

大阪大学 正員 藤田 正憲

大阪大学 正員 橋本 奨

1. まえがき

曝気槽内活性汚泥に必要な有効接触時間, 溶存酸素(DO), 沈降防止については, 旋回流式曝気槽ではすべて通気量制御でなされている。散気装置を離れた気泡は, その装置に応じた気泡径で, 主として密度差により上昇する。その際, 液との間で生ずる抵抗は気泡の持つ力と考え, これが散気装置から液表面まで上昇する間に行う仕事と気泡仕事と定義すると, この仕事は表面流速, 混合時間あるいは酸素溶解速度を決定すると言える。以下, スケールアップ因子として総括酸素移動係数($K_L a$)と考え, これと気泡仕事の関係から旋回流式曝気槽のスケールアップについて検討する。

2. 理 論

取扱いを容易にするため次の仮定を設ける。(1)気泡は球形である。(2)液の上下で気泡の大きさ, 形は変わらず, 気泡の分離・合一もない。

気泡1個が移動する際の抵抗は, 気泡直径を d (cm), 気泡上昇速度を U (cm), 抵抗係数を C_D , 液密度を ρ (g/cm^3)とすると次式で表わされる。

$$\text{抵抗} = \text{気泡の持つ力} = C_D(\rho U^2/2) \cdot (\pi d^2/4) \quad (1)$$

気泡が散気装置を離れてから液表面まで上昇する間に行う仕事は次式で表わされる。

$$[W_b]_s = \frac{C_D \cdot \pi \cdot \rho \cdot U^2 d^2 (H - H_0)}{8 g_c} \quad (2)$$

H (cm)は水深, H_0 (cm)は槽底からの散気装置の位置, g_c ($g \cdot cm / gr \cdot sec^2$)は重力換算係数, $[W_b]_s$ ($g \cdot cm$)は1個の気泡仕事を表わす。通気量を G_S (cm^3/sec)とすると, 気泡全体の仕事 W_b ($g \cdot cm/sec$)は

$$[W_b] = \frac{3}{4} \cdot C_D \cdot \frac{\rho U^2}{g_c} \cdot \frac{H - H_0}{d} \cdot G_S \quad (3)$$

ここで $(H - H_0)$ は散気装置深さを表わす。散気装置を槽底に設置する場合, (3)式の $H_0 = 0$ とみなせる。

桐原¹⁾の流動層内での気泡径と気泡上昇速度の間の関係を(3)式に代入し, 整理すると

$$W_b = 0.72 C_D \cdot \rho (H - H_0) \cdot G_S \quad (4)$$

(4)式では, 気泡仕事は散気装置深さ(あるいは水深)と通気量に比例するという簡単な関係となる。

以下で述べる実験的研究では, 透明な曝気槽を使用していないなどの理由から, 気泡径, 気泡上昇速度を求めているため, 各実験について正確な W_b を求め

ることが困難である。そこで W_b のかわりに従来から用いられているガス圧縮仕事で代用しうるかどうかが検討した。断熱圧縮仕事 P ($g \cdot cm/sec$)は,

$$P = 3619 G_S [(p/p_0)^{0.286} - 1] \quad (5)$$

ここで p (g/cm^2)は吐出側圧力, p_0 ($=1034 g/cm^2$)は吸込側圧力である。吐出側圧力については, 噴出圧力差, 散気装置の圧損²⁾などを考慮し, 近似的に次式で表わせることを示した。

$$P = P_0 + 1.25 H \quad (6)$$

(6)式を(5)式に代入し整理すると

$$P \propto (H - H_0) \cdot G_S \quad (7)$$

(3)式(4)式と(7)式を比較し, P は W_b と良い相関があることがわかる。

物質移動係数の次元解析から得られた次の関係式³⁾

$$Sh = C (Re)^m (Sc)^n \quad (8)$$

に(3)式を代入し, $K_L a$ について整理すると

$$K_L a = K_{LV} \frac{A}{V} = C' \frac{(dU)^{m-1}}{C_D U^2} \cdot \frac{W_b}{V} \quad (9)$$

ここで $Sh = \gamma x$ —ウッッド数, $Re = \rho U d$ —レイノルズ数, $Sc = \mu / D$ —シュミット数, 比表面積 $a = A/V$ ($1/cm$)は次式で示される。

$$a = \frac{A}{V} = \frac{6 G_S (H - H_0)}{d \cdot U \cdot V} \quad (10)$$

(9)式から $K_L a$ は W_b の関数となることがわかる。

Eckenfelder⁴⁾は, 気泡曝気では(8)式の m が1になることを報告している。従って(9)式は

$$K_L a = C'' (1/C_D \cdot d) \cdot (W_b/V) \quad (11)$$

(9)式あるいは(10)式は旋回流式曝気槽で気泡径が槽の大小にかかわらず一定となるように散気装置を選択すれば、 $K_L a$ は W_b の関数として表わされ、スケールアップ式として用いることができる。

3. 実験材料ならびに方法

(1)円筒型実験曝気槽：直径14cm, 高さ40cmの円筒型で実容積4.5ℓ, 水深30cmである。散気には多孔性散気装置を用いた。(2)角型実験曝気槽：縦47cm, 横47cm, 高さ74cm, 実容積100ℓ, 水深47cm, 多孔性散気装置を用いた。(3)矩形型実験曝気槽：縦50cm, 横287cm, 高さ200cm, 実容積2.68m³, 水深187cm, 散気にはプラスチック散気板ならびにスパージャーを用いた。

DOは(1)(2)はDOメーターにより、(3)はウインクラーのショート変法で測定した。 $K_L a$ はモーメント法により算出した。よって $K_L a$ はすべて20℃に換算して表わした。

4. 実験結果ならびに考察

先にも述べた様に各曝気実験において、気泡径、気泡上昇速度を測定することが困難であり、(3)式から W_b を計算することがむずかしく、 W_b のかわりに P を計算し、 $K_L a$ との関係について検討した。各実験曝気槽で得られた P/V と $K_L a$ の関係を図示すると第1図のようになる。図には同時に、寺岡ら⁵⁾, Morgan・Bewtra⁶⁾, King⁷⁾のデータを引用して、 P/V と $K_L a$ の関係を示している。ここで図中番号(1)~(3)は演者ら、(4)は寺岡ら、(5)はMorgan・Bewtra、(6)~(9)はKingの結果を表わす。各点は傾き0.8の直線で近似でき、(9)式あるいは(11)式が近似的に成立することがわかる。傾きが1より小さいのは、微細気泡曝気では通気量の増大と共に気泡の合一などが起り、気泡径が大きくなるためと推測される。実用的見地から槽の水深に対し $P/V = 1$ (kg-m/m³.sec)の時の $K_L a$ 値とプロットすると第2図のようになる。図から明らかなようにKingのデータが一つの直線にのり、演者ら、寺岡ら、Morgan・Bewtraのデータが同一直線上にのる。これは散気装置の差による気泡径のちがいに起因すると考えられる。第1図、第2図から $K_L a$ 、 P/V 、 H の間の関係を式で表わすと次のようになる。

○演者ら・寺岡ら・Morgan・Bewtraの結果 $K_L a = 5.9 (P/V)^{4/5} \cdot H^{-2/3}$ --- (12)

○Kingの結果 $K_L a = 8.6 (P/V)^{4/5} \cdot H^{-2/5}$ ----- (13)

旋回流式曝気槽のスケールアップでは、 $K_L a$ を一定となるようにガス圧縮仕事を大きくすればよい。従つて(12)式から $K_L a$ を一定とおき式を変形すると

$$(P/V)_L = (H_L/H_S)^{5/6} (P/V)_S \text{ ----- (14)}$$

(10)式では上式(14)の指数は $5/6$ となる。ここで赤字 L は大曝気槽を、赤字 S は小曝気槽を表わす。上式からパイロットスケール曝気槽での $(P/V)_S$ が決まれば、その水深の比の $5/6$ 乗倍したものが実験値 $(P/V)_L$ となる。

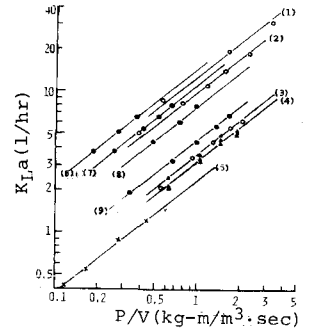
又、矩形型実験曝気槽を用い、散気板とスパージャーの設置位置、深さを種々変えて得られた P/V と $K_L a$ の関係をプロットすると第3図のようになる。散気装置設置位置、深さにかかわらず同一直線で表わされる。以上からスケール、散気装置設置等にかかわらず $K_L a$ は W_b あるいは P で相関づけられる。

文献：1)Toei, R. et al : Kagaku Kogaku, 29, 851 (1965) 2) Hashimoto, S. et al :

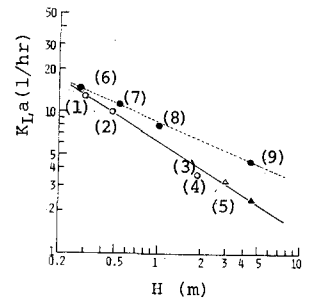
Hakko Kagaku Zasshi, 41, 208 (1963) 3) Fujita, S. : Kagaku Kogaku I, p.100, Iwanami

Zensho (1956) 4) Eckenfelder, W.W., Jr. : J.SA Div., 85, 89 (1959) 5) Teraoka, H.

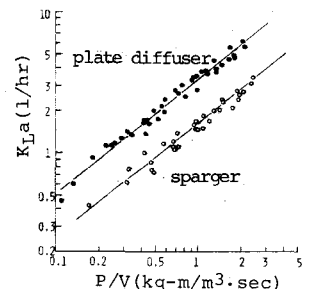
et al : Suido Kenkyusho Hokoku, 5, (1) 12 (1968) 6) Morgan・Bewtra: JWPCCF, 32, 1047 (1960) 7) King: S&I, 27, 894 (1955)



第1図 ガス圧縮仕事と $K_L a$ の相関



第2図 水深と $K_L a$ の関係



第3図 各散気装置深さにおける $K_L a$ と P/V の関係