

UF 処理水の土壌による窒素除去

広島大学 正員 寺西 靖治
 広島大学 正員 山口 登志子
 広島大学 学生員 ○ 松木 靖
 日本上下水道設計㈱ 西村 和朗

1. はじめに

内湾、内海、湖沼などの閉鎖系水域における富栄養化現象の進行は下水中に含まれる窒素、リンなどが原因とみられており、これらを除去するため土壌の自然浄化能を利用した土壌処理法が注目されている。土壌処理法には種々の方法があるが、本研究ではとくに急速浸透法における土壌内脱窒過程に着目した。著者らの従来の研究から、飽和流合成下水における土壌内脱窒過程は容易に進行することが明らかになった¹⁾。そこで本研究では実際の下水を用いて脱窒素による窒素除去を試みた。本研究に用いた下水は広島大学工学部生活排水を中央廃液処理施設で活性汚泥法とUF膜（限外ろ過膜）によって処理したものである。UF膜による分離の対象は一般に粒子径数10Å～数μmの範囲であり、この領域には高分子物質、微生物、コロイド等が含まれる。このような処理を行っても下水中の窒素は除去されず、硝酸性窒素として残留する。本研究ではこのUF処理水中の窒素の土による除去を目的として土壌カラム実験を行い、カラム内の窒素の挙動を経時的に調べ、反応移流分散方程式による解析を試みた。

2. 実験方法

実験に用いた土壌カラムを図-1に示す。カラムは3本作成し、カラム名をH1, H2, H3とした。充填土はマサ土を用い、脱窒活性を高めるために畑土を2%添加した。充填量は29.2～30.1kg、間隙率は41.5～43.1%である。UF処理水には窒素源としてのNO₃-Nが通常30～50mg/l含まれており、H1, H2では脱窒素菌の有機炭素源としてメタノールをC/N=1.0となるよう加えた。H3ではUF処理水をそのまま供給液とした。供給液はカラム底部より上方に向かって流れる飽和流で供給し、各土壌内深さの試料と流出水について各窒素成分を経時的に測定した。その他、TN, TOC, BOD, COD, 実験前後の土の脱窒活性についても測定した。またカラム上端部のコックから発生したガスを捕集し、発生ガス量とその組成を調べた。実験条件を表-1に示す。

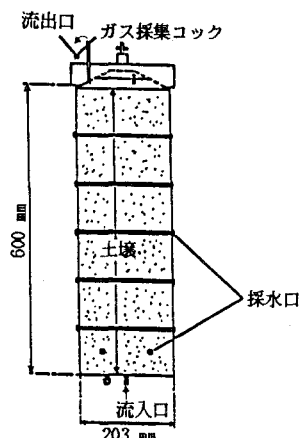


図-1 土壌カラム

表-1 実験条件

カラム	日数 (days)	温度 (°C)	湿度 (%)	流量 (ml/h)
H1	59 (8/18-10/15)	20	50	106.8±2
H2				197.1±3
H3				200.4±3

3. 結果と考察

3-1 各N成分のカラム内分布 カラムH1のN成分分布の経時変化を図-2に示す。実験期間を通じてNH₄-Nはほとんど検出されなかった。NO₂-Nは実験前後に多少検出された。H1では土壌内深さ0～5cmで急速に脱窒が進行し、15日目では脱窒率は90%程度に達した。しかし、その後変化がみられなかったため、39日目より添加するメタノールの量を10%増してC/N=1.1としたところ、脱窒がほぼ100%進行するようになった。H2においても同様の結果が得られた。また、H1, H2の流量比は1:2であるが、これによって脱窒の進行に顕著な違いはみられ

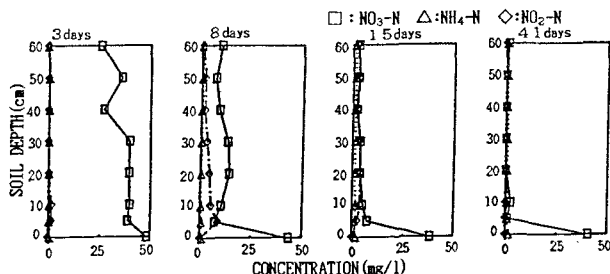


図-2 各窒素成分のカラム内分布 (H1)

なかった。メタノールを添加していないH3では脱窒はほとんど進行しなかった。

3-2 土壌内脱窒速度と反応速度係数 カラムH1, H2において実測データをもとに反応移流分散方程式により脱窒速度の時空分布を求めた。本研究では、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の減少量から $\text{NO}_2\text{-N}$ の生成量を差し引いたものを脱窒量とみなした。実測データを $\Delta X=1.0\text{cm}$, $\Delta t=0.5\text{日}$ でスプライン補間し、次式に示す差分化した反応移流分散方程式により脱窒速度($\Phi_{i,n}$)を計算した。なお、間隙内流速 u と分散係数 D はH1でそれぞれ 27.6 cm/day , $106\text{ cm}^2/\text{day}$ 、H2でそれぞれ 54.5 cm/day , $153\text{ cm}^2/\text{day}$ である。H1における脱窒速度の時空分布を図-3に示す。

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

ここに、 C : 基質濃度, u : 間隙内平均流速, D : 分散係数, X : 土壌内距離, t : 時間, Φ : 反応項(脱窒速度)である。 ΔX , Δt は距離および時間方向の格子間隔で $i\Delta X$, $n\Delta t$ における基質濃度を $C_{i,n}$ 、反応項を $\Phi_{i,n}$ とする。また、脱窒素を1次反応と仮定した場合の反応速度係数 $k_{i,n}$ を次式に示す式により計算した。

$$k_{i,n} = \frac{\Phi_{i,n}}{C_{i,n}}$$

実験期間を通じて土壌内深さ5cmで脱窒速度が大で、深さ0~5cmで脱窒はほとんど終了しているものと思われる。反応速度係数についても、同様の結果が得られた。本研究では土壌内深さ5cmより浅い所では実測データがない。よって脱窒速度、反応速度係数は5cmの値をとった。H1における供給液 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の経日変化、深さ5cmでの $\Phi_{i,n}$, $k_{i,n}$ の経日変化をそれぞれ図-4, 5, 6に示す。図-5に示すように脱窒速度は経日的にかなり変動している。これは供給液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が日々変動しており、その変動に対応しているものと思われる。反応速度係数においてはそのような対応はみられず、経日的な変動が大きい。40日目以降は土壌内深さ5cmでの基質濃度がほとんど 0 mg/l であるため $k_{i,n} = 0\text{ }^1/\text{day}$ とした。H2においても同様の結果が得られた。得られた脱窒速度はH1で $0.2\sim 0.5\text{ g/l}\cdot\text{day}$ 、H2では $0.3\sim 0.7\text{ g/l}\cdot\text{day}$ である反応速度係数はH1で $0.01\sim 0.06\text{ }^1/\text{day}$ 、H2で $0.03\sim 0.19\text{ }^1/\text{day}$ である。

4. まとめ

本研究で得られた結果は次のとおりである。1) UF処理水にメタノールを添加すると($C/N=1.0\sim 1.1$) 脱窒はほぼ100%進行する。2) 脱窒素が定常に達するまでの時間は約15日であった。3) 土壌内深さ5cmで脱窒はほぼ完了しており、深さ5cmでの脱窒速度は $0.2\sim 0.7\text{ g/l}\cdot\text{day}$ 、反応速度係数は $0.01\sim 0.19\text{ }^1/\text{day}$ であった。

《参考文献》

- 1) 山口・寺西, 単一土カラムにおける硝化・脱窒素の直列生起, 水質汚濁研究, 11(1), 50-57 (1988)

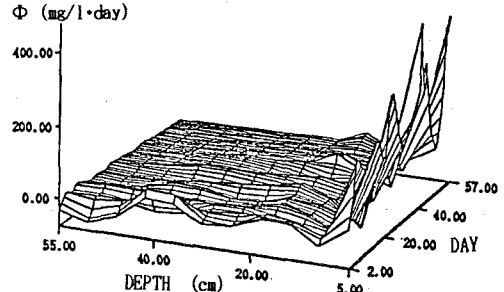


図-3 脱窒速度 Φ の時空分布 (H1)

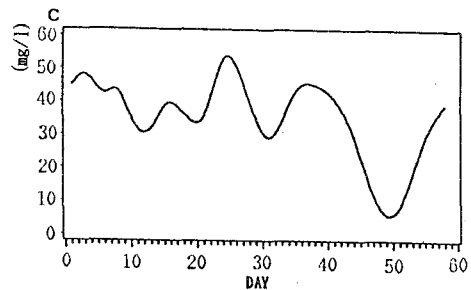


図-4 供給液 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の経日変化 (H1)

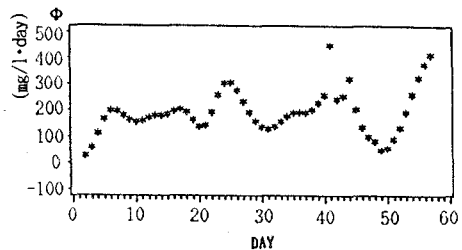


図-5 深さ5cmでの Φ の経日変化 (H1)

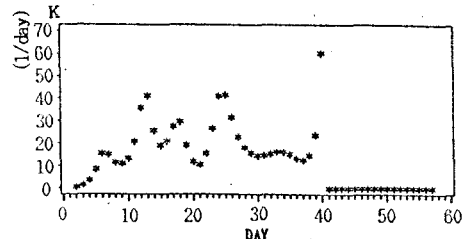


図-6 深さ5cmでの K の経日変化 (H1)