

花園高等学校 正員 山 利 久

京都府衛生公害研究所 正員 筒 井 剛 毅

1. はじめに: 除去率が高く、設置面積が少なくすむなどの利便を有し、今日広く利用されている循環汙床法の浄化槽の中で最も役割は大きい。しかし、この方法の浄化機構に関する研究は不十分であり、古くから利用された活性汚泥法、回転円板法の浄化機構が Michaelis-Menten の式を適用した方式でそのまゝの形で適用されている。筆者は塩化銅ニューズ、ラッシュリングなどを充て材とした場合に顕著に現れるこの工程の沈殿効果の特性に着目して研究を進めてきた。今回は、基質として溶解性の成分だけを全量の場合と、溶解性の成分と浮遊性の成分を全量の場合の廃水処理における基質除去動力学の導出について検討を行ったので発表する。

2. 沈殿効果を考慮した基質除去動力学の導出

2-1. 基質が溶解性の場合

実験装置のフローシートを Fig. 1 に示す。原水タンク 1 から基質が l_i 、流量 Q のマイクロチューブポンプ (M.P.) によってタンク容積 V (l) の汙床 5 に送られ、濃度 S の活性汚泥によって接触酸化を受け、処理水の基質濃度 l 、活性汚泥濃度 S_e 、流量 Q で排出される。ここで汙床について完全混合型モデルを考えると汙床内の基質濃度は l である。また、この場合、流入する廃水中の汚泥濃度は 0 としておき、バッチ式と連続式の物質収支について次のラッパの式が成立する。ここで、(1)

$$-\left(\frac{dl}{dt}\right)_{bio} = \frac{K \cdot l \cdot S}{K_s + l} \quad \dots (1) \quad \left(\frac{dS}{dt}\right)_{bio} = -Y \left(\frac{dl}{dt}\right)_{bio} - b \cdot S \quad \dots (2) \quad -\left(\frac{dS_e}{dt}\right)_{sed} = K_c \cdot S_e \quad \dots (3)$$

$$V \cdot \left(\frac{dl}{dt}\right)_T = V \cdot \left(\frac{dl}{dt}\right)_{bio} + Q \cdot l_i - Q \cdot l \quad \dots (4) \quad V \cdot \left(\frac{dS}{dt}\right)_T = V \cdot \left(\frac{dS}{dt}\right)_{bio} - Q \cdot S_e - V \cdot \left(\frac{dS_e}{dt}\right)_{sed} \quad \dots (5)$$

$(dl/dt)_{bio}$: バッチ式における生物反応による汙床タンク内の基質濃度の変化速度, K : 最大基質除去速度 (1/日), K_s : 飽和恒数 (mg/l), Y : 収率 (-), b : 自己酸化係数 (1/日), K_c : 沈殿効果による基質除去定数 (1/日), $(dS/dt)_{bio}$: バッチ式における汙床タンク内の生物反応による活性汚泥の変化速度, $(dS_e/dt)_{sed}$: 沈殿効果によって汙床に捕集されるタンク内廃水中の活性汚泥の変化速度, $(dl/dt)_T$: 連続式における汙床タンク内の基質濃度の変化速度, $(dS/dt)_T$: 連続式における汙床内の活性汚泥の変化速度, である。(3) は循環式浸漬汙床法で廃水処理をするとき、廃水中の浮遊物質が循環する過程において汙床上に沈殿除去されるときの濃度についての 1 次式でその妥当性は先に報告した。ここで (5) 式全体を S で割った式の左辺について活性汚泥法における S の増殖速度に相当する次の (6) 式が成立すると仮定し、 $t=0$ で $S=S_0$, $t=t$ で $S=S$ の条件で解くと (7) 式を得る。(2), (3), (4), (5), (6), (7) 式から一階線型微分方程式 (8) を得る。この (8) 式を $t=0$, $l=l_0$ の条件で解くと次の式

$$\frac{1}{S} \left(\frac{dS}{dt}\right)_T = \mu \quad \dots (6) \quad S = S_0 \cdot e^{\mu t} \quad \dots (7) \quad \left(\frac{dl}{dt}\right)_T + \frac{1}{t} \cdot l = \frac{1}{Y} \{ K_c \cdot S_e - (\mu + b) \cdot S \cdot e^{\mu t} \} + \frac{l_i}{t} \quad \dots (8)$$

6), (7) 式から一階線型微分方程式 (8) を得る。この (8) 式を $t=0$, $l=l_0$ の条件で解くと次の式

$$(K_c \cdot S_e - \frac{S_e}{\tau}) \cdot \frac{\mu \cdot \tau + 1}{\tau \cdot S_0 \cdot p} + \mu = Y \cdot (1 - l_0 \cdot p - l_0 \cdot z) \cdot \frac{\mu \tau + 1}{\tau \cdot S_0 \cdot r} - b \dots (9)$$

(9)を得る。ただし、 p, z, r は次の式で与えられる。 $p = e^{-\frac{t}{\tau}}, z = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}, r = e^{-\frac{t}{\tau}} - e^{-\mu t} \dots (10)$

2-2. 廃水が基質として溶解性のものと浮遊性の物質を含む

場合：2次、3次処理を行う廃水中にはBOD、COD等の成分として測定される基質としてコロイドに近い浮遊物質が含まれている。このような廃水を循環式浸漬法で処理する場合、次の物理的效果によってコロイドに近い浮遊物質が液相から沈降上に捕集される。従って、一般的に沈降にかかっている浮遊性物質を活性汚泥と有機質のコロイド状の浮遊物質とありとし、また、BOD、COD等にかかっている基質として浮遊性物質と溶解性の物質が含まれていると考えるときは次の(11)、(12)式で表すことができる。ここで、 l ：基質濃度、 $l = l_s + l_c \dots (11)$ 、 $S = S_b + S_c \dots (12)$ 、 l_s ：溶解性成分の基質濃度、 l_c ：浮遊性物質成分の基質濃度、 S ：沈降内の廃水に含まれる活性汚泥と生物でない浮遊物質を沈降させて測定されるMLSS値、 S_b ：沈降内全体のMLSS中の活性汚泥濃度、 S_c ：沈降内全体のMLSS中の活性汚泥でない浮遊物質濃度。次の結果と生物酸化の結果を考慮して l と S についてバッチ式と連続式について物質収支をとると次の式を得る。

$$- \left(\frac{dl}{dt} \right)_{\text{bio}} = \frac{K \cdot l \cdot S_b}{K_s + l} \dots (13) \quad \left(\frac{dS_b}{dt} \right)_{\text{bio}} = -Y \left(\frac{dl}{dt} \right)_{\text{bio}} - b \cdot S_b \dots (14) \quad - \left(\frac{dl_c}{dt} \right)_{\text{sed}} = K_c \cdot l_c \dots (15)$$

$$V \cdot \left(\frac{dl}{dt} \right)_T = V \cdot \left(\frac{dl}{dt} \right)_{\text{bio}} + \theta \cdot l_i - \theta \cdot l + V \cdot \left(\frac{dl_c}{dt} \right)_{\text{sed}} \dots (16) \quad V \cdot \left(\frac{dS}{dt} \right)_T = V \cdot \left(\frac{dS_b}{dt} \right)_{\text{bio}} + Q \cdot S_i - Q \cdot S_c - V \cdot \left(\frac{dS_c}{dt} \right)_{\text{sed}} \dots (17)$$

ここで(13)、(14)、(15)はバッチ式のものを $(dl/dt)_{\text{bio}}$ 、生物酸化による変化速度、 S_b ：沈降内の活性汚泥濃度、 $(dS_b/dt)_{\text{bio}}$ ：沈降内活性汚泥の変化速度、 $-(dl_c/dt)_{\text{sed}}$ ：沈降効果による浮遊性物質の変化速度、 S_c ：流入水中の浮遊物質濃度。(17)式の最後の項は次のように表される。沈降中の基質として測定される浮遊性物質成分と沈降中のMLSS浮遊性物質濃度の比として次の式を考えよう。(18)

$$\frac{l_c}{S_c} = \alpha \dots (18) \quad \frac{dl_c}{dt} = r \cdot \left(\frac{dS_c}{dt} \right) \dots (19) \quad \left(\frac{dS_c}{dt} \right)_{\text{sed}} = -K_c \cdot S_c \dots (20)$$

(19)、(15)式から(20)式を得る。(12)式において $S_c = \alpha S$ と置くとき $S = 1 / (1 - \alpha) \cdot S_b$ となり、これを次の式(21)を得る。 $V/Q = \tau$ と置くとき前記の(6)、(7)式がこの場合に成立すると考え式を導くと(21)

$$\left(\frac{dS}{dt} \right) = \frac{1}{1 - \alpha} \cdot \left(\frac{dS_b}{dt} \right) \dots (21) \quad \left(\frac{dl}{dt} \right)_T = \left(\frac{1}{\tau} + K_c \cdot \theta \right) \cdot l = \frac{1}{\tau} \left(\frac{S_i - S_e}{\tau} + K_c \cdot S_e \right) + \frac{l_i}{\tau} - \frac{1}{\tau} \left\{ \mu + b(1 - \alpha) \right\} \cdot S_0 \cdot e^{\mu t} \dots (22)$$

4)、(15)、(16)、(17)、(18)、(19)、(20)、(21)式から1階線型微分方程式(22)を得る。この式を $\tau =$

$$\frac{E(S_i - S_e + K_c \cdot S_e - \tau)}{S_0(1 - \alpha) \cdot D \cdot \tau} \cdot \frac{p}{\theta} + \frac{\mu}{1 - \alpha} = Y \cdot \frac{\{ (1 - l_0 \cdot \tau) \cdot D \cdot \tau - l_0 \cdot p \} \cdot E}{D \cdot \tau \cdot S_0 \cdot (1 - \alpha)} \cdot \frac{1}{\tau} - b \dots (23)$$

0で $l = l_0$ の条件で解くと(23)式を得る。ただし、 D, E, p, z, r は次の式で与えられる。

$$D = - (1/\tau + K_c \cdot \theta), E = \mu + 1/\tau + K_c \cdot \theta, p = 1 + \exp \{ (1/\tau + K_c \cdot \theta) \cdot \tau \}, r = \exp \{ (1/\tau + K_c \cdot \theta) \cdot \tau \} - \exp \{ \mu \cdot \tau \} \dots (24)$$

2-3. 係数の求め方について

$$\theta = \exp \{ (1/\tau + K_c \cdot \theta) \cdot \tau \} - \exp \{ \mu \cdot \tau \}$$

2-3-1. 基質が溶解性の場合： K, K_s は(1)式の両辺の直線をとって式のLineweaver-Burkプロットの切片と傾きから求められる。 Y と b は(9)式の左辺を縦軸に右辺第1項の Y にかかっている項を横軸に取った時の直線勾配と切片から求められる。 K_c は定数から求められる。

2-3-2. 廃水が基質として溶解性のものと浮遊性の物質を含む場合： K, K_s はバッチ式において沈降による効果と生物酸化を合わせた基質除去の経時変化から沈降効果による基質除去の経時変化を引いて求められる生物酸化による基質除去の経時変化に(13)式の函数プロットを適用して求められる。 Y, b は(9)式と同様に求められることができる。

文献 1) 平山；水処理技術, Vol. 24, No. 12, 1983