# 曝気槽への最適空気配分に関する一考察

京都大学工学部　正会員　○内藤正明
〃　　〃　内藤美紀子
〃　学生員　山口泰正

## 1. はじめに

曝気槽の設計，操作についてはこれまで種々の工夫がなされ，Step aeration，Step sludge，Tapered aeration 法など，特に槽への物質の供給方法に関する変法が見られる。既に，廃水と汚泥の分配方式については著者らのものを含めいくつかの研究[1)2)]がみられるが，空気の分配供給方式に対する定量的な検討はまだなされていないようである。ここでは押出し流れタイプの曝気槽を対象に，その流下方向に沿って最も効果的な空気吹込みはどのようなものであるかを，或る種の数式モデルに基づいて数値的に検討してみた。

## 2. プロセスの定式化

連続流入矩形タイプの曝気槽を対象とすると，そのプロセス方程式は一次元拡散モデル式を用いて次のように表わされる。

$$\frac{\partial \mathbb{C}}{\partial \tau} = \frac{1}{P_e}\frac{\partial^2 \mathbb{C}}{\partial \eta^2} - \frac{\partial \mathbb{C}}{\partial \eta} + T\phi + Tg\frac{\mathbb{C}^{in}}{A} \quad \text{-------- (1)}$$

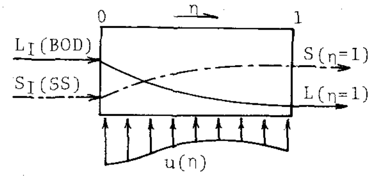

Fig.1 Schematics of aeration tank

ここに　${}^T\mathbb{C} = (L, S, O) =$ (BOD濃度, SS濃度, DO濃度)
$\tau = t/T$, $P_e = \frac{vl}{D}$, $\eta = \frac{x}{l}$ ；無次元量
$t$：時間，　$x$：距離，　$T$：曝気槽滞留時間
$l$：槽長，　$v$：流速，　$A$：断面積

である。なお反応項$\phi$は次のようなタイプを考える。

$${}^T\phi = \left[ -kSL + \beta bS,\ akSL + bS,\ K_La(O_s - O) + \alpha(-kSL + \beta bS) \right] \quad \text{-------- (2)}$$

ここでは次の3つの条件を満すような状態の曝気槽操作を対象とする。(i) 定常状態 $\frac{\partial \mathbb{C}}{\partial \tau} = 0$，(ii) 押し出し流れ状態 $P_e \to \infty$，(iii) 槽内では途中から廃水，返送汚泥の注入はない，即ち $g(\eta) = 0$。これらを代入すると(1)式は次の簡単な定常押出し流れの式となる。

$$\frac{d\mathbb{C}}{d\eta} = T\phi \quad \text{-------------- (3)}$$

さて，ここで注目している空気吹込みの曝気槽効率に及ぼす影響を計算するには，空気吹込み度合と基質除去速度とを最終的に関係づけなければならない。これについて従来の研究[3)4)]を参考に次のような式を採用した。

$$k = k_0 O^{\gamma_1} \quad \text{------ (4)} \qquad K_La = K_0 u^{\gamma_2} \quad \text{------ (5)}$$

ここに $u$ は単位曝気槽長さ当りの空気吹込み強度であり，これをここでの操作変数とする。以上のプロセス方程式に基づき最適化計算を行なうのであるが，目的関数は空気吹込みに要する動力費をとる。即ち

$$C_{op} = p\int_0^1 u(\eta)^{\delta} d\eta \quad \text{------------- (6)}$$

この(6)式を最小にするような $u(\eta)$ の関数形を決定する。このとき出口基質濃度をある一定値に保つことを束縛条件とする。即ち $L(\eta=1)=L_c$ -----(7)。

3. *Variational method* による最適化計算

上節で求めたプロセス方程式(3)を用い(7)式の束縛条件下で(6)式の目的関数を最小にする $u(\eta)$ を求めるため次の Lagrangean を導入する。なお計算の便宜上 $(L, S, O)=(x_1, x_2, x_3)$, $\dot{x}=f(x)$ と記号を変換する。

$$\mathcal{L}=\int_0^1\left\{pu(\eta)^g+\lambda_1(f_1-\dot{x}_1)+\lambda_2(f_2-\dot{x}_2)+\lambda_3(f_3-\dot{x}_3)\right\}d\eta \quad \text{----------} \quad (8)$$

その第1変分をとり，境界条件を考慮し、

$$\delta\mathcal{L}=\int_0^1\left(pgu^{g-1}\delta u+\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}\lambda_i\frac{\partial f_i}{\partial x_j}\delta x_j+\lambda_3\frac{\partial f_3}{\partial u}\delta u-\sum_{i=1}^{3}\lambda_i\delta\dot{x}_i\right)d\eta=0 \quad \text{-------}(9)$$

となるような条件として、次の結果が得られる。(なお その間の計算過程は省略する。)

$$\dot{\lambda}_1=k_0x_3^{r_1}x_1T(\lambda_1-a\lambda_2+\alpha\lambda_3)$$

$$\dot{\lambda}_2=k_0x_3^{r_1}x_1T(\lambda_1-a\lambda_2+\alpha\lambda_3)-\beta(b\lambda_1+\lambda_2+\alpha b\lambda_3)T$$

$$\dot{\lambda}_3=k_0x_3^{r_1-1}x_1x_2r_1T(\lambda_1-a\lambda_2+\alpha\lambda_3)+\lambda_3K_0u^{r_2}$$

$$u=\left\{-\lambda_3K_0r_2T(O_s-x_3)/pg\right\}^{1/g-r_2}$$

したがって以上4つの式と(3)式 合計7つの常微分方程式を連立して解けば目的とする解 $u(\eta)$ が求まる。勿論これは計算機による数値解析によらねばならない。

4. 数値計算結果及びその考察

上記のプロセスモデルに基づき以下のような諸条件に対して数値計算をおこなった。

パラメータ値：$a=0.52$, $b=0.001$, $k_0=0.00012$,

$K_0=18.0$, $O_s=8.0$, $P=1.0$, $g=1.08$

$r_1=0.4$, $r_2=0.81$, $\alpha=0.052$, $\beta=0.04$

設計条件：$T=4.0(hr)$, $S|_{\eta=0}=3000(ppm)$, $O|_{\eta=0}=8.0(ppm)$

$H=4.5(m)$, $B=20.0(m)$, $L_c=20.0(ppm)$

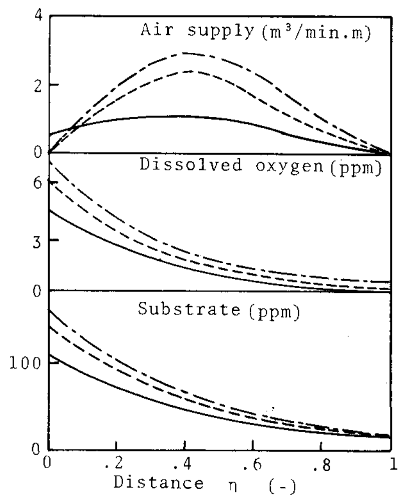


Fig.2 Optimum distribution of air and pertinent BOD and DO change.

計算結果の一例を図-2に示す。これは流入基質濃度が 180(鎖線), 160(点線), 115ppm(実線)の三種の場合、出口濃度を 20ppm にする為の最適空気配分を示したもので、いずれも入口端より1/3程度の距離でピークを持ち以后出口に向けて吹込みを減少させるのが望ましく、これは Tapered aeration の操作と類似している。なお、BOD除去率を少し上げる為には吹込み空気量を極めて増大しなければならないことがみられる。なお、ここでは流入廃水の DOレベルを相当高くとっているのが現実的でない。本研究の目的は結果そのものより計算手法の紹介にあり、これを用いて将来のデータ蓄積をまち、一層実用的な結果が導かれよう。

終りに本研究の数式展開について御指導いただいた橋本助教授(京大化工)に感謝致します。

[引用文献] 1) 合田：第4回衛生工学シンポジウム論文集(1967) 2) 高松，内藤外：下水道協会誌 5, 46 (1968)
3) Monod, J.：Ann. Rev. Microbiol, 3, 394 (1949), 4) 西田：京大衛生工学 修士論文 (1966)