

宮崎大学工学部 正 石黒政儀 正 渡辺義公
宮崎大学工学部 学○図師雄一 学 長友千秋

1 はじめに 回転円板脱窒槽は他のプロセスに比べて多くの利点を有しているが、装置の設計理論はほとんど確立されていないのが現状である。筆者らは脱窒速度の動力学モデルを先に提示した。²⁾すなわち、全システムを液本体、拡散層、生物膜に区分し、拡散層における NO_3^- の分子拡散と生物膜内の生物化学的反応を伴った分子拡散の両者を考慮したモデルである。本文では、完全混合型脱窒槽による実験結果を用いて動力学式の実験的検証及び理論式に含まれる諸定数の定量化を行なう。さらに、求められた諸定数から押し出し流れ型脱窒槽の脱窒速度を算定し実験結果と比較することによって、動力学モデルの汎用性をも明らかにする。

2 実験装置と実験条件 完全混合型脱窒槽は水封密閉の内径19.5cm・長さ19cmの塩化ビニル円筒内の中心軸に8枚の円板を平行に取り付けたものであり、頂部に N_2 ガス抜きを設けた。円板は間隔2cm・厚さ0.4cm・直径19cm・全表面積(円板表面積+側壁面積)は約0.63 m^2 ・槽容量は円板を除くと約4.9 l で流向は中心軸に垂直である。押し出し流れ型脱窒槽は水封密閉の内径19.5cm・長さ55.7cmの塩化ビニル円筒内の中心軸に11枚の円板を平行に取り付けたものであり、頂部に N_2 ガス抜きを設けた。円板は間隔5cm・厚さ0.4cm・直径19cm・全表面積は約0.95 m^2 ・槽容量は円板を除くと約15.6 l で流向は中心軸に平行である。円板回転速度はいずれの装置も15rpm(周辺速度 $90\frac{\text{m}}{\text{min}}$)である。³⁾これらの装置の残余濃度曲線(F曲線)を図-1に示す。両脱窒槽のトレーサ実験の結果、完全混合型脱窒槽のF曲線は完全混合単一槽のF曲線に一致し、押し出し流れ型脱窒槽のF曲線は完全混合4段直列モデルに相当する。原水としては、水道水に硝酸性窒素源としての硝酸カリウムと微量元素源としての回転円板装置による家庭下水二次処理水とを添加したものをを用いた。脱窒に必要な有機炭素源としてはメタノールを使用し $\text{C/N}=3$ とした。水温は約20 $^{\circ}\text{C}$ ・原水pHは7.5~8.2・処理水pHは7.5~9.0であったが、このpH領域は生物学的脱窒反応における最適領域である。³⁾

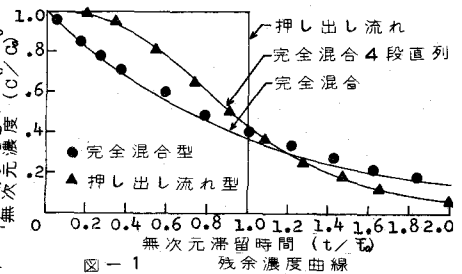


図-1 残余濃度曲線

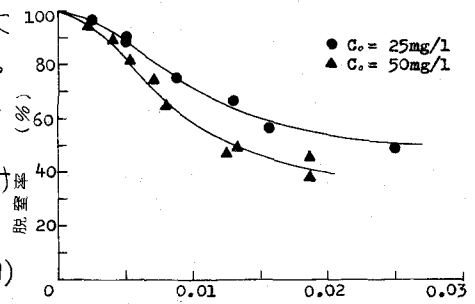


図-2 水量負荷と脱窒率の関係

3 実験結果の考察 ① 完全混合型脱窒槽 定常状態における見かけの脱窒速度は

$$\frac{dC_b}{dt} = -\frac{A}{V} \left(\frac{1}{\delta_b + 1/K_r} \right) C_b = -\frac{A}{V} \left(\frac{1}{1/K_d + 1/K_r} \right) C_b = -\frac{A}{V} K^* C_b \quad (1)$$

ここで、 K_r は次のように定義される。

(1) 基質($\text{NO}_3^- - \text{N} + \text{NO}_2^- - \text{N}$)が生物膜最深部に達している場合---- $K_r = r_d \cdot Z_0$

(2) 基質が生物膜最深部に達していない場合---- $K_r = (2 \text{De} / d) \cdot \frac{1}{2}$

次に、式(1)と物質収支式から基質の残存率は $C\%_0 = (1 + K^* A/Q)^{-1}$ ----(2)

従って単位微生物付着面積当たりの脱窒速度 R は式(2)を用いると

$$R = (C_0 - C_e) Q/A = K^* C_e \quad (3)$$

また、生物膜表面の基質の変化速度に着目すると

$$-\frac{D}{\delta} (C_b - C_s) = -K_r C_s \quad \therefore \frac{C_s}{C_b} = \frac{D/\delta}{D/\delta + K_r} \quad (4)$$

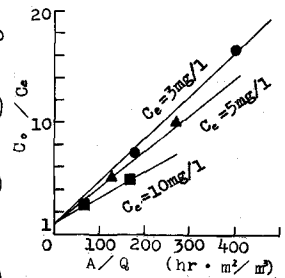


図-3 式(2)の実験的検証

図-2に流入水基質濃度を固定して水量負荷を変化させた時の脱窒率を示す。図-3は A/Q と C_e/C_o の関係で、式-(2)が成立し K^* が C_e の増加につれ減少している。さらに、式-(2)によって計算された K^* と C_e の関係を図示したものが図-4の直線であり、図より原水の基質濃度、脱窒率、水量負荷とは無関係に K^* は C_e のみによって決まり次の関係式が得られる。

$$K^* = 0.07 C_e^{-0.5} \quad (5)$$

式-(1), (4), (5)から C_e と C_e/C_o , C_e と K_r , C_o と K_r の関係を求めると、それぞれ図-4の曲線、図-5の曲線、図-5の直線となる。ただし、拡散層厚 δ は、 $C_e = 1 \text{ mg/l}$ で $K_d \ll K_r$ となることから $0.07 = D/\delta$ として求めた。図-6には式-(3)に従って求めた脱窒速度 R と流出水基質濃度 C_e の関係を示した。

b) 押し出し流れ型脱窒槽 実際には分散項を加味すべきであるが、流れ方向の濃度勾配及び分散数(本装置では約0.25)が小さい場合には分散項を無視できるので、近似的に次式が成立する。

$$\int_{C_o}^{C_e} \frac{dC_b}{K^* C_b} = \frac{A}{Q} \quad (6)$$

$C_e = C_o$ であるから式-(5), (6)より $C_e = (\sqrt{C_o} - 0.035 A/Q)^2 \quad (7)$

式-(7)から単位微生物付着面積当たりの脱窒速度は

$$R = (C_o - C_e)Q/A = 0.07 \sqrt{C_o} - 0.035^2 A/Q \quad (8)$$

式-(7)において $0 \leq Q/A \leq 0.035/\sqrt{C_o}$ であるような水量負荷の範囲では $C_e = 0$ となる。完全混合型脱窒槽の実験で求められた K^* を用いて押し出し流れ型脱窒槽の脱窒速度を計算したものが図-7であり実験値とはほぼ一致している。

4 おわりに 本文では回転円板脱窒槽の動力学モデルを提示し、モデルの妥当性を実験により証明した。完全混合型脱窒槽では、円板径、円板回転速度、温度などの操作条件が決まれば、総括脱窒速度係数 K^* は流出水基質濃度の関数となる。さらに、完全混合型脱窒槽による実験から求めた K^* を用いて計算した押し出し流れ型脱窒槽の脱窒速度が実験値とはほぼ一致した。

記号表 C_b : 液本体基質($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$)濃度(mg/l) t : 時間(hr) A : 微生物付着面積(m^2) V : 生物膜体積を除いた実質の接触槽容量(m^3) δ : 拡散層厚(m) D : 水中での基質拡散係数(m^2/hr) K^* : 総括脱窒速度係数(m/hr) De : 生物膜内での基質拡散係数(m^2/hr) C_e : 流出水基質濃度(mg/l) C_o : 流入水基質濃度(mg/l) Q : 流入水量(m^3/hr) C_s : 付着微生物膜表面の基質濃度(mg/l) α : X/C_s (-)

参考文献 1) T.R.Davies and W.A.Pretorius: Denitrification with a Bacterial Disc Unit, Water Research, Vol. 9, No. 10, pp. 459~463, 1975. 10

2) 石黒政儀, 瀧義公, 西留清: 回転円板脱窒槽の動力学的解析, 土木学会第32回年講, 第2部, pp. 726~727, 1977. 10

3) 遠矢泰典: 生物学的脱窒素法に関する研究(Ⅲ), (Ⅳ), 下水道協会誌, Vol. 7, No. 76, pp. 23~31, No. 77, pp. 19~31, 1970. 9・10.

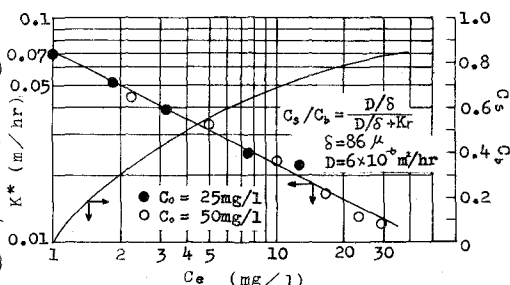


図-4 K^* と C_e の関係, C_s/C_o と C_e の関係

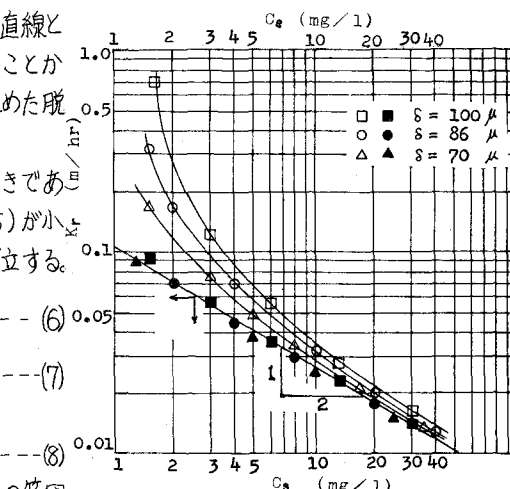


図-5 K_r と C_e の関係, K_r と C_o の関係

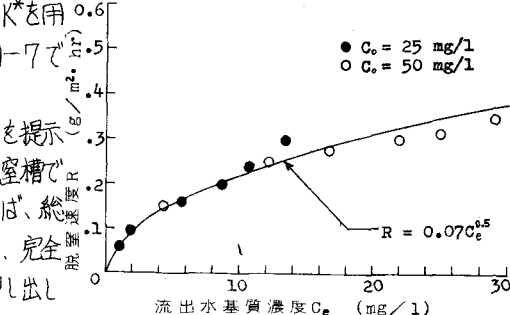


図-6 脱窒速度 R と流出水基質濃度 C_e の関係

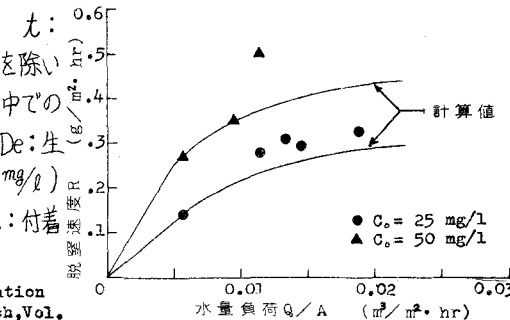


図-7 計算値と実験値の比較