

微細突起による回転円板への物質移動の促進

宮崎大学工学部 学○田代 雄児 学 岡部 聡

宮崎大学工学部 正 渡辺 義公 正 石黒 政蔵

1. はじめに

回転円板法による硝化では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の低濃度域(5mg/l程度以下)において、生物膜への $\text{NH}_4\text{-N}$ の輸送が反応を律速する。ゆえに、硝化効率を向上させるためには、生物膜への物質移動抵抗を軽減すること、すなわち、円板表面近傍に存在する拡散層を薄くしなければならない。既往の研究によれば、円板近傍の流れが層流の場合、拡散層厚(L_d)は、円板回転速度の1/2乗に反比例する。しかし、円板駆動動力費の軽減の観点からは、回転速度を小さくして運転することが望ましい。本研究では、円板回転速度を大きくしないで、 L_d を薄くするために、円板表面上に突起を取り付け、円板表面近傍に渦を発生させることにより、物質移動抵抗を軽減させることを検討した。また、円板浸漬率と L_d の関係についても検討を加えた。

2. 理論的考察

本研究では、回分実験により L_d を推定した。反応が生物膜への拡散過程に律速されている場合($C_{st} \gg C_{st}$)の硝化速度式は、

$$-\frac{1}{A_w} \frac{d(C_{st})}{dt} = K_d(C_{st} - C_{st}) \cong K_d C_{st} \quad (1)$$

となり、式(1)を積分して K_d を求め、式(3)より L_d を計算した。

$$K_d = \frac{D_w}{A_w} \cdot \frac{\ln(C_{st}/C_{st})}{t} \quad (2) \quad L_d = \frac{D_w}{K_d} \quad (3)$$

ここで、 A_w : 浸漬円板面積(m^2)、 K_d : 物質移動係数(m^2/s)、 C_{st} : $t=t$ の生物膜表面の基質濃度(mg/l)、 C_{st} : $t=t$ の液本体基質濃度(mg/l)、 C_{st} : $t=0$ の生物膜表面の基質濃度(mg/l)、 t : 反応時間(s)、 D_w : 水中での基質拡散係数(m^2/s)。この場合、 $C_{st}/C_{st} = 0.1$ 程度の場合において、 $C_{st} \gg C_{st}$ を満足すると仮定した。この仮定を満足する C_{st} の値を知るために、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 律速の場合、酸素律速の場合について、定常生物膜理論から作図した図-1(1)、(2)を用いた。

3. 実験装置と実験方法

(a) $\text{NH}_4\text{-N}$ 律速の場合: 槽容量2.3 l, 円板直径15 cm, 円板枚数5枚, 円板厚0.5 cm, 円板間隔2 cm, 円板浸漬率約50%の完全混合型装置である。突起は図-3のように、1.5 cm $\times$ 5 cmの平板を用い、円板中心から放射状に、最高8枚取り付けられるようにした。円板槽内の水温は、一定温度(25°C程度)に保った。原水として $\text{NH}_4\text{-N}$ と無機炭素を主体とする人工下水(50 mg/l)を用い、種汚泥として、宮崎市終末処理場の活性汚泥を加えて馴養した。原水の初期濃度と10 mg/lとして、突起と円板1枚あたり0枚、4枚、8枚、取り付けた場合において、回転速度4, 5, 9, 12 rpmそれぞれ回分実験を行ない、

$\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の経時変化を測定した。この実験は、生物膜近傍の流れが、層流領域($Re < 10^4$)である場合について行った。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の測定には、低濃度 $\text{NH}_4\text{-N}$ の測定に適するインドフェノール法とネスラー法を併用した。(b)酸素律速の場合: 槽容量27.6 l, 円板直径30 cm, 円板枚数10枚, 円板間隔2 cm, 円板厚0.3 cm, 円板表面積1.413 m^2 の完全密閉可能な完全混合型装置を用いた。浸漬率は、槽内に原水を満杯にした後、原

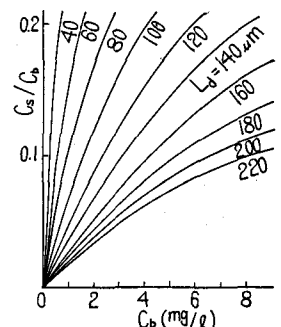
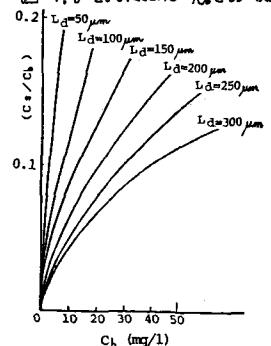
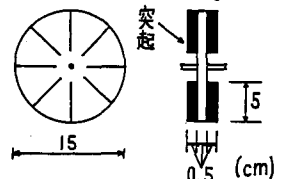
図-1. $t=20^\circ\text{C}$ における C_s/C_b と C_b の関係図-2. $t=20^\circ\text{C}$ における C_s/C_b と C_b の関係

図-3. 円板表面形状

水を引き抜き、その引き抜き量で水位調整を行った。この場合、槽内の酸素分圧を0にするため、槽上部よりヘリウムガスを注入した。原水として $\text{NH}_4\text{-N}$ と無機炭素と主体とする人工下水を用いた。浸漬率100%、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度50mg/l、DO濃度5%程度以上となるように調整し、回転速度を変化させ、DO濃度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度を測定した。また、回転速度3、10rpmにおいて、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度50mg/l、DO濃度5%程度以上となるように調整し、浸漬率を100、90、75、50、25、10%に変化させて、DO濃度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度を測定した。

4. 実験結果と考察

(a) $\text{NH}_4\text{-N}$ 律連の場合：回分実験による $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の経時変化の結果を片対数グラフにプロットした(図-4)。前記の理論に基づき、硝化反応が生物膜への $\text{NH}_4\text{-N}$ の拡散に律連される領域において、 L_d を(2)、(3)式より求めた。その結果を図-5に示す。図-5から明らかな様に、8枚突起の場合は、無突起の場合に比べ、全ての回転速度における拡散層厚は、約1/2となった。また、回転速度と拡散層厚の関係式の傾きは(-1/2)となり、Levichの理論に一致した。このように、円板表面上に突起を取り付けることにより、円板表面近傍の流れが乱され、物質移動抵抗が軽減されることが確認できた。

(b)酸素律連の場合：全水没型回転円板におけるDO濃度の経時変化を、片対数グラフに示した(図-6)。実験結果を式(1)、(2)により解析し求めた拡散層厚と回転速度の関係を図対数グラフに示した(図-7)。図中のLevichの理論線より、今回得られた値が低く、円板に付着している生物膜表面の凹凸に起因していると考えられる。回転速度3、10rpmで、浸漬率を90、75、50、25、10%に変化させた場合のDO濃度の経時変化を、図-8)に示す。図-8より、浸漬率が下がることでそれに伴い、拡散層厚が薄くなることがわかった。この理由については、現在、検討中である。

5. おわりに

本研究の結果、円板表面に突起を取り付けることにより、円板表面近傍の流れが乱され、拡散層厚が減少し、回転速度を大きくしなくても物質移動が促進されることと明らかにになった。また、拡散層厚に対して、円板浸漬率、回転速度が大きく影響することを確認された。今後は、突起の形状や配置などの、円板表面形状に対する詳細な検討を加えていきたい。

参考文献

- 1) 渡辺, 石黒, 西留: 回転円板法の浄化機構に関する研究(I) 下水道協会誌 Vol 15, No. 172, PP1~11
- 2) 斎藤, 渡辺, 石黒: 回転円板法における物質移動および固液分離性 59年度土木学会西部支部講演集
- 3) V. G. Levich: Physicochemical Hydrodynamic.

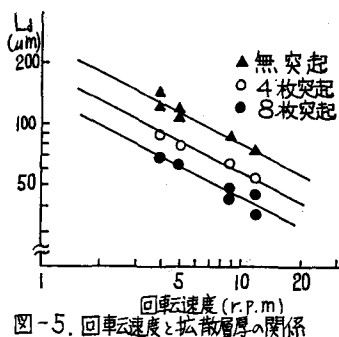
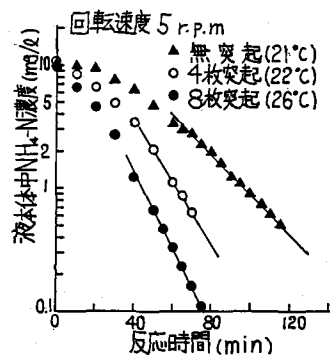


図-5. 回転速度と拡散層厚の関係

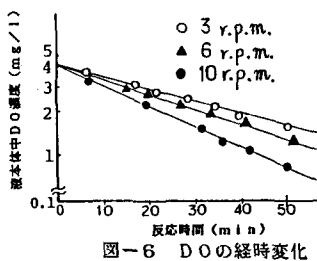


図-6 DOの経時変化

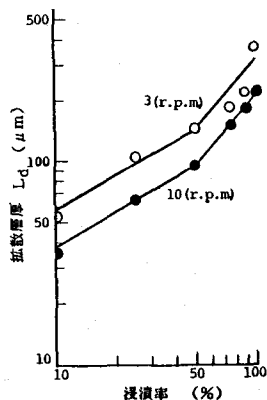


図-8 浸漬率と拡散層の関係

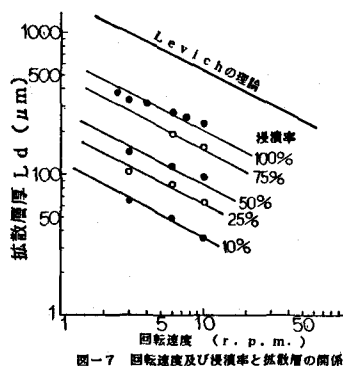


図-7 回転速度及び浸漬率と拡散層の関係