

清水建設(株)研究所 正員 〇丹羽十明
同 正員 平山照康

1 はじめに

生物化学的接触酸化法において、酸素供給の手段として採用されている方法には、散気法、ポンプ循環法、表面曝気法があるが、ポンプ循環法では固定床内に均一に廃水を循環しうるので汚濁物を均等に固定床附着微生物に供給されるうえ、まんべんなく酸素を供給できるので嫌気性部分を生じないという利点がある。ここでは、ポンプ循環による酸素供給法に関して検討し、実験式を求め、これを実装置へ応用する場合について考察した。

2 実験装置と実験方法

実験装置：図-1に実験装置の概要を示す。循環ポンプにより槽内底部に配置した配管から均等に廃水を吸引し、導入管を経由して上部の配管に接合した多数の穴から噴出することにより、気中の酸素を廃水中に供給する。

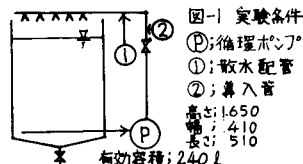


表-1 実験条件

要因	単位	水準
A 噴出高さ H	m	0.7, 0.5, 0.3
B 噴出口の径 D	mm	5.5, 8.0, 12.0
C 噴出速度 V	m/sec	0.424, 0.848, 1.614

実験方法：塩化コバルトを触媒とする亜硫酸ソーダ法により槽内溶解酸素(DO)の経時変化を求めた。

実験条件：表-1に示す要因と水準に従い統計的ケースの実験を行なった。

3 実験結果と考察

気液接触でのガス吸収速度は、二重膜説により①式で示される。

$$\frac{dC}{dt} = k_L A (C_s - C) \quad \text{--- ①}$$

①の両辺を有効槽容量Vで割れば、

$$\frac{1}{V} \cdot \frac{dC}{dt} = \frac{dC}{dt} = k_L a (C_s - C) \quad \text{--- ②}$$

②を積分すると

$$k_L a = \frac{2.303}{C_s - C_i} \log \frac{C_s - C_f}{C_s - C_i} \quad \text{--- ③}$$

槽内水面上における飽和DO濃度 C_s を求め、片対数グラフ上に槽内DO濃度 C が零から上昇しはじめたときの経過時間 t と溶解

表-2 $k_L a$ 及び k_L の一覧表

D	5.5	8.0	12.0
H	0.424 0.848 1.614	0.424 0.848 1.614	0.424 0.848 1.614
0.7	3.47 9.22 10.64	3.57 7.68 7.69	3.63 9.17 12.85
	1.77 4.71 10.33	2.65 5.71 10.28	4.04 10.21 28.6
0.5	3.64 8.42 10.15	3.62 7.41 7.55	3.17 9.19 11.84
	2.61 6.03 13.81	3.27 6.70 12.28	4.94 14.32 36.9
0.3	2.73 7.78 9.53	2.67 7.01 7.60	2.62 7.84 12.10
	5.23 10.15 21.51	4.62 12.15 23.71	6.81 20.38 62.91

表-3 分散分析表

要因	自由度	分散(T)	F ₀
A	2	10.33	4.49*
B	2	1.02	0.44
C	2	104.07	45.25*
AxB	4	2.27	0.99
AxC	4	6.53	2.84
BxC	4	2.31	1.00
E	8	2.30	

*注：上段 $k_L a$ 、下段 k_L 。

酸素不足濃度($C_s - C$)をプロットし、その傾きから総括移動容係数 $k_L a$ を算出し、結果を表-2に示した。

各要因の主効果と交互作用に関して分散分析を行なった結果を表-3に示す。これらからわかるように、危険率5%のF検定において各要因相互の交互作用はすべて有意ではないという結果が得られた。従って、以後主効果を中心に考える。ここで、気液接触面積Aとして、噴出口から噴出する水柱の全表面積を用いて④式から乗換係数 k_L を算出することを試みた。

$$k_L = k_L a \frac{V}{A} = k_L a \frac{10^3 V}{\pi D H} \quad \text{--- ④}$$

実際には、酸素の吸収は噴出水流が気空中を飛行しているときのみではなく水面に衝突する際にも起こるが、後者の影響は実験式の係数、及び指数の中に含めて考えた。④式から求めた k_L を表-2に示す。 k_L に対して任意の一つの因子を変数にし、他をパラメーターとした片対数の一連のグラフを描く。その二例を図-2, 3に示した。 k_L を噴出速度、噴出高さ、噴出口径の函数として⑤式で表わし、これら一連のグラフから各々の勾配として指数、 α , β , δ がそれぞれ0.79, 1.34, 1.12と求められた。

図-2 k_L とHとの関係

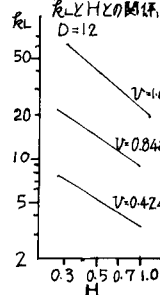
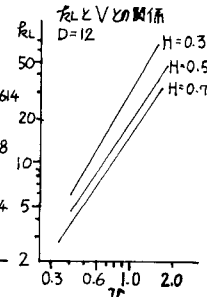


図-3 k_L とVとの関係



$k_L = k_{L0} \cdot H^{0.4} \cdot V^{0.7} \cdot D^{-0.5}$ ----- ⑤ 各実験条件下で④式で得られた k_L を⑤式に代入して k_{L0} を算出し、その平均値を実験式に代入する、もとめる k_{L0} とした。(標準偏差 20) 得られた実験式は⑥式であり、さらに温度係数を1.032として20℃に換算すると⑦式となる。

$$k_L = 0.598 \times \frac{V^{0.7} D^{0.5}}{H^{0.4}} \text{ ----- ⑥} \quad k_{L20} = 0.48 \times \frac{V^{0.7} D^{0.5}}{H^{0.4}} \text{ ----- ⑦}$$

⑥式は次のよう解釈される。

(1) V , D の指数が1以上の値として求められており、酸素は噴出水柱側面だけでなく、槽内表面水からも吸収されることを示している。

(2) D 及び V がともに大きいときは、⑦式からの計算より実

験値の方が若干大きく出る傾向にあるが、これは噴出水柱の形状が円柱ならずれてくるためと考えられる。

V , H , D を選定したとき、以上の諸式等を用いて廃水処理に要求される酸素を供給するために必要な循環水の空間速度 S (循環水量/充填材容量)、線速度 L , 横断面積当りの噴出口数、槽上部及び下部での D の濃度等を算出するプログラムを表-4のフローシートにもとづき作製した。

表-5の廃水処理条件にもとづき計算した結果の一部を図-4~8に示した。得られた結果を総覧すると V , H , D , 温度, 槽平均要求 D の濃度 C_d などの相関により、必要な S は10~25 [h^{-1}], L は40~100 [m^2/h]の範囲にあり、実情にあった値である。図-4より、必要な S は噴出速度にかなり影響を受け、特に10 [m^2/h]以下では急に増大することがわかる。また、槽平均要求 D の濃度を高くすると、必要な S が増大する。図-5より噴出高さを変化させたときも必要な S はかなり変化するが、流速による影響よりは小さいことがわかる。図-6から噴出口径による S , L の差異はさらに小さいことがわかる。また、図-7から槽内平均要求 D の濃度を大きくしようとすると必要な S は急激に増大することがわかる。図-8は槽上部 D の濃度 C_u , 槽下部 D の濃度 C_d 及び $(C_u - C_d)$ と S との関係を図示したものである。酸素荷荷量が定まれば、槽内平均 D の濃度と S のみによって C_u , C_d が求められるが、同図から S が大きくなるにつれて循環量は大きくなり、 C_u , C_d は C_{av} に近づく、 $(C_u - C_d)$ は徐々に減少することがわかる。その他、 S に対する水温の影響はそれほど大きくないことも判明した。

4. まとめ

- (1) 生物化学的接触酸化法において、廃水をポンプ循環し槽上部の円形の穴から噴出することによって酸素を供給する手法をとる場合、液膜係数は実験式①によって算出される。
- (2) 必要な空間速度、線速度、循環率に対し、噴出流速、噴出高さの影響は噴出口径の影響に比べ小さい。
- (3) 酸素供給効率、固定床表面からの微生物の剥離、噴出口での目詰まり、 S , L , 建設コスト等を考慮して、噴出高さは95~98 m, 噴出速度は1.0~1.5 m^2/h , 噴出口径は12~20 mmにとるのが得策と考えられる。

記号; d_m ; 時間 t に溶解する酸素の量 R ; 循環率 A ; 気液接触面積 C_s ; 飽和 D の濃度 C ; 液中の D の濃度 C_1, C_2 ; 時間 t 及び t_0 における D の濃度 D ; 噴出口の直径 H ; 噴出高さ α ; 噴出口の数

表-4 電算プログラムのフローシート

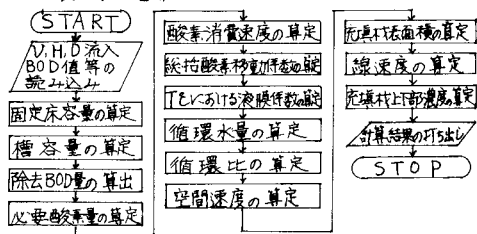


表-5 廃水処理条件一覧表

名称	次元	数値
原水 BOD濃度	PPM	200
BOD容積負荷	kg/m^3	1.0 (0.6, 1.5)
充填材高さ	m	4
水温	$^{\circ}\text{C}$	15, 20, 25, 30
槽内平均 D 濃度	PPM	2, 3, 4, 5
槽容量	m^3	充填材容量の2倍とする
噴出高さ	m	0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5
噴出速度	m^2/h	0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0
噴出口径	mm	5.0, 7.0, 10.0, 15.0, 20.0

