

広島大学工学部 正 寺西 靖治
〃 〃 ○山口 登志子
広島市 大村 昭彦
日本上下水道設計 小笠原 剛

土壌内浸透処理法における汚水のN除去は主に硝化・脱窒素による(急速浸透法)。筆者らの従来の研究から飽和浸透流においては土壌内脱窒素は比較的容易に進行することが明らかになった¹⁾。そこで、本研究では好氣的条件と考えられる不飽和浸透流において脱窒素がどの程度進行するかを調べる。土壌カラムを用いて KNO_3 溶液の連続供給実験を行い、カラム内の各N成分($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$)の時空分布を測定する。また土の脱窒活性、脱窒菌数、土壌間隙内のガス組成などについても調べ、不飽和流における脱窒について考察する。

実験に用いた土壌カラムを図1に示す。カラム上端より KNO_3 溶液を供給し、図1の各採水口より試料溶液を採取して $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ のカラム内分布を測定した。本実験ではまず供給液濃度を 20 mg/l として3本のカラムを用い、採水間隔をかえてカラム内のガス組成を測定しながら、吸引採水の脱窒素に与える影響を調べた(Run1)。次に3本のカラムへの供給液濃度をそれぞれ 20 、 40 、 60 mg/l とし、Run1と同様の条件で実験を行った(Run2)。実験条件を表1に示す。実験温度は 30°C (湿度 50%)である。供給液には KNO_3 を用い、水素供与体としてメタノールを $\text{C/N}=1.0$ となるよう添加した。土壌カラムへの充填土は、脱窒菌植種により土の脱窒活性を高める目的でマサ土に畑土を 2% 添加した混合土を用いた。充填量は $21.1\sim 26.6\text{ kg}$ (乾土)、空隙率は $39\sim 46\%$ である。土壌内溶液については上述の各 N 成分の分析を行い、流出水についてはさらに pH 、 EC 、 TN 、 TOC 、 DO 、 ORP 、 BOD 、 COD 、酸化還元電位などの分析を行った。カラム内(土壌間隙中)のガス組成(N_2 、 O_2 、 CO_2)、実験前後の土の TN 、脱窒活性、脱窒菌数、含水比についても測定した。

3-1 $\text{NO}_3\text{-N}$ のカラム内分布: Run 2のカラム 2-20 について $\text{NO}_3\text{-N}$ のカラム内分布の経時変化を図2に示す。本研究では $\text{NO}_3\text{-N}$ 供給濃度と C_s とし、実測濃度 (C) を相対濃度 C/C_s で表わした。 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ はほとんど検出されなかったので $\text{NO}_3\text{-N}$ についてのみ考察する。図2に示すように $\text{NO}_3\text{-N}$ はカラム内で徐々に減少している。時間とともに $\text{NO}_3\text{-N}$ 減少量は増加し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 減少率は 60~70 日で約 50% である。カラム 2-40, 2-60 でも同様の傾向がみられたが、この2本のカラムはいずれも実験前後、約70日で目づまりを起し、湛水状態となり、たので実験を中止した。表1に示すように 2-40, 2-60 の供給濃度はそれぞれ 40, 60 mg N/l であり、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の質量フラックスはそれぞれ 3, 6 $\text{g/m}^2\cdot\text{day}$ となる。したがって質量フラックス 3 $\text{g/m}^2\cdot\text{day}$ 以上では目づまりを起す可能性が大きいといえる ($C/N=1.0$)。

Run	column	concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)
	20a	
1*	20b	20
	20c	
	2-20	20
2**	2-40	40

Run 1 では表 1 に示すように各カラムで採水間隔をかえて実験を行ったが、いずれのカラムでも図 2 とほぼ同

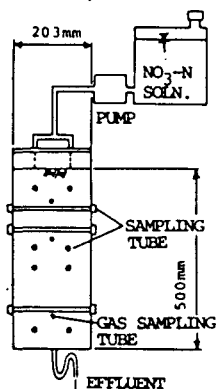


FIG.1 SOIL COLUMN

TABLE 1 DATA OF EXPERIMENT

Run	column	concentration of NO ₃ -N (mg/l)	applica- tion rate (mm/day)	sampling period (day)
1*	20a		150	2-10
	20b	20	140	10
	20c		150	20
2**	2-20	20		
	2-40	40	150	2-8
	2-60	60		

* period of experiment: 84 days
** " : 72 days

様の結果がえられ、とくに吸引排水の影響は認められなかった。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 減少率は30~50%であった。

3-2 カラム内ガス組成: 土壌空隙中のガス組成は図1のガス採取口よりシリリングでガスを採取してガスクロマトグラフにより分析した。表2にRun 2の各カラムのガス組成を示す。 N_2 , O_2 については空気の組成と大差がないが、 CO_2 が1%程度検出されている。

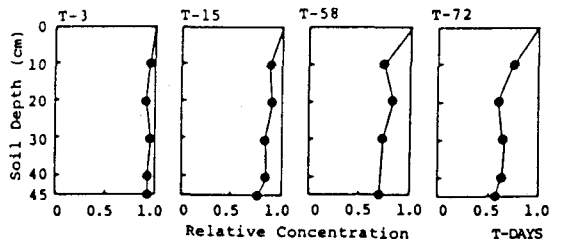


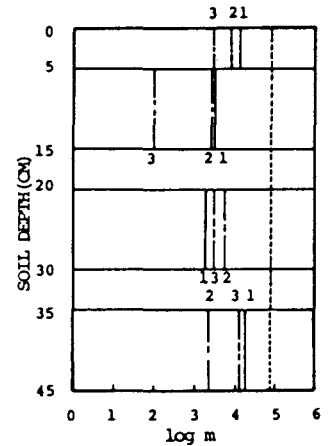
FIG. 2 CONCENTRATION PROFILE OF $\text{NO}_3\text{-N}$ (Run 2, 2-20)

Run 1についても同様であった。カラム内で $\text{NO}_3\text{-N}$ が30~50%減少しているにもかかわらず、 N_2 ガスの増加が認められないのは N_2 ガス発生量が約30 m^3/day 程度($\text{NO}_3\text{-N}$ 減少量を N_2 ガス発生量に換算した場合)と微量であるためと考えられる。本実験における $\text{NO}_3\text{-N}$ 減少は3-1で述べたカラム内分布の経時変化や後述べる種々の測定結果から脱窒と考えることができる。

column	N_2	O_2	CO_2
2-20	76-81	19-21	0.5-1.1
2-40	74-80	20-21	0.3-0.7
2-60	74-81	19-22	0.1-0.6

column	before experiment	after experiment
20a		50-60
20b	20-30	40-60
20c		50-80

3-3 土の脱窒活性・脱窒菌数: 実験前後の土の脱窒活性を表3に示す(Run 1)。脱窒活性は乾土20gに $\text{NO}_3\text{-N}$ 5mgを添加し($\text{C}/\text{N}=1.0$, $\times 10^1$ - ル)。48時間後の $\text{NO}_3\text{-N}$ 量を測定してその減少率を表わした。実験終了後の脱窒活性は0~5, 5~15, 20~30, 35~45 cmの各深さについて測定したが、深さ方向では大差がなかった。Run 2では上層より中・下層での活性が高くなる傾向がみられた。いずれの場合も実験前に比べて実験後の活性は明らかに増大している。図3に脱窒菌数の分布を示す(Run 1)。実験後の脱窒菌数は実験前に比べてやや減少している。



m: MPN/lg (dry soil)
1: 20a 2: 20b 3: 20c
----- before experiment
FIG. 3 DISTRIBUTION OF DENITRIFIER (Run-1)

3-4 脱窒反応速度: 本研究では反応特流分散方程式による実験データの解析を試みたが、脱窒反応を単純な0次、1次反応あるいはMichaelis-Menten型反応式で記述できないことがわかった。そこで反応特流分散方程式の差分式を用いて反応項(脱窒反応速度)を計算した。 $\text{NO}_3\text{-N}$ の実測値をスプライン補間し、 $\Delta x = 5 \text{ cm}$, $\Delta t = 1 \text{ 日}$ として各格子点での反応速度を求めた。えられた反応速度の時空分布の1例を図4に示す。

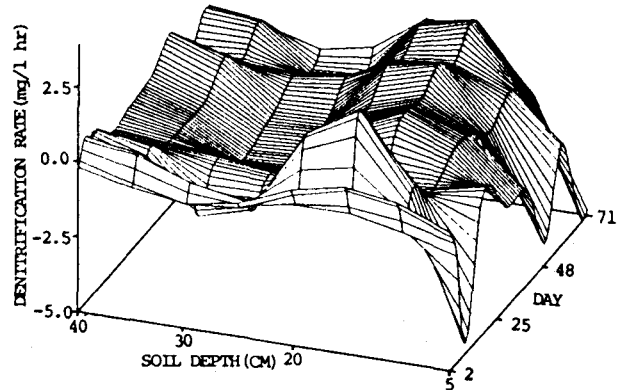


FIG. 4 EVOLUTION OF DENITRIFICATION RATE (Run-2, 2-40)

3-5 土のTN: 土のTNは実験前後で大差なく($1.1 \sim 3.8 \times 10^2 \text{ mg/kg}$), 土へのNの蓄積は認められなかった。

4. まとめ

本研究で得られた結果は次のとおりである。

- 1) 不飽和流において30~50%の脱窒率がえられた。
- 2) $\text{NO}_3\text{-N}$ の質量フラックス $3 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 以上($\text{C}/\text{N}=1.0$)では目づまりと生じる可能性が大きい。
- 3) えられた脱窒反応速度の値は $-5.0 \sim -2.6 \text{ mg/l} \cdot \text{hr}$ である。

参考文献) 山口・寺西; 「飽和流における土壌カラム内脱窒集」, 下水道協会誌, 22 (249) p.55~59 (1985)