

PSII-28 急速ろ過における硝化速度について

八戸工業大学 正員 佐藤米司、福士憲一

1. はじめに 前報¹⁾で、急速ろ過においても硝化が可能であり、かつ連続的にフロック添加・逆洗を行っても十分な硝化が行われることを示した。今回、これを硝化速度の面から検討したので報告する。

2. 実験方法

(1) ろ過筒の運転 実験の目標は、ろ過速度を3～200m/日と次第に増加させた場合の硝化速度の変化の測定、および一定ろ過速度(100m/日)での硝化速度の経日変化の測定である。

速度測定に先だち、砂層を5%下水生物処理水により長期間馴致し(3m/日)、その後 $\text{NH}_4\text{-N}$ 1.5mg/lの原水を所定条件で通水運転した。与条件で十分な硝化がなされていることを確認した後、速度測定した。ろ材は標準的な急速ろ過砂を用いた。ろ過筒は $\phi 10 \times 150\text{cm}$ (塩ビ製)を複数用い、暗視条件とした。砂層深は100cmである。

(2) 硝化速度の測定 図-1の装置(4連)を用いて、回分方式で測定した。与条件に対して平衡と考えられる時点で、ろ過筒上部の水を抜き、ろ層表面のろ材を湿潤状態で採取し、所定量を反応容器に入れて $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の経時変化を測定した。水温25℃、試料水量1.2ℓ、初期 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度1.5mg/l、攪拌は124rpmで実験を行った。終了後、採取ろ材の乾燥重量を秤り、比表面積を計算した。

(3) 硝化速度の測定例 図-2より、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の蓄積がなく窒素の収支も取れているので、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の除去速度を硝化速度とみなすことができる。反応はほぼ0次反応で記述された。このような生物反応で生物量が極端に多くない場合、境膜拡散抵抗と生物膜内拡散抵抗は小さく、反応律速(0次反応)となると言われている。^{2,3)}

なお、図の傾き r はみかけの硝化速度係数であり、以下、普遍化のために式(1)に示す表面積当りの硝化速度係数 r_s (mg/m²/hr)を用いた。

$$r_s = r \cdot V / S \quad \dots\dots\dots (1)$$

V : 試料水量(ℓ)、 S : ろ材の全表面積(m²)、 r : みかけの硝化速度(mg/l/hr)

図-3より、みかけの硝化速度 r と S/V 値は比例関係にあり、式(1)の考え方は妥当なことがわかる。

3. 実験結果と考察

(1) ろ過速度を次第に増加させた場合の硝化速度の変化

図-4は、同一ろ過筒でろ速を3、10、100、200m/日と4段階に増加させた場合の硝化速度の変化である。運転の水温は25℃、原水の $\text{NH}_4\text{-N}$ は1.5mg/lである。各段階とも、10～15日間与条件で運転した後速度測定を行った。なお、この図は図-3から得られたものである。

ろ過速度の増加に伴って硝化速度が増加しており、100m/日での硝

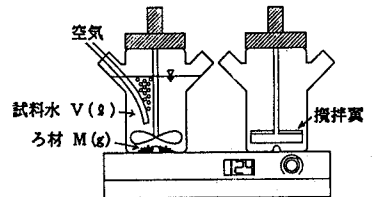


図-1 実験装置

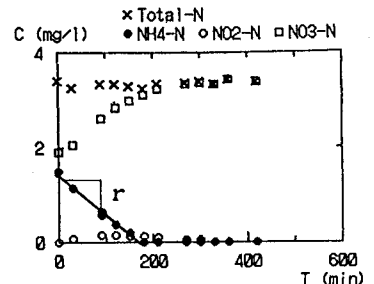


図-2 硝化速度の測定例

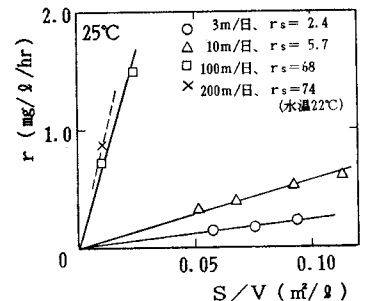


図-3 ろ過速度とみかけの硝化速度

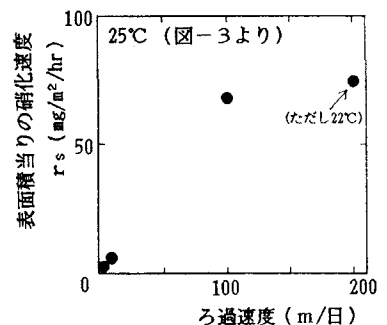


図-4 ろ過速度による硝化速度の変化

化速度は3 m/日の場合の約30倍の値を示している。ろ過速度の変化（流入負荷の変化）に対応し硝化菌が増殖してゆくためと考えられる。なお、水温がやや異なるので参考にとどまるが、200m/日の結果より、ろ過速度に対する硝化速度の上限が存在するようである。

（2）一定ろ過速度での硝化速度の経日変化

図-5は、ろ過速度を100m/日の一定とした場合の硝化速度の経日変化である。当初は5%生物処理水(3m/日)の馴致条件に対応した極めて小さい硝化速度であったものが、与条件に対応して次第に大きな硝化速度を有するようになり、その後ほぼ平衡状態になる様子が見られる。前報¹⁾の結果（高速ろ過での硝化では平衡に達するまでの期間は長いものも、一旦平衡に達した後は極めて安定な硝化が行われた）をよく説明するデータである。

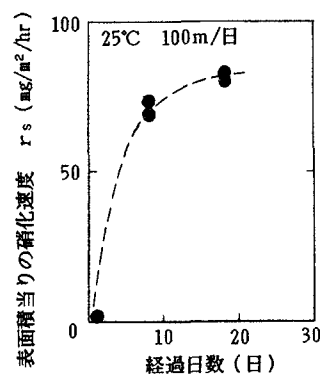


図-5 硝化速度の経日変化

4. 簡単な計算モデルによる評価

求めた硝化速度の妥当性を検討し考察を行うために、押し出し流れの場合における簡単な計算モデルを考える。図-6のように、ろ層内の空隙を流れつつ、ろ材の全表面積 S (m²)を硝化反応の場とする仮想水路を仮定する。みかけ硝化速度が r (mg/l/hr、0次反応)であるとすれば、流出濃度 C_e (mg/m³)と距離 x (m)の関係式は次式となる。なお、流れの場の縦方向拡散係数は別の測定結果より非常に小さく計算では無視した。また、このモデルは砂層の上層部でのみ成り立つ。

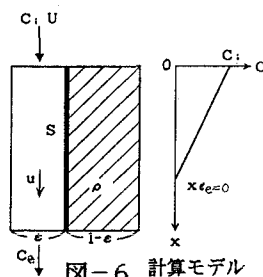


図-6 計算モデル

$$x = u \cdot \frac{1}{r} \cdot (C_i - C_e) = \frac{U}{\epsilon} \cdot \frac{\epsilon}{S} \cdot \frac{V}{r_s} (C_i - C_e) \quad \begin{array}{l} \epsilon: \text{空隙率} (-) \\ C_i: \text{流入濃度 (mg/m}^3\text{)}, V: \text{砂層体積 (m}^3\text{)} \end{array}$$

$$= \frac{U (C_i - C_e)}{s_p (1 - \epsilon) r_s} \quad \dots\dots (2) \quad \begin{array}{l} u: \text{空隙内平均流速 (m/hr)}, U: \text{空塔速度 (m/hr)}, \\ r_s: \text{表面積当りの硝化速度 (mg/m}^2\text{/hr)}, s_p: \text{ろ材の比表面積 (m}^{-1}\text{)} \end{array}$$

$C_i = 1.5 \times 10^3 \text{ mg-N/m}^3 = 1.5 \text{ mg-N/l}$ 、 $\epsilon = 0.44$ 、 $s_p = 1.5 \times 10^4 \text{ m}^{-1}$ の与条件で、硝化が完全に行われ $C_e = 0$ となる距離 x を計算すると（図-3の r_s の値を参照）、

ろ速100m/日 ($U = 4.17 \text{ m/hr}$)の時 $r_s = 68 \text{ mg/m}^2\text{/hr}$ で、 $x = 1.1 \text{ cm}$

となり、極く表層で完全に硝化される計算となる。図-7は、ろ過筒の実際の運転記録の一部である。深さ10cmまでの表層で完全に硝化されており、計算結果とオーダー的に一致する。

また、前報で示したように、逆洗を加えて運転再開した場合も直ちに硝化が行われ、図-7

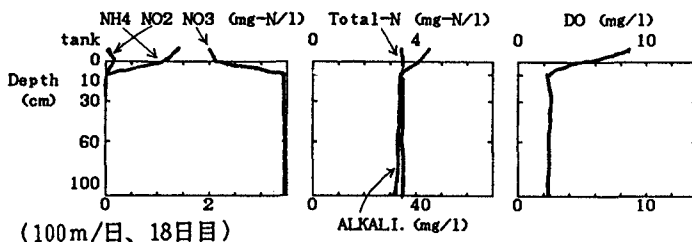


図-7 実際の運転結果（100m/日、18日目）

と同様な結果となる。これは、逆洗によるろ層の一部攪乱や生物相の一部剥離流出にもかかわらず、硝化菌の一部がろ材に付着残存してろ層の上層部分に存在し続け、式(2)中の r_s が或程度の値を保ち続けて硝化が行われるためと推測される。今後、硝化に対するろ過速度の上限の問題等についても検討して行きたい。

<参考文献> 1) 佐藤、福士；急速ろ過における硝化について、第43回年講、昭和63.10.

2) 住友ほか；生物分解による上水の高度処理に関する研究(Ⅰ)～(Ⅵ)、水道協会雑誌、昭61.9～昭62.8.

3) 渡辺ほか；回転円板法の浄化機構に関する研究(Ⅰ)、(Ⅱ)、下水道協会誌、1978/9、1980/8.