

京都大学 工学部 (正) 平岡正勝
 日本航空 (株) (正) 大島敏業
 大日本インキ(株) (正) 山田和正

1はじめに

活性汚泥法による下水処理は、微生物の働きが中心となるため、その挙動を定量化することは困難である。従って、いきおい設計操作の諸元も過去の経験に求めざるを得ないが、これまでの経験からだけでは非定常変動に対処できなくなりつつある。以上のような認識から本研究は、活性汚泥プロセスの定量化を基礎的段階から考察することにより、非定常な変動に対する最適な制御設計の指針を定量的に得ようとするものである。

2. 数式モデル

活性汚泥プロセスを定量化するためには、プロセスの特性を表現する数式モデルを求めなければならないが、そのためにはそのプロセスの流動特性と反応速度を求め数式化しなければならない。活性汚泥プロセスでは、運動量及びエネルギーの収支については考慮する必要はないので、その流動特性はプロセス内で物質収支をとることにより、得られる次の基礎式により表現できる。

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(U_x C_A) + \frac{\partial}{\partial y}(V_y C_A) + \frac{\partial}{\partial z}(W_z C_A) = \frac{\partial}{\partial x} \left[P D_{Ax} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{C_A}{\rho} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[P D_{Ay} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{C_A}{\rho} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[P D_{Az} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{C_A}{\rho} \right) \right] + R_A$$

この基礎式の簡略化により誘導される流動モデルとして次の2つの有名なモデルがある。

栓流モデル
$$\frac{\partial C_A}{\partial t} + U_x \frac{\partial C_A}{\partial x} = R_A$$

完全混合槽列モデル
$$\frac{V}{N} \frac{dC_{Ac}}{dt} = Q(C_{Ac-1} - C_{Ac}) + R_A \frac{V}{N} \quad (c=1, 2, \dots, N)$$

また活性汚泥プロセスにおける反応速度式としては、次のような式が提案されている。

0次反応モデル
$$R_A = -k_0$$

1次反応モデル
$$R_A = -k_1 C_A$$

非線型モデル
$$R_A = -k_2 \lambda C S$$

$$R_A = -\frac{k_3 C}{k_4 + C}$$

$$R_A = -k_5 \frac{C^n}{C_0}$$

3 実験装置及び実験方法

活性汚泥プロセスの特性を表わす流動モデル及び反応速度式を求める実験も Fig 3-1 に示すような連続式モデルプラントを用いて行なった。流動モデルを求めるための実験は、定常流量を 0.5 l/min ~ 4.0 l/min とし、 $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ の 104376 mg/l 水溶液をトレーサとして最初充満槽及び曝気槽について、イレハルス施肥も求めることにより行なった。反応速度式を求めるための実験も同じモデルプラントを用いて、定常流量を 0.5 l/min ~ 4.0 l/min とし一定濃度の汚水を流入させ、活性汚泥処理前後の BOD, COD, MLSS を測定することにより行なった。

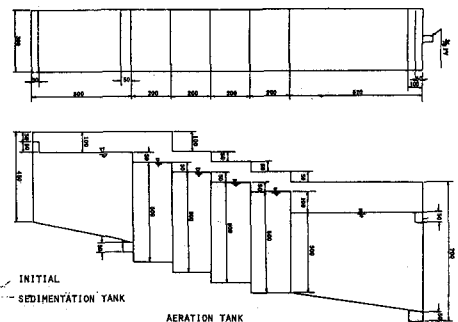


Fig 3-1

1/10 (mm)

4 実験結果及び考察

インパルス応答の結果を Fig 4-1 に示す。Levenspiel らは、インパルス応答の分散を次のように表した。

$$\sigma^2 = 2 \frac{D_L}{U_L} - 2 \left(\frac{D_L}{U_L} \right)^2 \{ 1 - \exp(-\frac{U_L}{D_L}) \}$$

また完全混合槽列モデルよりインパルス応答の分散は

$$\sigma^2 = 1/N \quad \text{である。そこで実験結果より分散の値を求め、その結果より } N, D_L, Pe \text{ 数}(=U_L/D_L) \text{ の値を求めた結果を Table 4-1 に示す。また反応速度を求めた実験の結果を Table 4-2 に示す。そして一次反応を仮定して反応速度定数を BOD, COD に関して求めた結果も Table 4-3 に示す。この結果反応速度式に関しては、一次反応モデルは当てはまらない。これらの結果よりプロセスの定量化も行なう場合モデルの精度は流動特性を示す部分よりも反応速度式部分に左右されるということが出来る。}$$

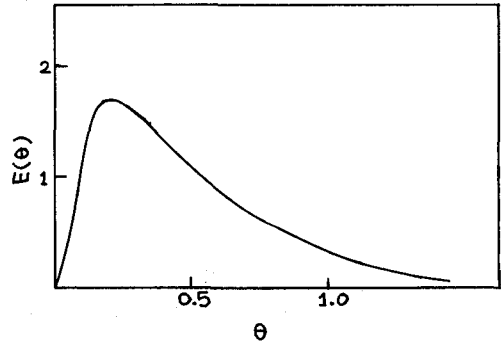


Fig 4-1

Table 4-1

流量	ℓ/min	4.0	2.0	1.0	0.5
滞留時間	min	30.0	60.0	120.0	240.0
σ^2		0.20	0.25	0.22	0.20
$N (=1/\sigma^2)$		4.50	3.97	4.57	4.93
$Pe (=U_L/D_L)$		7.67	6.67	7.67	8.70
D_L	m ² /min	2.77	1.60	0.69	0.31

Table 4-2

流量	ℓ/min	4.0	2.0	1.0	0.5
滞留時間	min	24.0	48.0	96.0	192.0
流入 BOD	mg/ℓ	105	105	105	—
流出 BOD	mg/ℓ	72	66	25	—
流入 COD	mg/ℓ	230	216	230	216
流出 COD	mg/ℓ	200	76	94	129
MLSS	mg/ℓ	2410	2230	2200	3140
V_r/V	%	17	20	17	30
SVI		70	89	76	95

Table 4-3

流量	ℓ/min	4.0	2.0	1.0	0.5
滞留時間	min	24.0	48.0	96.0	192.0
K_{BOD}		1.60	0.59	0.90	—
K_{COD}		0.30	1.84	0.72	0.17

5 シミュレーション

活性汚泥プロセスを基本的には完全混合槽列モデルとしながらも、反応速度式が各種によつて異なる値をとる非線型のモデルとし、次のようなモデル式を考えシミュレーションを行なった。

$$\begin{aligned} \frac{dC_i}{dt} &= Q C_{i-1} - Q C_i + R_i \frac{V}{N} & R_i &= -k_A S C_i C \\ \frac{dS_i}{dt} &= r S_{i-1} - r S_i + R'_i \frac{V}{N} & R'_i &= k_B [1 - \exp\{-\frac{V}{Q+K} (\frac{S_i}{N})\}] C_i \end{aligned}$$

上記のモデルを、初期条件を $C_i = (\bar{C}_N - \bar{C}_0) \frac{V}{N} + \bar{C}_0$, $S_i = (\bar{S}_N - \bar{S}_0) \frac{V}{N} + \bar{S}_0$ とし、実験値のうち最も小さい N , k_A, k_B の求めた結果 $N=5$, $k_A = 0.8176 \times 10^4$, $k_B = 0.7000 \times 10^2$ であった。また流入変動を流量については $Q_0 = 600 + 500 \sin(\frac{\pi}{6} t)$ と仮定し、処理水日標値を 20 mg/ℓ 、返送汚泥濃度を 5000 mg/ℓ と仮定し、 r を操作変数として最適制御を検討した。しかし返送汚泥量を微妙に調節するのは実用的でないので操作変数 r を流入負荷が 1 日の平均より大小の 2 つの場合についてそれぞれ一定に設定とする制御方式を考えた。その結果次のように制御するのが最も良く、仮定したプロセスを制御する方法である。

$$\begin{aligned} (\text{流入負荷}) > (\text{平均負荷}) \quad \text{のときは} \quad R &= 300 \text{ m}^3/\text{hr} \\ (\text{流入負荷}) < (\text{平均負荷}) \quad \text{のときは} \quad R &= 100 \text{ m}^3/\text{hr} \end{aligned}$$

共同研究者 京都大学 工学部 (E) 村上忠弘
カネボウ (株) (E) 篠本政男