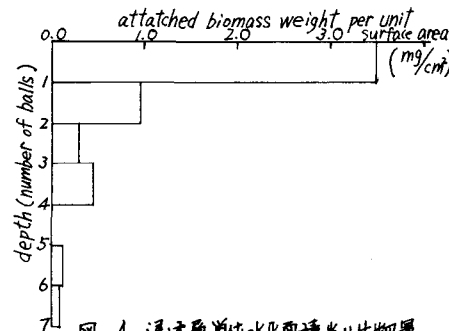


図-4 浸透層単位水平面積当り生物量(乾重量)の分布

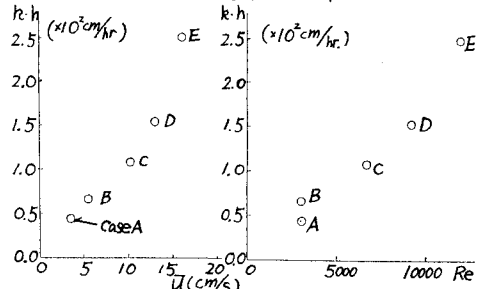


図-5 反応速度定数(k)と平均流速との関係

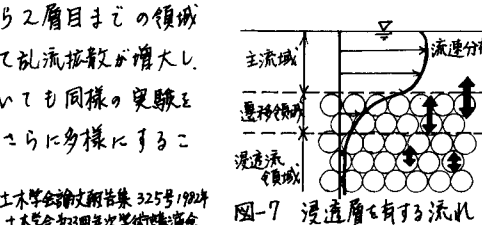


図-6 反応速度定数とレイノルズ数の関係

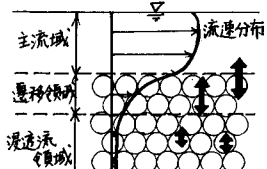


図-7 浸透層を有する流れ