

II-536 下水土壌処理における脱窒速度の ステップ応答解析

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
 神戸市 松木 靖
 広島県 木村 成弘

1. はじめに 土壌カラムを用いた KNO_3 溶液の連続供給実験（飽和流）において、窒素供給濃度の段階的变化に対する脱窒速度の応答を明らかにするとともに、脱窒速度に与える諸因子の影響についても考察する。

2. 解析方法 本研究では、岡崎¹⁾、本田²⁾による実測データを用いた。実験条件を表1に示す。ここで、カラムC-1～C-3は窒素供給濃度を20, 40, 60 mg/lと段階的に変化させている。カラムDM20, DM40, DS20については窒素供給濃度を段階的に変化させていないので、温度の影響を比較するために解析した。また、使用した土壌は、カラムC-1, C-2はマサ土のみ、カラムC-3, DM20, DM40はマサ土と畑土（2%）の混合土、DS20は砂と畑土（2%）の混合土である。この実測データを直線補間あるいはパラボリック補間し次式に示す反応移流分散方程式を差分化した式により脱窒速度を求める。このときの差分間隔は、深さ方向が5 cm、時間方向が1日である。

$$\Phi_{i,n} = \frac{C_{i,n+1} - C_{i,n}}{\Delta t} + u \cdot \frac{C_{i+1,n} - C_{i-1,n}}{2 \cdot \Delta x} - D \cdot \frac{C_{i+1,n} - 2 \cdot C_{i,n} + C_{i-1,n}}{(\Delta x)^2}$$

ここで、C；基質濃度，u；間隙内平均流速
 D；分散係数， Φ ；基質生成速度（脱窒速度）
 x；土壌内距離，t；時間， Δx ， Δt ；差分間隔である。また， $i \Delta x$ ， $n \Delta t$ における基質濃度を $C_{i,n}$ ，脱窒速度を $\Phi_{i,n}$ とする。このとき、直線補間とパラボリック補間とは脱窒速度の値はほとんど差がみられないので、脱窒速度と諸因子との関係については直線補間の値を用いて考察する。

3. 結果と考察 まず、脱窒速度の時間分布を示す。図1がカラムC-1の20℃における時間分布で、図2がカラムC-1の30℃における時間分布である。そして、図3がカラムC-3の20℃における時間分布である。このカラムC-3の30℃における時間分布は20℃のときと同様であった。脱窒速度は5 cmより深いところではほとんど0となっているので、深さ5 cmのときの脱窒速度のみを示した。これらの図から、脱窒速度は、窒素供給濃度の変化に対しステップ応答を示し、

表1 実験条件

column	temp. (°C)	days	concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l)	mean discharge (l/day)	u (cm/day)	D (cm^2/day)
C-1	30	27	20	4.3 ± 0.9	57.6	50.4
		25	40	4.5 ± 0.9		
		27	60	4.7 ± 0.9		
C-2	30	27	20	7.2 ± 0.6	86.4	110.4
		25	40	6.6 ± 1.5		
		27	60	6.7 ± 0.6		
C-3	30	27	20	7.2 ± 0.4	79.2	139.2
		25	40	6.4 ± 1.4		
		27	60	6.9 ± 0.5		
C-1	20	34	20	4.8 ± 0.1	57.6	50.4
		18	40	4.9 ± 0.2		
		13	60	4.7 ± 0.2		
C-2	20	34	20	7.2 ± 0.2	86.4	110.4
		18	40	7.3 ± 0.1		
		13	60	7.2 ± 0.2		
C-3	20	34	20	7.3 ± 0.3	79.2	139.2
		18	40	7.0 ± 0.1		
		13	60	7.2 ± 0.1		
DM20	10	120	20	4.8 ± 0.1	69.6	169.0
DM40	10	120	40	4.8 ± 0.2	49.2	100.0
DS20	10	120	20	4.8 ± 0.1	54.5	209.0

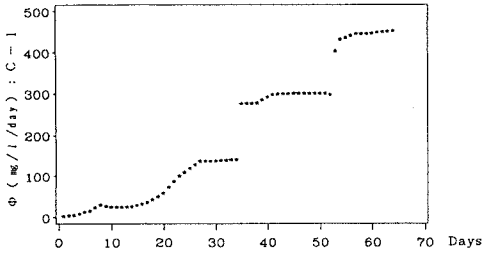


図1 20℃における脱窒速度のステップ応答

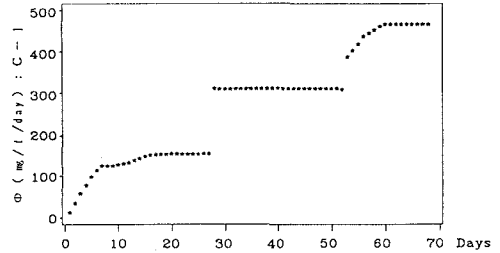


図2 30℃における脱窒速度のステップ応答

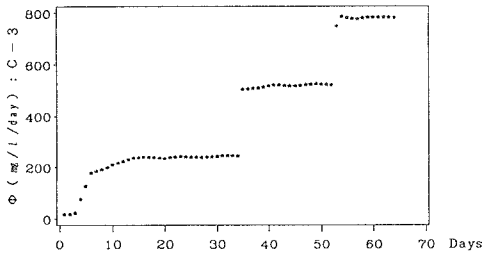


図3 20℃における脱窒速度のステップ応答

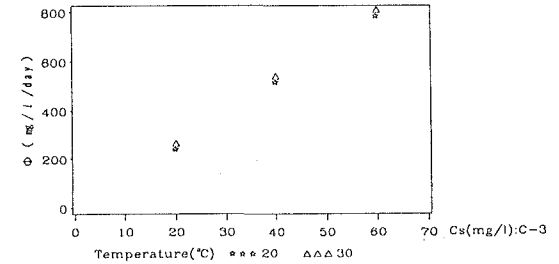


図4 脱窒速度と窒素供給濃度の関係

窒素供給濃度の変化に十分対応しているといえる。また、使用土壌による脱窒活性の違いは20℃において見られ、マサ土のみよりも混合土の方が脱窒活性が高い。次に、図4に脱窒速度と供給濃度との関係を示す。この図より、脱窒速度と供給濃度とは比例関係にあるといえる。図5に脱窒速度と移流フラックス $u \times Cs$ 、脱窒速度と $D \times Cs$ の関係を示す。これらは、一種の負荷量と考えられる。これらの図から、脱窒速度と負荷量は比例関係にあるといえる。また、脱窒速度は、10℃と20℃とでは大きな差がみられる。特に、脱窒速度と $D \times Cs$ との関係を示した図の方で顕著な違いがみられる。しかし、20℃と30℃とでは脱窒速度はほとんど差がない。次に、相関係数を求めてみると、脱窒速度と $u \times Cs$ との相関係数は0.975で、脱窒速度と $D \times Cs$ との相関係数は0.948である。ただし、10℃のときの値は除いた。この範囲においては脱窒速度と窒素負荷量の相関は高く、 u または D と Cs が既知であるならば、脱窒速度を推定することができる。しかし、この比例関係がどの程度の範囲まで成り立つのか、低温における脱窒速度の応答性などの点が今後の課題となるだろう。

4. まとめ 本研究で得られた結果を以下に示す。1) 土壌内脱窒速度は、窒素供給溶液の濃度の変化に対してステップ応答を示し、窒素供給濃度の変化に十分対応している。2) 土壌内脱窒速度は供給窒素負荷量 ($u \times Cs$, $D \times Cs$) に比例する。3) 土壌内脱窒速度は、10℃と20～30℃とでは大きな差がみられる。4) マサ土と混合土とでは、20℃においては明らかに混合土の方が脱窒活性が高いが、30℃においては差はみられない。

参考文献 1) 山口, 寺西, 下水道協会誌, Vol.22, No.249, 55-59, 1985.

2) YAMAGUCHI, T. et al., J. ENVIRON. QUAL., Vol.19, 1990. (掲載予定)

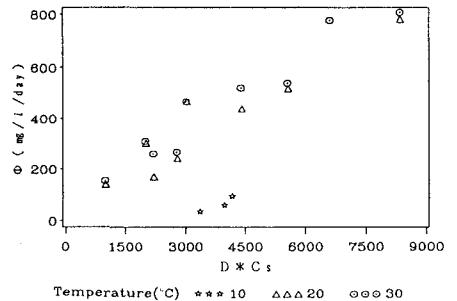
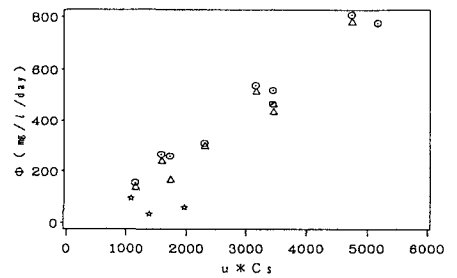


図5 脱窒速度と負荷量の関係