

広島大学工学部 学生員 大村 昭彦
日本道路 飯尾 芳之
広島大学工学部 正員 山口 登志子
広島大学工学部 正員 寺西 靖治

1. はじめに

下水の土壌処理における窒素除去機構には、硝化・脱窒素という2つの重要なプロセスが存在する。本研究は不飽和浸透流における土壌内硝化過程を明らかにする目的で、土壌カラムを用いて NH_4Cl 溶液の定濃度供給実験を行い、窒素成分($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$)のカラム内分布の経日的変化を測定し、考察を加えたものである。

2. 実験方法

実験装置として図-1に示すような塩化ビニルカラム側面に採水装置を5~10cm間隔に取付けたものを用いた。カラムは、5mmのフルイを通したマサ土のみを充填したもの2本と、マサ土に畑土を重量比で1:1%混合したものを充填したもの1本の、計3本のカラムを用いた(C-1, C-2:マサ土のみ, C-3:マサ土+畑土)。使用したマサ土と畑土の理化学的性質およびマサ土の物理的性質を表-1, 2に示す。

NH_4Cl 溶液は電磁定量ポンプを用い、カラム上部に設置した4本の注射針から供給した。供給溶液の組成は表-3に示す。無機炭素源は理論値の1.5倍、PはP/gが0.1となるように添加した。実験はRun 1~6までの6段階行い、各々のRunで定常に達した後、次のRunに移った。実験条件は表-4に示す。装置は恒温恒湿室に設置し、Run 1~3は温度30℃、湿度50%で、Run 4~6は温度20℃、湿度50%で行った。試料溶液は1~3日毎に採水口から真空ポンプで吸引して採水し、3500rpmで5分間遠心分離した後、 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ について分析した。流出水についてはpH, EC, 酸消費量などを分析した。各Run定常期の土壌内のO₂分圧、実験開始前後の土壌中の硝化菌数についても調べた。

3. 結果と考察

1) pH, EC : 流出水のpH, ECはRun 1, C-3についての経時変化を図-2に示す。供給液のpHは8~9である。流出水のpHは各Runの各カラムともにpH 7~8の範囲であった。流出水のECは供給液濃度が高くなるとともに増加した。

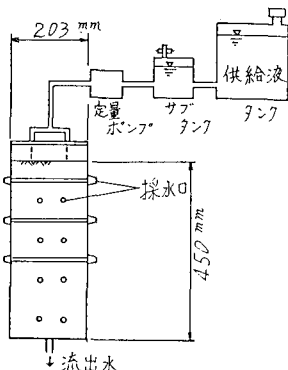


図-1 実験装置

表-2 土の物理的性質

項目	測定値
比重	2.65
含水比(%)	1.1
最大粒径 _(mm)	5.0
60% 粒径	1.62
30% 粒径	0.53
10% 粒径	0.14

表-1 マサ土・畑土の理化学的性質

計量項目	単位	計量値	
		マサ土	畑土
塩基置換容量	me/100g	2.0	—
T-N	mg/kg	25	2200
T-P	mg/kg	370	2700
T-C	(w/w)%	検出なし	2.1

表-3 供給溶液の組成

成分(mg/L) \ Run	1	2	3	4	5	6
NH_4Cl ($\text{NH}_4\text{-N}$)	20	40	60	60	80	120
NaHCO_3	356.4	712.8	1069	1069	1426	2138
KH_2PO_4	8.77	17.55	26.32	26.32	35.10	52.64

表-4 実験条件

Run	供給溶液濃度 ($\text{NH}_4\text{-N}$ mg/L)	供給流量 (mL/h)		
		C-1 マサ土	C-2 マサ土	C-3 混合土
1	20	188 ± 13	296 ± 8	300 ± 17
2	40	183 ± 13	296 ± 4	288 ± 13
3	60	179 ± 13	308 ± 4	292 ± 8
4	60	200 ± 8	308 ± 8	313 ± 17
5	80	204 ± 4	304 ± 8	317 ± 21
6	120	204 ± 13	304 ± 4	288 ± 4

・供給流量は平均±標準偏差で示した。

2) 各N成分のカラム内分布と経時変化 : Run 1, C-3 (混合土) における各N成分のカラム内分布の経時変化を図-3に示す。なお図では MH_4-N 供給濃度を C_0 とし、実測した各N成分濃度を C として相対濃度(C/C_0)を示した。Run 1では畑土を添加し、硝化菌を植植したC-3が最も早く硝化が進み、C-3は10日前後で、C-1, 2(マサ土のみ)は40日前後で定常に達した。Run 1において初期に NO_2-N が検出されたが、その後減少しほとんど検出されなくなった。これはアンモニア酸化細菌の増殖に較べて亜硝酸酸化細菌の増殖に遅れがあるためと考えられる。Run 2, 3では3本のカラムとも深さ5~10cmで硝化はほぼ完了した。Run 4~6は温度を30℃から20℃に変えて行、た。Run 4, 5においてもRun 2, 3とはほぼ同様の傾向を示し、温度による違いは認められなかった。Run 6では3本のカラムとも深さ10cmで硝化はほぼ完了した。

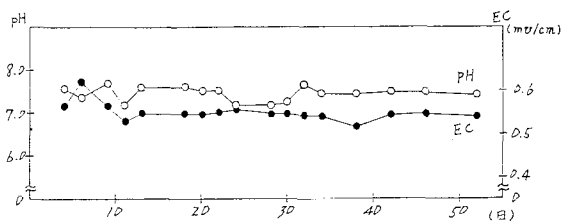


図-2 pH, ECの経時変化 (Run 1, C-3)

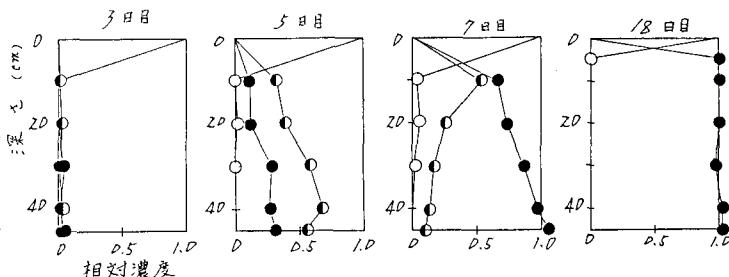


図-3 N成分のカラム内分布の経時変化 (Run 1, C-3)

3) カラム内の O_2 分圧 : カラム内(定常期)の O_2 分圧はN供給量の増加とともに低下し、Run 6ではC-1, 2, 3でそれぞれ16, 12, 8%であった。

4) 反応速度係数の決定 : 本実験で得られたN成分のカラム内定常分布から硝化を1次反応($\phi(C) = -kC$)と仮定する。本実験条件に対応する反応-移流分散方程式の定常解からRun 3について硝化の反応速度係数を求めた。得られた反応速度係数(k), 分散係数(D), 実流速(U)および移流項と分散項との比を表わすPeclet数(Pe)を表-5に示す。 Pe は0.5~0.8で、分散項は無視できない。

表-5 D, U , およびPeclet数

	C-1	C-2	C-3
D (cm^2/hr)	5.4	8.5	7.6
U (cm/hr)	3.6	5.5	5.0
k ($1/hr$)	3.4	4.6	6.8
Pe	0.7	0.8	0.5

5) 硝化菌のカラム内分布 : 実験終了後のカラム内の硝化菌の分布を図-4に示す。図より硝化菌数はほぼ指数函数的に減少していることがわかる。実験開始前のマサ土のアンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌は 10^2 程度、混合土ではそれぞれ $10^4, 10^5$ 程度であった。

4. 反応-移流分散方程式における反応項について

本研究では4)で述べたように反応項に $\phi(C)$ を用いたが、さらに進んで研究を行うためには今までの経験からみて、反応項の時空への依存性をも考慮しなければならない。そこで、 C, x, t への依存性を $\phi(C, x, t) = \phi(C) \cdot \phi(x) \cdot \phi(t)$ とテンソル積の形に仮定し、基質濃度依存 ϕ はミカエリスメンテン型、微生物数鉛直分布 ϕ は指数函数的減少、微生物数発展 ϕ はロジスティックと考えた次式を提案する。

$$\phi \sim \frac{C}{K_M + C} \cdot \frac{e^{-ax}}{1 + e^{-bt}}$$

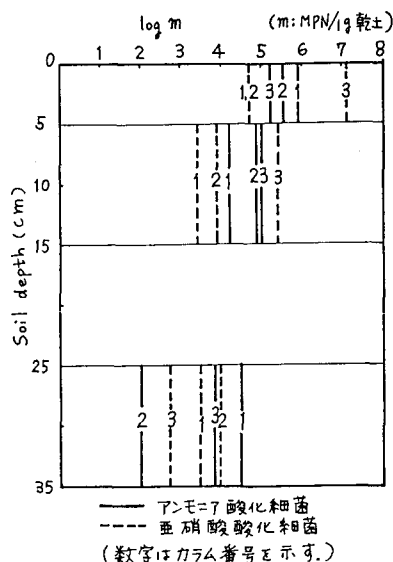


図-4 硝化菌の分布