

土壌内汚水浸透流における硝化速度の非定常解析

広島大学工学部 学生員 ○ 松木 靖
 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
 鉄建建設(株) 山岡 純

1. はじめに 汚水の土壌処理による窒素除去を行うためには、土壌内窒素の挙動を数理モデル化して、数値実験を行い、実用化のために処理水の水質、土壌、地下水などの環境へ与える影響を予測し、汚水の供給速度や処理に要する面積や時間などの諸条件を決定する必要がある。そこで本研究では、土壌内硝化速度の関数形を明らかにするための第一歩として、硝化反応を0次反応と仮定し、不飽和流における土壌カラム内の窒素分布の実測データをもとに、反応移流分散方程式の逆問題として、反応速度係数の時空分布を求める。従来および現在でも、多くの研究において反応速度係数は定数として解析されているが、本研究では反応速度を時間的、空間的に変化するものと仮定して、その変動特性について考察する。

2. 解析方法 まず、実測データをもとに、反応移流分散方程式により硝化速度の時空分布を求める。本研究で用いた実測データは、不飽和流における土壌カラム内硝化過程を経日的に測定したものである。トレーサー実験で得られたカラムの特性および温度条件を表1に示す¹⁾。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硝化速度($\Phi_{i,n}$)を計算する。

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

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(硝化速度)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。表1のカラムC-1について求めた反応項の時空分布を図1に示す。

硝化反応を0次反応と仮定した場合の0次反応速度係数 K_0 は反応速度 Φ に等しい。さらに、反応速度係数の時間的増大をロジスティック曲線、深さ方向の変化を指数関数的減少と仮定して差分法を用いて、土壌内硝化性窒素分布を求め実測値と比較する。

3. 結果と考察 まず、実測値より求めたカラムC-1の0次反応速度係数 K_0 (反応速度 Φ)の時間的変化を図2に示す。深さ5cmにおける K_0 の変化をロジスティック曲線と仮定して、次式の各係数を求める。

$K_0(T) = A \cdot C_s / [1 + \exp\{-M \cdot A \cdot (T - t_1)\}]$
 ここに、A：最大反応速度 $\Phi_{\max}$ をアンモニア性窒素の供給濃度 C_s で割った値(1/day)、 t_1 ： $A/2$ となる

表1 カラムの特性値

Column	temperature (°C)	u (cm/day)	D (cm ² /day)
C-1	30	132	204
C-2	30	86.4	130

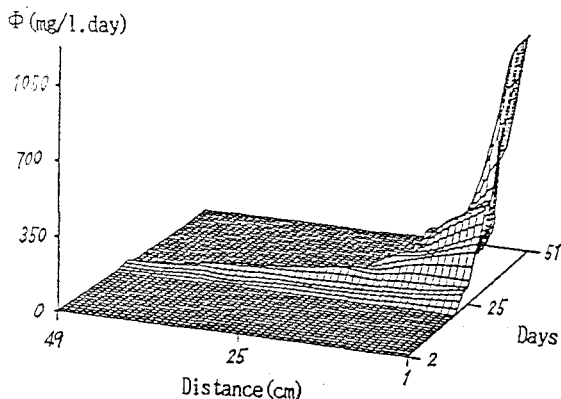


図1 反応速度の時空分布(C-1)

時刻(day), M : Verhulst-Peal係数, T : 時間(day)。
また, K_0 の深さ方向の変化を, 指数関数的減少と仮定し, 指数関数 $\exp(-\alpha \beta x)$ の定数 α は微生物量(硝化菌)を反応速度に変換する場合の定数とし, 係数 β は硝化菌の土壌内鉛直分布をもとに決定する。以上より, 求めた K_0 の各係数・定数を表2に示す。これらの値から求めたカラムC-1における K_0 の時空分布を図3に示す。この K_0 ($=\Phi$) の値と次に示す初期条件, 境界条件を先の差分化した反応移流分散方程式に代入して土壌内アンモニア性窒素の時空分布を求める。

初期条件 $C(x, 0) = C_i = \text{const}$

境界条件 $C(0, t) = C_s,$

$C(\infty, t) = 0$

ここで, C_i : 土壌内アンモニア性窒素の初期濃度 (M/L^3), C_s : アンモニア性窒素の供給濃度 (M/L^3)。さらに, 硝酸性窒素相対濃度 $= 1 - \text{アンモニア性窒素相対濃度}(C/C_s)$ として土壌内硝酸性窒素の時空分布を求める。次に, カラムC-1の土壌内硝酸性窒素分布の実測値と差分で求めた計算値の比較を図4に示す。これより両者はほぼ一致していることがわかる。また, 図2と図3を比較すると, 10cmより深部の曲線が30日以降では近似していない。これは, K_0 の深さ方向の変化を単純に指数関数的減少としたためと考えられる。しかし, 図4に示すように30日の10cm以上の深さでは, 硝酸性窒素の相対濃度はほぼ1で反応が定常となり, 反応速度係数 K_0 (反応速度 Φ) が土壌内硝酸性窒素分布におよぼす影響は小さいと考えられる。また, 別のカラムC-2においてもほぼ同様の結果を得た。

4. まとめ 本研究で得られた結果は次のとおりである。1) 土壌内硝化反応を0次反応と仮定した場合, 反応速度係数は一定ではなく, 時間的, 空間的に変化している。2) 本研究の想定条件下では, 反応速度係数の時間的増大はロジスティック曲線でほぼ近似できることが明らかとなったが, 深さ方向の減少の関数化には検討の余地が残された。

《参考文献》 1) 山口・寺西, 不飽和浸透流における土壌内硝化過程, 土木学会第39回年次学術講演会講演概要集 (第2部), pp. 779~780 (1984)

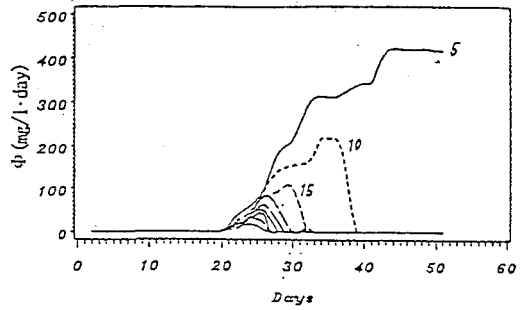


図2 反応速度 (0次反応速度係数) の時間的变化(C-1)

表2 K_0 の各係数, 定数

Column	A	t_1	M	α	β
C-1	21.1	29.5	0.016	0.1	0.1
C-2	13.3	30.5	0.016	0.1	0.1

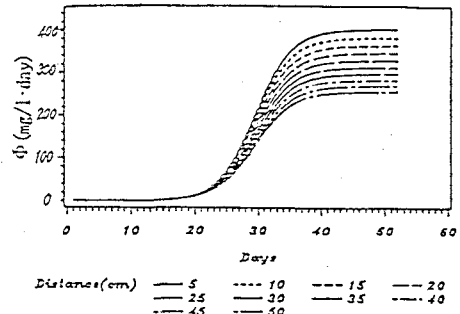


図3 数値計算による反応速度の時間的变化(C-1)

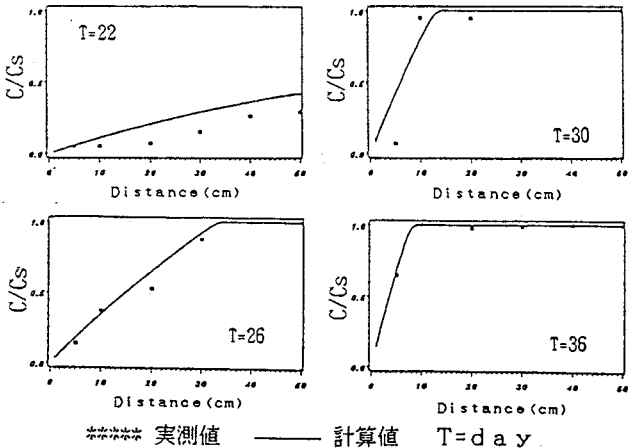


図4 硝酸性窒素分布の実測値と計算値の比較(C-1)