

京都大学工学部 正 負 宗宮 功

まえがき

ばっ気そう内活性汚泥濃度の操作は一般に BOD 負荷率, Sludge Age や SVI といった操作因子を中心に進められ、ほぼ妥当な結果がえられることがわかって、活性汚泥濃度を季節ごとに大きく変動させるような操作が行なわれる場合には、上記因子のみでははたらずに十分でなく、環境条件としての酸素供給能力が制限因子となる場合がある。以下にばっ気そう内で保持する限界活性汚泥濃度についてまた逆にある汚泥濃度を与えた場合にどの程度の酸素供給能力が必要であるかをばっ気そう内酸素収支モデルをもとに検討している。

ばっ気そう内酸素収支モデルと限界活性汚泥濃度

一般にばっ気そう内の酸素収支は次式で与えられる。

$$(dO/dt) = k_a(O_s - O) - r_r \quad \dots\dots (1)$$

$$r_r = k_r S + a' (dL/dt) \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 O : 酸素濃度, O_s : 酸素飽和濃度, L : 基質濃度, k_a : 総括酸素移動容量係数, r_r : 酸素消費速度, k_r : 自家呼吸速度, t : ばっ気時間および a' : 常数。

式(1)の右辺第1項は酸素供給項を、第2項は酸素消費項をなし、後者は一般にばっ気時間とともに1次反発的に減少する傾向があると示されている。そして式(2)のごとく、 r_r は基質除去速度と酸素消費速度とを結びつけるものであり、汚泥濃度により直線的に変化することが考えられる。ところで、基質代謝と基質除去との間には時間的な遅れがあると示されることもあり、式(2)の第2項に基質除去式を即座に代入することはできない。ここでは、代謝呼吸速度(N_r)と自家呼吸速度(k_r')について

$$r_r = k_r' S + N_r S \exp[-k_n S t] \quad \dots\dots (3)$$

なる酸素消費モデルを用いて解析を進める。ここで、 N_r : 初期代謝呼吸速度($\text{mg O}_2/\text{hr/gr SS}$), k_r' : 初期酸素基質の代謝呼吸も含む自家呼吸速度および k_n : 常数。式(3)を式(1)に代入し次式をうる。

$$(dO/dt) = k_a(O_s - O) - k_r' S - N_r S \exp[-k_n S t] \quad \dots\dots (4)$$

初期条件 $t=0$ で $O=O_0$, $S=S_0$ とし、積分するとつぎのようになる。

$$O = O_0 e^{-k_a t} + (O_s - \frac{k_r' S_0}{k_a}) (1 - e^{-k_a t}) + \frac{N_r S_0}{k_n S_0 - k_a} (e^{-k_n S_0 t} - e^{-k_a t}) \quad (5)$$

いま、ばっ気そうでの生物反応には必要とされる最低酸素濃度以上にばっ気そう内酸素濃度を維持するには、酸素供給側と消費側の因子はどのように関係づけられるかを検討する。ばっ気そう内の最低酸素濃度を O_0 とし、最低必須酸素濃度を O_m とする。ばっ気そう内に垂下曲に似た曲線の酸素濃度分布が生ずる場合、 O_0 が生ずる時点(t_0)では $(dO/dt) = 0$ が成立する。生物反応維持のためには $O_0 \geq O_m$ なることを要する。ここで、つぎのような無次元数を用いて式(4), (5)を変型する。

$$\beta_0 = (O_0 / O_s), \quad \beta_m = (O_m / O_s), \quad \beta_0' = (O_0' / O_s), \quad \tau_0 = k_a t_0, \quad \alpha_1 = (k_r' S_0 / k_a O_s), \quad \alpha_2' = (N_r S_0 / k_a O_s), \quad \alpha_3' = (k_n S_0 / k_a)$$

いま $t = t_0$ で $(dO/dt) = 0$ かつ $O = O_0$, ならびに $O_0 \geq O_m$ の条件より,

$$1 - \eta_0 = \alpha_1 + \alpha_2' e^{-\alpha_3' t_0} \dots \dots \dots (6)$$

$$\eta_0 = \eta_m e^{-t_0} + (1 - \alpha_1)(1 - e^{-t_0}) + \frac{\alpha_2'}{\alpha_3' - 1} (e^{-\alpha_3' t_0} - e^{-t_0}) \dots \dots (7)$$

$$\eta_0 \geq \eta_m \dots \dots \dots (8)$$

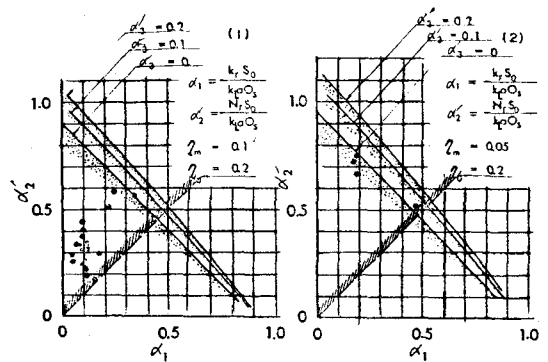
なる関係式をうる。結局、式(6)、(7)で表される η_0 が式(8)を満足するように α_1 , α_2' および α_3' , つまり $k_2 a$ および M.L.S.S の操作を行なう必要があることが知られる。さらに、時刻 t_0 やそのときの酸素濃度 η_0 に無関係に酸素消費因子と供給因子との関係を定めるため、式(6)および(7)から t_0 を消去する。

$$\eta_0 = (1 - \alpha_1) - \alpha_3' \frac{\alpha_2'}{1 - \alpha_3'} \times \alpha_2' \frac{1}{1 - \alpha_3'} \left\{ (\eta_0 + \alpha_1 - 1)(1 - \alpha_3' + \alpha_2') \right\}^{-\frac{\alpha_3'}{1 - \alpha_3'}} \geq \eta_m \dots \dots \dots (9)$$

式(9)では汚泥濃度を含む無次元因子 α_1 , α_2' および α_3' ならびに η_0 および η_m との関係を示しているが、この5つの因子のうち η_0 は流入水水質条件からまた η_m は微生物反応特性から設定しうるものであり、他の α_1 , α_2' および α_3' は汚泥の性状によって変化する。いま、時間遅延係数に関する因子 α_3' をパラメーターとして、 α_1 および α_2' の関係を図示すると下図のようになる。

(1) 図は $\eta_m = 0.1$, (2) 図は $\eta_m = 0.05$ の場合

で、それぞれ最低必要酸素濃度が約 1 ppm, 0.5 ppm を想定している。両図を比較して、 η_m の 5% の差は α_2' において約 10% の差を不し、 η_m が低下すれば若干少量に酸素消費してもよいことがわかれる。なお、一般に反応の初期では、 $N_r \geq k_r$ であることから、 $\alpha_2' \geq \alpha_1$ なる条件をうる。したがって、 α_2' と α_1 との成立域はハッチした三角状の領域となる。図中にパイロット・プラントでえたいくつかのデータも示したが、上記領域内に納まっている。式(9)をもとにある空気量、つまり $k_2 a$ に対して保持可能最大汚泥濃度を算定することは可能であり、例として $\alpha_3' = 0.1$, $\eta_0 = 0.2$ の場合について近似的に検討してみる。いま、 $\eta_m = 0.1$ の場合について考えると、図(1)より、



α_3' をパラメーターとしたときの α_1 と α_2' との関係

かのデータも示したが、上記領域内に納まっている。式(9)をもとにある空気量、つまり $k_2 a$ に対して保持可能最大汚泥濃度を算定することは可能であり、例として $\alpha_3' = 0.1$, $\eta_0 = 0.2$ の場合について近似的に検討してみる。いま、 $\eta_m = 0.1$ の場合について考えると、図(1)より、

$$\alpha_2' \leq 1.01 - 1.08 \alpha_1, \dots \dots (10), \quad \alpha_2' \geq \alpha_1, \dots \dots (11)$$

をうる。式(10)より $N_r S \leq 1.01 k_2 a O_s - 1.08 k_r' S \dots \dots \dots (12)$

をうる。限界汚泥濃度を S_{cr} と示すと、式(12), (11) の条件より S_{cr} の上限はつぎのようになる。

$$S_{cr} \leq (1.01 k_2 a O_s) / (N_r + 1.08 k_r') < (1.01 / 2.08) (k_2 a O_s / k_r') \dots \dots (13)$$

結局、近似的にではあるが、限界汚泥濃度は酸素供給能(DOC)を不す $k_2 a O_s$, 汚泥の代謝呼吸速度を不す N_r および自家呼吸速度 k_r' で与えられることが知られた。いま、パイロット・プラントのデータから、 $k_r' \cong 2.54$ (mg O_2 / hr / gr DSS) を与えてみると、 $S_{cr} < 0.1912 k_2 a O_s$ となり、実際の処理場では $k_2 a O_s$ 値はまず 30 (mg O_2 / hr) 以下であることから、 $S_{cr} < 5736$ (mg / L) となる。通常の散気方式では汚泥濃度を 6,000 (mg / L) 以上には高めることができないことが知られる。