

宮崎大学工学部 正員 石黒政儀
 宮崎大学工学部 正員 渡辺義公
 宮崎大学大学院 学生員 〇西留 清

1. はじめに 回転円板法の主体をなす必要円板面積の計算法としては単位円板面積1日当り着目基質負荷量および水量負荷が用いられているが、これらは十分に経験的で理論的裏付けに乏しい点がある。本文では特に嫌気性回転円板脱窒機構を対象とし、液本体から生物膜への基質移動と生物膜内拡散・反応を同時に考慮した動力学的モデルおよび押し出し流れと完全混合装置のフローパターンとを連立させて回転円板脱窒槽における脱窒率算定法を提示する。

2. 理論的考察 本法での脱窒機構は不均一反応であり、ろ水中の着目基質減少速度は(1)液本体から生物膜表面への基質移動過程(2)生物膜内基質の拡散過程(3)生物膜内での生物化学的反応による基質消費過程により決定される。図-1に任意時間におけるシステム内の濃度分布を示す。(a)では基質は生物膜最深部に到達しているが、(b)ではある深さ z^* で微小濃度 C^* となりその後は一定となる。このような濃度分布を設定すると円板上付着脱窒菌による単位円板面積当りの見かけの脱窒速度は、

$$\frac{1}{A} \frac{d(VC_b)}{dt} = -\frac{D}{\delta} (C_b - C_s) \quad (1)$$

定常状態での生物膜内の基質濃度分布は式(2)で与えられる。なお、生物膜内の反応は0次と仮定し、生物膜内の脱窒菌濃度は一様と考える。

$$De \frac{d^2 C}{dz^2} = R \quad (2)$$

反応速度 R は生物膜内脱窒菌濃度 X の関数であり、一般に図-2のような曲線関係が存在する。 X と C_s の関係を $X = k^* C_s$ と仮定すると R は式(3)のようになる。

$$R = rX = r k^* C_s \quad (3)$$

また、 $Q_s = De (dC/dz)_{z=0}$ であり、定常状態では式(2)を図-1の(a)、(b)について境界条件を設定して解いて式(4)、(5)が得られる。

$$(a) \text{ 完全浸透 } Q_b = -RZ_0 = -r k^* Z_0 C_s = -K_s C_s \quad (4)$$

$$(b) \text{ 不完全浸透 } Q_b = -\sqrt{2DeRC_s} = -\sqrt{2Der k^*} C_s = -K_s C_s \quad (5)$$

定常状態では式(1)は式(6)となる。

$$\frac{1}{A} \frac{d(VC_b)}{dt} = Q_s = -\frac{D}{\delta} (C_b - C_s) \quad (6)$$

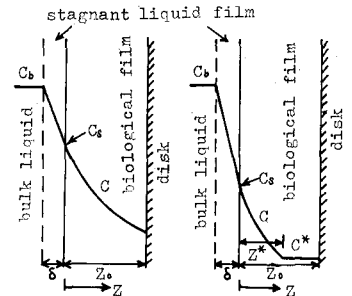
よえに、式(4)、(5)と(6)より式(7)が得られる。

$$C_s = \frac{D/\delta}{D/\delta + K_s} C_b = \frac{K}{K + K_s} C_b \quad (7)$$

式(7)を式(1)に代入して Q_s を消去すると、

$$\frac{dC_b}{dt} = -\frac{A}{V} \left(\frac{1}{K + K_s} \right) C_b = -\frac{A}{V} K^* C_b \quad (8)$$

式(8)を用いると定常状態における押し出し流れおよび完全混合型の回転円板脱窒槽の NO_3^-/N 残



(a) Complete Substrate Penetration
 (b) Incomplete Substrate Penetration

Fig-1 Complete and Incomplete Substrate Penetration

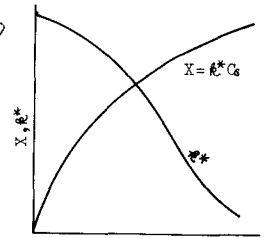


Fig-2 Relationship between X and C_s

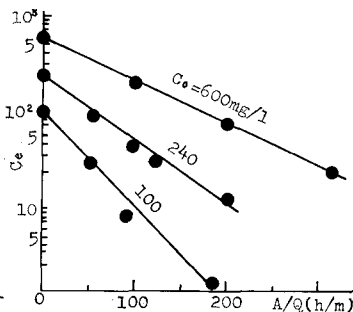


Fig-3 Verification of Eq.9

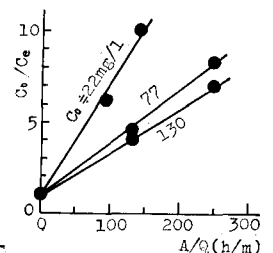


Fig-4 Verification of Eq.10

存率は次式で与えられる。

(a) 押し出し流れ脱窒槽

$$\frac{C_e}{C_0} = \exp(-K^* \frac{A}{Q}) \quad \text{----- (9)}$$

$$K^* = \frac{\int_0^L K^* dL}{L_0}$$

(b) 完全混合脱窒槽

$$\frac{C_e}{C_0} = \frac{1}{1 + K^* \frac{A}{Q}} \quad \text{----- (10)}$$

3. 実験および解析 前節で展開した理論の検証お

よび必要な定数値を決定するために押し出し流れ型と完全混合型の2装置による実験を行なった。実験装置の諸元や実験方法については別文^{2), 3)}を参照されたい。図-3は押し出し流れ脱窒槽の A/Q と C_e の関係を示し、式-(9)が成立し、 K^* が C_0 の増加に伴って減少していることがわかる。図-4は完全混合脱窒槽の A/Q と C_e/C_0 の関係で、式-(10)が成立し、 K^* が C_0 の増加につれて減少している。図-5は式-(9), (10)によって

計算された K^* , K^* と C_0 の関係で、フローパターンや A/V とは無関係に1本の回帰直線となり、図中の関係式が得られる。 C_0 と K^* の関係を実験値を用いて C_0 と C_e/C_0 の関係(式-(7))になおすと図-5の曲線のようになり、通常の NO_3-N 濃度範囲では付着水膜内の拡散過程を無視しえないことがわかる。図-5の K^* を用いて押し出し流れ脱窒槽の脱窒率を図中の A/Q について計算したのが図-6であり、実験値と良く一致している。

4. おわりに 総括脱窒速度係数 K^* は拡散項と反応項を含み、流入 NO_3-N 濃度が40 mg/l程度で両項の数値が等しくなり、その濃度以上では生物膜内の脱窒反応律速、その濃度以下では付着水膜内の拡散律速となる。定常状態では死水域のない押し出し流れ、完全混合のいずれのフローパターンにおいても脱窒率は水量負荷と総括脱窒速度係数により決定され、接触槽容量とは無関係となることを明らかにした。また総括脱窒速度係数は脱窒率80%以上の場合おきに流入 NO_3-N 濃度の関数となり、流入 NO_3-N 濃度が増加するにつれて小さくなる。このことから回転円板脱窒法では多段操作が有効であり、式-(9), (10)によって必要円板面積を合理的に算定できる。

記号表 A: 円板表面積(m²)、C: 生物膜内の NO_3-N 濃度(mg/l)、 C_0 : 液本体 NO_3-N 濃度(mg/l)、 C_e : 流出水 NO_3-N 濃度(mg/l)、 C_i : 流入水 NO_3-N 濃度(mg/l)、 C_s : 円板上付着生物膜表面 NO_3-N 濃度(mg/l)、D: 水中での NO_3 拡散係数(m²/h)、 D_e : 生物膜内での NO_3 拡散係数(m²/h)、 k^* : 定数、K: 定数(D/δ)(m/h)、 K_s : 定数($r k^* \Sigma_0$, $\sqrt{2De r k^*}$)(m/h)、 K^* : 総括脱窒速度係数(m/h)、 K^* : 押し出し流れ脱窒槽の総括脱窒速度係数(m/h)、 L_0 : 押し出し流れ脱窒槽の長さ(m)、Q: 流入水量(m³/h)、 Q_s : 生物膜表面での NO_3-N の变化速度(g/枚・h)、R: 生物膜内での脱窒速度(l/h)、τ: 時間(h)、V: 生物膜体積を除いた実質の接触槽容量(m³)、X: 生物膜内の脱窒菌濃度(mg/l)、Z: 生物膜の深さ方向への距離(m)、 Σ_0 : 生物膜厚(m)、 Σ^* : NO_3-N の生物膜内浸入深さ(m)、δ: 付着水膜厚(m)

参考文献

- 1) E.I. LaMotta: Internal Diffusion and Reaction in Biological Films, Environmental Science and Technology, Vol. 10, No. 8, pp. 765~769, Aug. (1976)
- 2) 石黒政儀, 渡辺義公, 西留清, 森山克美: 回転円板法による脱窒に関する研究(第3報), 土木学会西部支那研究発表会概要集, pp. 155~156, 2 (1977)
- 3) 渡辺義公, 石黒政儀, 西留清, 森山克美: 回転円板脱窒槽の動力学的解析, 土木学会論文集投稿中

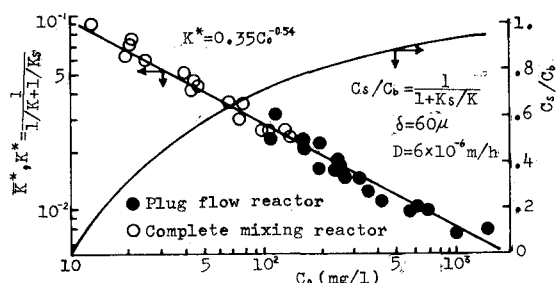


Fig-5 Relationship between K^* , K^* and C_0
Relationship between C_s/C_0 and C_0

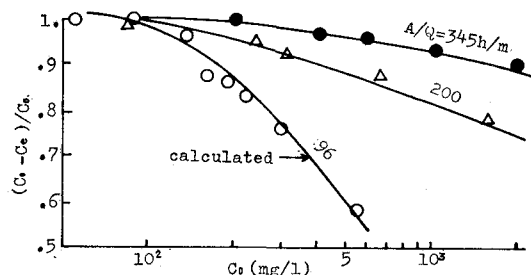


Fig-6 Comparison between Calculation and Experiment