

B-4

無酸素ろ床における処理機構について

日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻

○金永魯

日本大学理工学部土木工学科

齋藤利晃

同上

田中和博

1. はじめに

筆者らは小規模下水処理場向けの無酸素・好気ろ床法の開発を行っている。本プロセスは下水中の懸濁物のろ過と脱窒を同時に行うための無酸素ろ床、活性汚泥を使用せず包括固定化担体のみを用いた硝化槽と、硝化槽流出水の仕上げ処理を目的とした好気ろ床とで構成されている。これまでの研究成果より、本プロセスは、高濃度の微生物を各反応槽に固定させることで短い滞留時間で高効率でかつ安定した下水処理性能を有していること、維持管理が簡単であり、小規模下水処理プロセスとして適していることを確認した¹⁾。しかし、本プロセスの中で最も重要な役割を果たしている無酸素ろ床の処理メカニズムについては明らかにされていない。そこで本報では、無酸素ろ床のろ過メカニズムについて検討するため、ろ過速度を400m/d、600m/d、800m/dに変化させて、SS除去性能および脱窒性能について調査し、既存のろ過モデル式を用いて解析を行った。

2. 実験材料と方法

2.1 実験装置の概念

図1に無酸素ろ床の概念を示す。反応槽は高さ3.3m直径0.3mで、空塔実容積は238ℓである。ろ床には発泡ポリプロピレン製円筒型(10mmφ×10mmL、比重0.95)のろ材がろ層高2mに充填され、ろ材の流出を防ぐためのスクリーンがろ床高3mのところろ床下部に設けられている。ろ材は比重が1より小さくろ床内で浮上し、ろ床内はろ床下部にろ材がない1mの部分と2mのろ層部に別れている。ろ過を行ってない層初期の空隙率(ε_0)は0.63である。流入原水はT下水処理場の沈砂池流出水を目幅2.5mmのスクリーンに通したものをを用いた。原水は硝化槽流出水とともにろ床下部より流入される。ろ床下部は沈殿池と同様の役割を持ち、流入された原水中の固形物はここである程度除去され、残りはろ層でろ過せられる。硝化槽に含まれる硝酸性窒素はろ床に入り脱窒される。ろ床の逆洗はろ過抵抗1mを目安として行った。

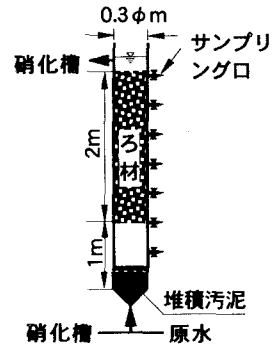


図1 無酸素ろ床の概念図

2.2 ろ過モデル式

(1) ろ過抵抗式

ろ過抵抗と空隙(抑留堆積物)との関係を表す式は(式1)のようなKozeny-Carman式を用いた²⁾。

$$v = \frac{1}{k_c S_0^2} \cdot \frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)^2} \cdot \frac{H}{\mu z} \quad \dots \dots \dots \text{(式1)}$$

ここで、 v はろ過速度[m/d]、 k_c はKozeny-Carman係数[-]、 S_0 はろ材の比表面積[m²/m³]、 H は損失水頭[m]、 μ は動粘性係数[kg/(m・s)]、 z はろ層高[m]、 ε は空隙率($\varepsilon = \varepsilon_0 - \sigma$)[-]、 σ は単位ろ層容積当たりの抑留堆積物量[-]である。

(2) ろ過方程式

ろ過を表す式は (式2) のようなIwasaki式を用いた³⁾。

$$\frac{\partial C}{\partial z} = -\lambda C \quad \dots \dots \dots (式2)$$

ここで、Cは懸濁物の濃度 [mg/m³]、λはろ過係数 [m⁻¹]である。

なお、物質収支式は以下ようになる。

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} + v \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad \dots \dots \dots (式3)$$

ここで、tは反応時間 [h]

2.3 実験方法

無酸素ろ床の運転は原水1Qに対し硝化槽循環比3Qに固定し、ろ過速度400、600、800m/dと徐々に上げながら行った。ろ過抵抗の変化の測定はろ床下部に設けた圧力計を用い、ろ層全体のろ過抵抗の分布は水質を調べるためにろ床側面40cm間隔に設けた、サンプリング口にマンオメーターを取り付け測定した。また、ろ床を通過する液体をサンプリング口より採取しSS、NO₃-Nを測定した。

3. 結果及び考察

3.1 処理結果

表1に各運転条件における処理結果を表す。表に示す値は全て平均値である。表中の原水+硝化槽は、ろ床下部に流入する原水と硝化槽循環液混合液を表す。ろ過速度600m/d時の処理水SS濃度が他の運転条件に比べ若干高い値を示しているが、全体的に高いSS除去および脱窒性能が得られた。

3.2 ろ過抵抗とSS除去

ろ層に抑留する堆積物がろ過継続時間とともに一定に増加するとして (式1) より求めたろ過抵抗の経時変化を図2に示す。図よりろ過継続時間とともにろ過抵抗の上昇速度は早くなる。しかし、実験より得られた、ろ層高0mにおけるろ過抵抗の経時変化を示した図3に示されるように、ろ過抵抗はいずれの運転条件においても、最初直線的に上昇し0.6m付近でその上昇速度が低下している。このことは、ろ過継続とともにろ過係数 (λ) が低下し、抑留物質の増加速度が遅くなることを意味する。

図4に各運転条件ごとのろ層高0mにおけるろ過抵抗と、ろ層高0~0.4mにおけるSSの除去量より (式2) を用いて求めたろ過係数との関係を示す。もともとλの変化は、ろ層の持つ空隙の大きさの変化より求めなければならないが、ろ層の空隙の変化を直接に測定することは、本実験では困難であったため、実験で得られたろ過抵抗との関係を

表1 処理結果

	SS [mg/l]	SS除去率 [%]	NO ₃ -N [mg/l]	脱窒率 [%]
原水	130	-	0	-
原水+硝化槽	48	-	4	-
処理水				
LV 400m/d	7.3	85	0.4	90
LV 600m/d	12.3	74	0.7	83
LV 800m/d	3.9	92	0.8	80

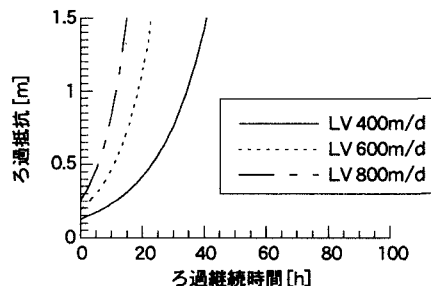


図2 λを一定とした場合のろ過抵抗の経時変化 (計算値)

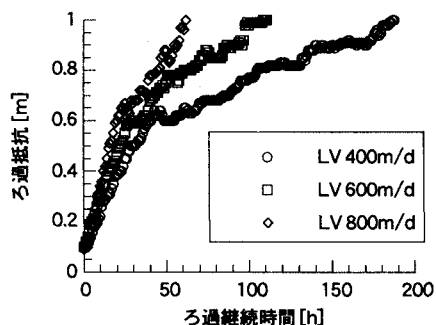


図3 ろ過抵抗の経時変化 (実験値)

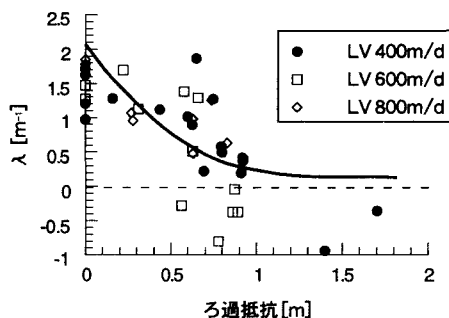


図4 ろ過抵抗とλとの関係

検討した。実際のろ層での λ は、図に示された曲線のように、ろ過抵抗が上昇するとともに徐々に低下すると思われる。図で λ がマイナスになっているところが見られるが、これはろ層を通過した水のSSが増加したことを意味し、ろ層の抑留物がろ過抵抗が高くなることにより剥離されたものであると思われる。よって、 λ を求めるときはろ過されるものと剥離されるものを別々に考慮するべきであるが、今回は計算を簡易にするため剥離も含んだ λ とし、マイナスになる部分は除いて考えた。

図5に図4に示された曲線のように変化する λ の値を用いて、ろ過抵抗をシミュレーションした結果を示す。いずれの運転条件に置いても、実験結果とシミュレーション結果はおおよそ一致した。

図6に実験より求めたろ層全体のろ過抵抗の分布変化を示す。ろ過速度400、600m/d時は、ろ過の進行とともにろ過抵抗の分布がろ層下部から上部まではほぼ直線的になっているのに対し、ろ過速度800m/d時には、ろ層高0m以上のところのろ過抵抗は急激に少なくなっている。これは、ろ層下部でろ過の大部分が行われていることを示唆し、図3で示すろ過抵抗1mまでのろ過継続時間が、ろ過速度800m/d時が他の運転条件に比べ短く、上部で懸濁物を抑留する時間が十分得られなかったことが大きな原因であると考えられる。従って、ろ過速度を早く運転する場合はろ層の長さを短く、ろ過速度が遅い場合はろ層を長く設計する必要があると思われる。

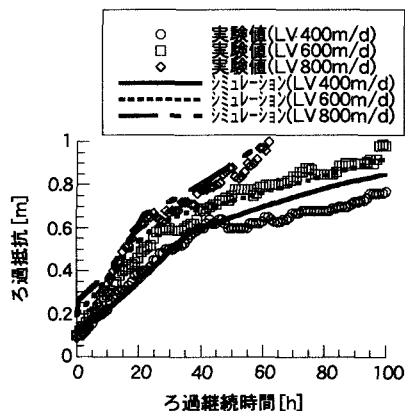


図5 シミュレーション結果

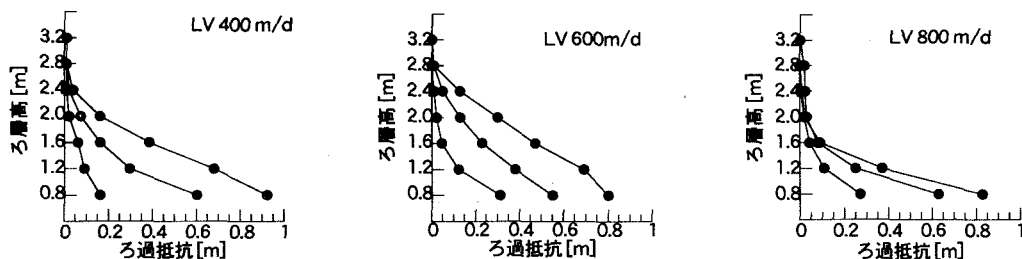


図6 各ろ過速度ごとのろ過抵抗の分布変化

4. まとめ

- 1) ろ過速度400、600、800m/dのいずれの運転条件に置いても高いSS除去、脱窒性能が得られた。
- 2) ろ過係数 λ はろ過抵抗が上昇すると徐々に低下し、0に近くなる曲線形であった。
- 3) ろ過モデル式を用いたろ過抵抗のシミュレーションを行い、実験値におおよそ一致する結果を得た。
- 4) ろ過速度を早く運転する場合はろ層の長さを短く、ろ過速度が遅い場合はろ層を長く設計する必要があると思われる。

<参考文献>

- 1) Youngno Kim, Kazuhiro Mikawa, Tosiaki Saito, Kazuhiro Tanaka, Hiroyoshi Emori : Development of Novel Anaerobic/Aerobic Filter Process for Nitrogen Removal Using Immobilized Nitrifier Pellets, Wat. Sci. Tech. Vol. 36, No. 12, pp. 151-158, 1997
- 2) 白井 隆、流動層 科学技術社、pp.52-61、1977
- 3) Tomihisa Iwasaki Some Notes on Sand Filtration, AWWA, Vol. 29, No. 10, pp. 1591-1602, 1937