

(京大) 正会員 高松武一郎， 内藤正明

(カンサス州立大) L. T. Fan

1. はじめに

活性汚染プロセス全体の最適化を検討する一段階として，その主要部である曝気槽と最終沈殿池の組合せに対する最適設計を考察する．ここでの最適化とは具体的には両槽の全容積又は全建設費を最少にするという目的関数の下に，両槽容積比，および，汚泥返送率ほどの程度であるのか望ましいかを数値計算によって検討したものである．

2. 基礎式

曝気槽表示式………生物化学反応の速度式として，M'Kendlich - Pan モデルを採用する．

$$\phi_L = \left(\frac{dL}{dt} \right)_B = -kSL + \beta bS \quad (1), \quad \phi_S = \left(\frac{dS}{dt} \right)_B = a kSL - bS \quad (2)$$

ここに L : 基質濃度， S : 汚泥濃度， k ， β ， b ， a は反応に固有の係数

Suffix B は batch kinetics を示す．

曝気槽混合モデルとしては押出流れと，完全混合の両極限状態を考える．

$$\langle \text{押出流れに対して} \rangle \quad dL/dx = \phi_L T_A \quad (3), \quad dS/dx = \phi_S T_A \quad (4)$$

ここに境界条件は $x=0$ にて， $L=L_0$ ， $S=S_0$ で， ϕ_L ， ϕ_S は夫々 (1)，(2) 式'．

$$\langle \text{完全混合状態に対して} \rangle \quad (L_0 - L) + T_A \phi_L = 0 \quad (5), \quad (S_0 - S) + T_A \phi_S = 0 \quad (6)$$

ここに L_0 ， S_0 はそれぞれ曝気槽の流入点における基質と汚泥の濃度で，これは流入廃水濃度 L_I ，返送汚泥濃度 S_r と次式で関係づけられる． $L_0 = L_I / (1+r)$ (7)， $S_0 = S_r r / (1+r)$ (8)

ここに r は汚泥返送率 (返送汚泥流量 / 流入廃水流量)， T_A は曝気槽滞留時間

沈殿池表示式………沈殿池モデルについては種々実験的，理論的検討を行ない既に発表した [1, 2, 3]．

$$\text{それは} \quad \phi_{ss} = \left(\frac{dS_f}{dt} \right)_B = -\frac{v}{H} (1 - 0.81 e^{-1.2E}) S_f \quad (9)$$

なる簡単な型で与えた．ここに S_f : 最終沈殿池で対象とする上澄水中の浮遊物質濃度， v : 浮遊物質沈降速度， H : 沈殿池水深，なお (9) 式の E は池内混合度を表わし，流動乱れの沈殿除去過程に対する影響を加味しているので流動モデルは押出流れで十分であると考えられ沈殿池内除去効率は次式で計算される．

$$dS_f/dx = \phi_{ss} T_s \quad (10)$$

ここに T_s : 沈殿池滞留時間．

境界条件としては沈殿池流入点における浮遊物の初期濃度を与えなければならない．これは実験室テストの結果 [3] 曝気槽出口における Mixed liquor 中の汚泥濃度 S_I と次の様な関係にあることが見出された．

$$S_f(0) = 2.0 S_I^{0.5} \quad (11)$$

上式 (11) により沈殿池と曝気槽の状態変数が結びつけられた．なお $S_f(0)$ はフレンケット上の清澄層中に含まれる残留浮遊物初期濃度である．

3. 最適化

目的関数 ----- 二つの異なる目的関数を採用し、それによる結果の差異を併せて考察する。即ち

両槽の容積和 $V_T = V_A + V_S \rightarrow \text{minimum}$ (ここに V_A, V_S : 夫々曝気, 沈殿池容積)

両槽の建設費和 $C_T = C_A + C_S \rightarrow \text{minimum}$ (ここに C_A, C_S : " " 建設費)

なお C_A, C_S はこれまで米国で建設されたプラントのデータから Smith (4) によって次のように与えられている。

$$C_A = V_A (175,000 + 36,000 V_A^{-0.818}) \text{ ドル}, \quad C_S = \left(\frac{V_S}{H}\right) (12,600 + 5.35 \left(\frac{V_S}{H}\right)^{-1}) \text{ ドル}$$

ここに V_A は 10^6 gal , $\frac{V_S}{H}$ は 1000 ft^2 の単位

束縛条件 ----- 曝気槽よりの溶解性 BOD L^{ex} と沈殿池よりの残留浮遊物 S_f^{ex} の和が放流基準 C_{lim} に一致するよう $L^{\text{ex}} + m S_f^{\text{ex}} = C_{lim}$ とする。(m は SS/ppm 当りの $BOD_5 \text{ ppm}$ 換算係数)

計算条件 ----- パラメーター値は回分実験データに基づいて推定したものを採用する。

$$k = 0.0005 (\text{1/hr, SS ppm}), \quad b = 0.005 (\text{1/hr}), \quad m = 0.5 (BOD/SS), \quad a = 0.52 (SS/BOD), \quad \beta = 0.7 (BOD/SS)$$

設計条件としては次の標準的なものを採用する。

$$\text{流入廃水流量 } F = 250,000 (\text{gal/hr}), \quad \text{流入廃水濃度 } L_1 = 300 (BOD_5 \text{ ppm}), \quad S_r = 10,000 (SS \text{ ppm})$$

$$C_{lim} = 30 (BOD_5 \text{ ppm}), \quad H = 10 (\text{ft}), \quad E = 1.0 (\text{cm}^2/\text{sec}), \quad v = 9.0 (\text{ft/hr})$$

4. 計算結果と考察

計算結果の例を図-1~図3 に示す。それらを検討して得られた知見を以下に要約して述べると

i) 曝気槽, 沈殿池システムの最適性を検討する場合, 両槽の建設費和と容積和の二つの目的関数はほぼ等しい結果を与える。(図-1参照)

ii) 建設費和は曝気槽混合の増大と共に著しく増大する。(図-2参照)

iii) 最適容積比と返送比は混合度と流入基質濃度の変化によってそれぞれ $0.8 \sim 0.2$, $0.3 \sim 0.6$ の範囲にある。これは現在の標準プロセスで採用されている設計条件とそれほど相違しない。

iv) 流入基質濃度が 100 から 500 ($BOD_5 \text{ ppm}$) まで増大した場合, 放流基準 30 ($BOD_5 \text{ ppm}$) を満す建設費増大は 20% 程度である (図-3)。これは感覚的に予想される設計余裕より可成り小さいであろう。

最後に本章の考察に課せられる制限条件は, 非定常状態に全く考慮込んでいないことにある。もし流入濃度や流入流量が時間的に変動するような場合, 押出し流れは決して最良でないであろう。しかしこれを定量的に取扱うにはこうでの検討に加え, 更に基質や環境条件の変動に対する汚泥の馴致など, 多くの情報が必要である。

参考文献

- (1) 高松, 内藤; 下水道協会誌 Vol. 4 No. 43 (1967).
- (2) 高松, 内藤; 土木学会論文集 第139号 (1967)
- (3) Takamatsu T. and M. Naito; Int. Jr. Water Research No. 1 (1967)
- (4) Smith R., Private communication Aug. (1967)

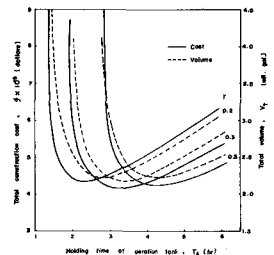


Fig. 1 Construction cost and total volume vs. holding time of aeration tank (piston flow aeration tank).

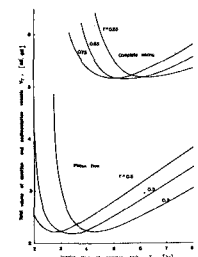


Fig. 2 Total volume of aeration and sedimentation vessels vs. aeration holding time of aeration tank.

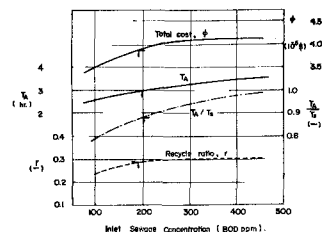


Fig. 3 Change of optimal conditions with respect to inlet sewage concentration (piston flow aeration tank).