

VII-120

二重管型反応器の $K_L a$ 予測式に関する研究

京都大学 学生員 藤原 拓 京都大学 正 員 宗宮 功
京都大学 正 員 津野 洋 アタカ工業 奥野 芳男

1. はじめに

筆者らは二重管型反応器による窒素除去を検討している。本反応器を用いた窒素除去プロセスの操作・設計因子を検討するには、任意の形状の二重管型反応器に適用可能な液循環流速および $K_L a$ 予測式の構築が不可欠である。本研究では $K_L a$ の予測式の構築を実験的かつ理論的に試みる。

2. 実験方法

図1に実験装置図を示す。また、実験条件を表1に示す。反応器は有効水深4mおよび6mの二種類を使用した。実下水処理実験における条件に基づき、反応器断面積あたりの空気流量 u_{g0} ($\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) は系列1では $2.8 \times 10^{-4} < u_{g0} < 2.9 \times 10^{-3}$ の範囲で、系列2では $6.0 \times 10^{-4} < u_{g0} < 3.8 \times 10^{-3}$ とした。

表1 実験条件

系列	1			2
Run	1	2	3	1
ドラフトチューブ内径(m)	0.056	0.077	0.107	0.107
反応器内径(m)	0.298			0.298
ドラフトチューブ内径の反応器内径に対する比(D_i/D_o)(-)	0.19	0.26	0.36	0.36
反応器容積(m^3)	0.273	0.269	0.270	0.407
有効水深(m)	4.0			6.0
ドラフトチューブ高さ(m)	3.5			5.5
反応器底から散気位置の距離(m)	0.5	0.0 or 0.5	0.5	0.0 or 0.5
u_{g0} ($10^{-4} \text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	2.8-6.0	2.8-29	5.7-29	6.0-38

$K_L a$ の算出は塩化コバルトを触媒として使用した、亜硫酸ナトリウム添加による非定常法により行った。溶存酸素濃度の測定は溶存酸素濃度計を用いて外管部の水深2m（系列1）あるいは3m（系列2）の地点に於いて行った。散気装置はボールフィルターを使用し、発泡面積率（散気装置投影断面積／反応器断面積）は2%とした。空気温度および空気圧を測定し、曝気量を20℃、一気圧の値に補正するとともに、水温 T (°C) および反応器水深 H_r (m) を用いて式(1)^{1),2)}により飽和溶存酸素濃度 C_s (mg/L) を補正した。すなわち、 C_s は反応器の1/2水深における値で代表しようと仮定して解析を行った。

$$C_s = (14.16 - 0.3943T + 0.007714T^2 - 0.0000646T^3) \{1 + (H_r/2)/10.24\} \quad (1)$$

3. 結果および考察

気泡が全て球状で、かつ反応器内で気泡径が一定であると仮定し、液膜酸素移動係数を K_L (m/s)、気泡数を n (個)、平均気泡半径を r (m)、反応器全容積を V (m^3) とすると $K_L a$ (1/s) は次式で示される。

$$K_L a = K_L \cdot (4 \pi r^2 \cdot n) / V \quad (2)$$

また、ガスホールドアップ ϵ_o は次式で示される。

$$\epsilon_o = (4/3 \cdot \pi r^3 \cdot n) / V \quad (3)$$

式(2)および式(3)より式(4)を得る。

$$K_L a = 3K_L \cdot \epsilon_o / r \quad (4)$$

ϵ_o に関しては、筆者らが反応器底から散気水深までの距離 H_N が0の条件下の実験から予測式を構築している³⁾が、

キーワード：二重管型反応器、 $K_L a$ 、ガスホールドアップ

連絡先：藤原 拓（京都大学大学院水環境工学分野、京都市左京区吉田本町、TEL:075-753-5166、FAX:075-753-5784）

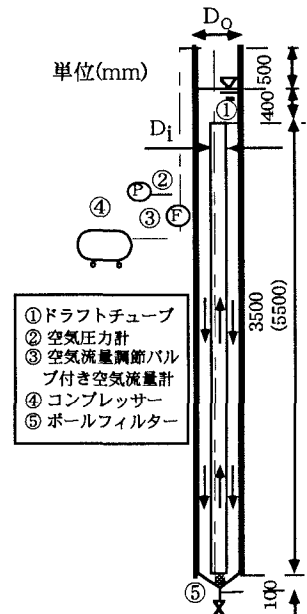


図1 実験装置図

ここでは $H_N \neq 0$ の場合には予測式を(5)式のように補正する。

$$\varepsilon_g = 0.487 \left(\frac{u_{go}}{\sqrt{gD_o}} \right)^{0.807} \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^{0.0879} \left(\frac{H_F - H_N}{H_F} \right) \quad (5)$$

式(4)に式(5)を代入し整理することにより次式を得る。

$$K_L a = 1.46 \left(\frac{u_{go}}{\sqrt{gD_o}} \right)^{0.807} \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^{0.0879} \left(\frac{H_F - H_N}{H_F} \right) \left(\frac{K_L}{r} \right) \quad (6)$$

Higgle の浸透説によると、 K_L は次式で表現しうる⁴⁾。

$$K_L = \sqrt{\frac{2D_A u_s}{r\pi}} \quad (7)$$

ここで、 D_A は酸素の水中での拡散係数 (m^2/s)、 u_s はスリップ速度 (m/s) である。 u_s はほぼ一定値をとるとみなせる⁵⁾ので、 D_A を一定と仮定すれば K_L は r の関数として表される。一方、平均気泡半径 r は散気水深 ($H_F - H_N$) の関数で表現しうると考えられる。以上より、 (r/K_L) は散気水深の関数で表現しうると考えられる。式(6)に各種装置因子、 u_{go} 、および $K_L a$ の実測値を代入することにより r/K_L を得、散気水深との関係を示したのが図2である。回帰分析により、かなり誤差を含むが次式を得た。

$$r/K_L = 2.86 \times (H_F - H_N)^{0.111} \quad (R=0.31) \quad (8)$$

式(8)を式(6)に代入し、整理すると式(9)を得る。

$$K_L a = 0.510 \left(\frac{u_{go}}{\sqrt{gD_o}} \right)^{0.807} \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^{0.0879} \frac{(H_F - H_N)^{0.889}}{H_F} \quad (9)$$

式(9)を用いることにより、任意の装置形状 (D_i, D_o, H_F, H_N) および反応器断面あたり空気流量 (u_{go}) における $K_L a$ を予測することが可能となる。なお、 $H_N = 0$ の場合には式(9)は空気吹き込み率 (G_s/V) ($\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$) を用いた次式に変形できる。

$$K_L a = 0.510 \left(\frac{1}{\sqrt{gD_o}} \right)^{0.807} \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^{0.0879} \left(\frac{G_s}{V} \right)^{0.807} H_F^{0.696} \quad (10)$$

ここで、水深 H_F の指数 0.70 は散気盤を用いた場合の文献値 0.71 から 0.77⁶⁾ とほぼ一致している。 $K_L a$ の実測値と式(9)による予測値の比較を $H_N = 0\text{m}$ と 0.5m の条件に分けて図3および図4に示す。図より、いずれの条件下でも実測値の $\pm 20\%$ 以内で予測できており、本予測式を用いて任意の形状の二重管型反応器の $K_L a$ の予測が可能であることが明らかになった。また、ガスホールドアップ予測式の補正に問題がなかったことも明らかになった。

4. まとめ

任意の形状の二重管型反応器に適用可能な $K_L a$ の予測式を理論的かつ実験的に構築し、予測式を用いることで実測値の $\pm 20\%$ 以内で予測することが可能であることを実証した。

なお、本研究は文部省科学研究費(07455210)の補助及び一部廃棄物研究財団からの研究費補助を受けて行った。

<参考文献>

- 1) W.W.ECKENFELDER, JR., D.F.O'CONNOR, 岩井重久訳：廃水の生物学的処理、PP.76
- 2) 宗宮功：活性汚泥法の操作因子に関する基礎的研究、京都大学博士学位論文、pp.26、1968
- 3) 藤原ら：エアリフト二重管縦型下水処理反応器における液流動に関する研究、土木学会誌論文、受理
- 4) Higbie, R. : Trans. Inst. Chem. Engrs., Vol. 31, pp.365
- 5) 星野ら：活性汚泥法エアレーションタンク内の液旋回流速、下水道協会誌、Vol.14, No.160, pp.22-30、1977/9
- 6) W.W.ECKENFELDER, JR., D.F.O'CONNOR, 岩井重久訳：廃水の生物学的処理、PP.104

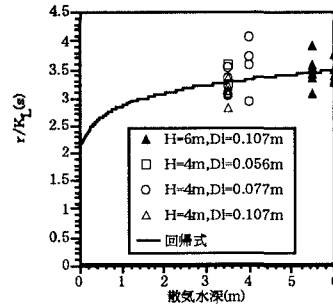


図2 散気水深 ($H_F - H_N$) と r/K_L の関係

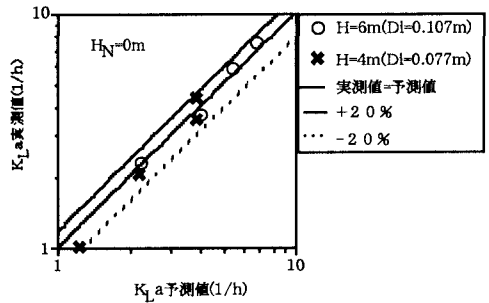


図3 $K_L a$ 予測値と実測値の比較 ($H_N = 0\text{m}$)

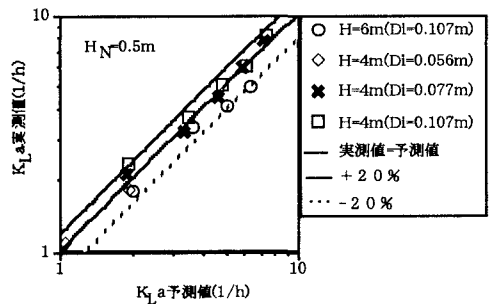


図4 $K_L a$ 予測値と実測値の比較 ($H_N = 0.5\text{m}$)