

下水の土壌処理における 硝化速度に関する考察

広島大学工学部	正 員 寺西 靖治
広島大学工学部	正 員 山口 登志子
広島大学工学部	学生員 ○松田 弘
広島建設コンサルタント(株)	藤井 尚志

1. はじめに 急速浸透処理法における土壌内硝化速度を求めて、基質濃度、間隙内平均流速、分散係数、温度などとの関係を考察し、窒素除去に関する処理の最適化を検討する。

2. 解析方法 本研究では、土壌カラムに人工下水を連続供給し、土壌内の分布を経時的に調べた。実験条件を表1に示す。ここで、カラムUC-1～3はアンモニア性窒素の供給濃度を20, 60, 120mg/lと段階的に変え、温度は30℃で行った。同様に、カラムIC-1～3はアンモニア性窒素の供給濃度を20, 40, 60, 80, 120mg/lと段階的に変え、温度は30℃および20℃で行った。また、カラムNM20, NM40, NS20は温度10℃において行った。この実測データをSmoothing(平滑化)によって処理した後、次式に示す差分化した反応移流分散方程式の逆問題として土壌内硝化速度を同定した。

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

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（硝化速度）
x；土壌内距離，t；時間，Δx，Δt；差分間隔である。また，iΔx，nΔtにおける基質濃度をC_{i,n}，硝化速度をΦ_{i,n}とする。求めた硝化速度と各パラメータとの関係を考察し、その結果をもとに窒素除去に関する処理効率の決定について検討する。なお、このときの差分の格子間隔は深さ方向Δx = 1.0cm，時間方向Δt = 0.5dayである。

3. 結果と考察 まず、図1に30℃における硝化速度Φと移流フラックスu×Csとの関係を示す。Φとu×Csとの間にはどの深さにおいても比例関係が見られ、この比例関係はu，D，Cs，D×Csなどとの間でも見られた。また、20℃においても同様の結果が得られた。そこで、5cmでのΦ（以下Φ₅とする）を代表値として考察する。図2には10℃におけるΦ₅とu×Csとの関係を示す。10℃ではデータ数が少ないので確かなことは言えないが、上限値（最大硝化速

表1 実験条件

column	temp. (℃)	days	concentration NH ₄ -N (mg/l)	u (cm/day)	D (cm ² /day)
UC-1	30	33 22 44	20 60 120	99.2	139.8
UC-2	30	33 22 44	20 60 120	124.7	317.5
UC-3	30	33 22 44	20 60 120	161.2	407.5
IC-1	30	52 19 20	20 40 60	86.4	129.6
	20	16 14 21	60 80 120		
IC-2	30	52 19 20	20 40 60	132	204
	20	16 14 21	60 80 120		
IC-3	30	52 19 20	20 40 60	120	182.4
	20	16 14 21	60 80 120		
NM20	10	140	20	88.8	156
NM40	10	140	40	76.8	172.8
NS20	10	140	20	76.8	74.4

度)が見られた。次に、それぞれの深さにおけるアンモニア性窒素濃度 C' と硝化速度 ϕ との関係(20℃)を図3に示す。カラムや供給濃度によって多少違いがあるがほぼ比例関係が見られる。このことより定常期での硝化反応は1次反応で近似できることがわかり、この直線の傾きが1次反応速度係数 k_1 となる。そこでそれぞれの実測データから1次反応の理論解を用いてカーブ・フィッティングを行うことによりそれぞれの1次反応速度係数 k_1 を求め、その結果を表2に示す。こうして得られた k_1 、および u 、 D などから任意の条件での処理効率を求めることができ、図4には20℃における硝化率90%、95%、99%を得るために要する土壌内距離と u との関係を安全性を考慮した範囲で示した。

4. まとめ 本研究で得られた結果は次のとおりである。

1) 20℃および30℃において硝化速度は窒素負荷量($u \times C_s$)と比例関係にあるが、10℃においては上限値が見られた。2) 定常期における硝化反応は1次反応で近似でき、得られた1次反応速度係数から任意の条件での処理効率を決定できる。3) 本研究の条件下では、(i)定常期における1次反応速度係数は10℃で4.4~10.0 (day⁻¹)、20℃では62.0~243 (day⁻¹)、また30℃では102~225 (day⁻¹)である。(ii)硝化率99%を得るための土壌深さは10℃では40~100 (cm)、20℃では4~15 (cm)、30℃では4~14 (cm)である。なお、硝化反応だけでは窒素除去にならないため脱窒反応との組合せを考える必要があるが、土壌内脱窒過程についても同様の考察を行った結果、本研究とほぼ同程度の反応速度係数を得た。

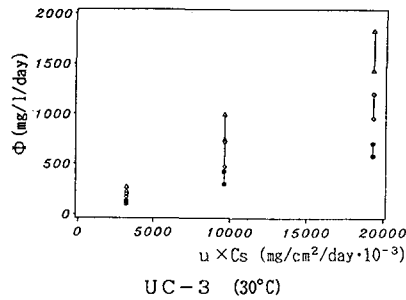


図1 硝化速度と窒素負荷量との関係(30℃)

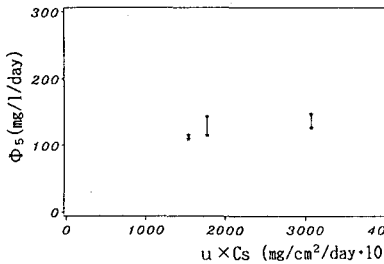


図2 硝化速度と窒素負荷量との関係(10℃)

表2 定常期における1次反応速度係数 k_1

column	concentration NH ₄ -N (mg/l)	k_1 (1/day)
UC-1	20	138
	60	138
	120	138
UC-2	20	133
	60	133
	120	133
UC-3	20	165
	60	165
	120	165
IC-1	20	102
	40	102
	60	102
	120	164
IC-2	20	180
	40	180
	60	265
	120	243
IC-3	20	224
	40	145
	60	230
	120	164
NM20	20	10.1
NM40	40	4.4
NS20	20	10.1

* not determined because nitrification is completed at 5cm of depth.
** not determined because it was impossible to assume first-order reaction.

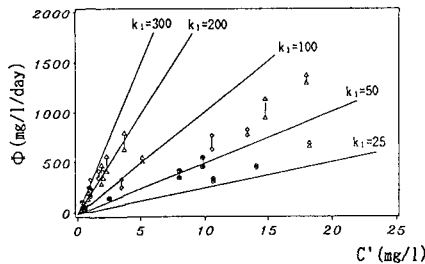


図3 硝化速度とアンモニア性窒素濃度との関係(20℃)

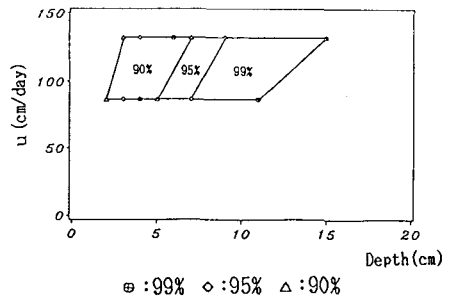


図4 間隙内平均流速と任意の硝化率を得るために要する土壌内距離との関係(20℃)