

(10) 活性汚泥法の適正管理に関する動力学的研究

—動力学式のパラメータ—測定と自動制御への応用—

(11) 活性汚泥の基礎除去および代謝機構のモデル化に関する研究

(12) 活性汚泥法における生物性汚泥の滞留時間について(討議)

茨城県 松井 三郎

I (10)(12)の討議

活性汚泥法に関する最近の研究の動向の一つに、活性汚

泥法の運転管理に関するものが内外の発表にみられる。今回の橋本等の論文、生方論文もそのような内容で取組まれたものである。運転管理の指標として使用される汚泥日令(*sludge age*), 平均細胞滞留時間(*mean cell residence time*), 汚泥滞留時間(*solids retention time*)の概念とそれらの使用に際して混乱がみられるので整理を行ないながら橋本論文、生方論文について討議を進めたい(表-1 参照)。

$SA = \frac{V \cdot MLSS}{Q \cdot SS_i}$	(1) Gould	V: 曝気槽容量 W: 最終沈殿池容量
$SA = t_s = \frac{X}{\Delta X} = \frac{X}{a S_r - b X}$ (MCRT)	(2) Eckenfelder McKinney 等	v: 終沈堆積汚泥容量+返送汚泥ピット+返送管容積
$SA = \frac{V \cdot MLSS}{(a S_r - b X) + Q(SS_i - SS_e)}$ (MCRT)	(2') Sherrard 等の CRT 同し 橋本等の t_s と同じ	Q: 処理水量 SS _i : 曝気槽流入 SS 濃度 SS _e : 最終沈殿池流出 SS 濃度(実院 上は零としてもよい)
$SA = \frac{V \cdot MLSS}{Q \cdot SS_i} \quad \frac{1}{2} BOD_s < SS_i$ $= \frac{V \cdot MLSS}{a S_r} \quad \frac{1}{2} BOD_s > SS_i$	(3) 洞沢の提案	SS _r : 返送汚泥濃度 MLSS: 曝気槽混合 SS 濃度 X: 曝気槽内 MLSS 量 (= V · MLSS)
$MCRT = \frac{(V+W) \cdot MLSS}{(a S_r - b X) + Q(SS_i - SS_e)}$ (SRT)	(4) Walker Burchett 等	ΔX: MLSS 量の増加量/日 S _r : 除去基質量 (BOD あるいは COD 表示)
$MCRT = \frac{V \cdot MLSS + v \cdot SS_r}{(a S_r - b X) + Q(SS_i - SS_e)}$ (SRT)	(5) 松井等の提案	a: 汚泥増殖係数, 菌体収率係数 b: 自己酸化係数
$RT = \frac{(V+W) \cdot MLSS \cdot PBS(\approx \frac{1}{2})}{a S_r}$	(6) 生方の提案	

表-1 汚泥日令, 平均細胞滞留時間, 汚泥滞留時間

(1)式は Gould の提案した *sludge age* の式である。この式が実際の処理場に適用された場合にもっともよく適合するのは初沈池のシステムか、初沈の SS 除去率の悪いシステムで基質除去にともなう増殖汚泥量の割合が小さい場合である。一方(2)式は、Haukelebian の活性汚泥増殖式を基礎に Eckenfelder 等が *sludge age* と定義したものである。しかし Eckenfelder 等は、この式で基質を BOD_t か BOD_c で表現し活性汚泥量を VSS 表示で行なっている。SS 表示で行なうと活性汚泥微生物量の表現に誤差が生じること避けたものである。(2)式は、(2)式を SS 表示で行ないさらに(1)式と統一したものである。(2)式を *sludge age* と呼ぶ場合と、*cell residence time* (Sherrard 等)と呼ぶ場合がみられ、今回の橋本等の言う平均細胞滞留時間と同じものになると考えられる。(3)式の洞沢の提案は、(1)式と(2)式を流入水質の条件によって使い分けを行なおうという意味である。以上の(1)~(3)式の特徴は、[曝気槽活性汚泥量]/[増加汚泥量-引抜汚泥量]の比を求めるものであるが、*mean cell residence time* (MCRT) や *solid retention time* (SRT) の概念からして[全活性汚泥量]/[増加汚泥量-引抜汚泥量]の比を求める方がシステム管理上望ましい。(4)式のように分子項に最終沈殿池の容積 W を加えた表現がとられ、Walker⁵⁾や Burchett⁶⁾等は、この式を MCRT や SRT と呼んでいる。それに対して討議者は、終沈堆積汚泥量

の実測値と(4)式の表現する総沈活性汚泥量($W \cdot MLSS$)とに大きな誤差があることを見出したので(5)式を提案している。生方論文の Retention Time (RT) は(6)式の表現になるが、(4)式と比較して生方論文の言う生物性活性汚泥の割合 PBS (≡%) が導入されたのが特徴である。しかしながら、PBS の定義式および(6)式の分母項に活性汚泥の自己酸化による減少量の表現がなく、PBS という係数を導入することで生物性活性汚泥の滞留時間が表現され得るのかは疑問である。活性汚泥中の微生物細胞量を表現するにはもっと別の方法があるのではないだろうか？ 従って生方論文の RT 値による活性汚泥各変数の比較解析は、(4)式の MCRT (SRT) の表現方法と数値的に言って大きな差はなく、RT を使用することと新しい比較解釈が生まれているとは筆者には思えない。

Henkelkian が提示した活性汚泥増殖の基礎式は(7)式である。(7)式を X_u で除して(8)式を得ると、 $[\frac{\Delta X_u}{X_u}]$ は、

$$\Delta X_u = Q S_0 - b X_u \quad (7)$$

$$\frac{\Delta X_u}{X_u} = a \frac{S_0}{X_u} - b \quad (8)$$

$$\frac{1}{t_s} = a \frac{F_M}{M} - b \quad (9)$$

ΔX_u : 活性汚泥増殖量 $VSS \cdot kg/日$, X_u : 活性汚泥量 $VSS \cdot kg$
 S_0 : 基質濃度(≡基質除去量) $BOD_5 \cdot kg/日$, a : 汚泥転換係数 $VSS \cdot kg/BOD_5 \cdot kg/日$
 b : 自己酸化係数 $1/日$, F_M : Food/Microbs 比 $BOD_5 \cdot kg/VSS \cdot kg/日$
 t_s : sludge age 日

Sludge age の逆数であり、 $[S/X_u]$ は F_M に他ならないから(9)式を得ることになる。この式は従来から Sludge age と F_M 比の関係を議論する式になっていることは衆知の通りで、橋本論文中の(4)式と同じ意味である。さて問題は、この(9)式で係数とされている a , b の取扱ひである。実験により係数 a , b を求める方法は、Eckmelfeldt 等⁸⁾や McKinney 等⁸⁾により展開されており、また橋本論文も示しているが、 a , b が定数ではないという問題提起である。Sherrard と Schraeder⁴⁾は、 a および b が一定ではないと表明しているが、Schmidt⁹⁾は b が sludge age (Eckmelfeldt の定義する(2)式の場合)の関数として減少することを示している。(9)式の $[\frac{1}{t_s} = \frac{\Delta X_u}{X_u}]$ 項は実測値、右辺の $[F_M]$ 項は、操作変数としての実測値である。 a , b ともに変数であるとすれば、(9)式から a , b を同時に決定することは不可能である。Schmidt が b を sludge age の関数と設定したのは、 a 一定という立場に立てたことである。一方 Sherrard 等が実験でたしかめた方法では、結果として a が MCRT (2)式におよ)の関数としているが、 a を求める式に自己酸化係数 b の項が導入されていない。従って a が一定ではないという判断にはなり得ないと筆者は考える。生方論文も Sherrard と同様の結果を得ているようだが、収率係数 a をどのように求めるか説明が得ないところである。もし(9)式を成立させるためには、 a は一定とし左辺と右辺を等式化するために b を変数とする Schmidt の方が妥当ではなからうか。しかしこの点は、 a を sludge age の関数とし b を定数とする逆の立場もあり得るわけで、どちらがより正しいか今後の検討課題であらう。

FIG. 1 に Schmidt の式(10)に従って自己酸化係数と sludge age t_s の関係を示す。また FIG. 2 に $k_{d1} = a b$ とし、 $a = 0.5, 0.6, 0.7$ の場合に(9)式の関係を両対数紙上に表示した。 F_M と t_s , あるいは F_M と t_s は、当然直線にはならずやや曲線化している。この図から、sludge age(t_s)と F_M の関係が直接読みとることができる。

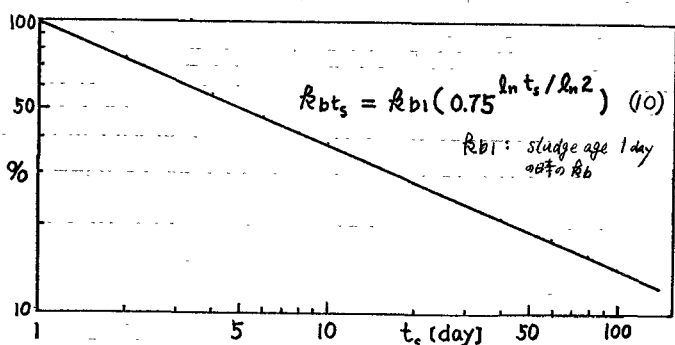


FIG. 1 R_{bt_s} vs Sludge Age t_s

さて活性汚泥の管理方法として (1)

MLSS (MLVSS) 一定制御, (2) F_M 一定制御, (3) t_s (MCRT, SRT) 一定制御の三通りが提案されてきている。筆者の考えは、活性汚泥法の原理として F_M 比に基づく制御が基本と考えるが、活性汚泥法の本质として活性汚泥量を短時間システム外に除去することができても、短時間に増加させることが不可能である以上、処理

場流入の基質負荷変動が短時間内にある場合(活性汚泥量の調節を終了して行なうとしても) F/M 一定制御には限界がある。但し、基質負荷量を増加させた場合次のような増割ができる。ある一定の F/M で運転していて基質負荷量を増加させた場合、活性汚泥の引抜きを停止してものと F/M 比を復元するに要する日数は、高い F/M 運転の場合の方が低い F/M 運転より短い。 t_s (SRT) 一定制御は、 F/M 比が変動しながらも sludge age (SRT) の期間内の平均値として一定した値をとることを前提とした制御方法である。MLSS 一定制御は F/M 比が変動しないものとした運転方法である。水量水質負荷変動の大きい処理場では事実上対応しきれない以上、 F/M 比がある一定値を中心に許容できる範囲内を変動する限り、活性汚泥システムの管理は、あるいは活性汚泥量の適正管理は可能である。その場合に t_s (SRT)

一定制御の方法がより合理的なものになる。 t_s (SRT) 制御方法を基礎としながらもさらに別の観点から活性汚泥量の管理方法(汚泥回数制御)を、筆者は提案しているがここでの議論は割愛する。

II (11) の討議

寺島等の論文については、筆者は議論し得る十分な知見がないので討議者の資格不十分である。しかし論文の理論展開の核心となる指標 N/G 比について以下の疑問点を持つので発表時に説明を得たい。(1) N/G 比の最大値と最小値が存在すると考えられるがその値は？ またその値を持つ細胞生理学の意味は何か？ (2) シミュレーション結果の図-13について、エアレーション時間を25h以上続けた場合、 N/G 値はどのように変化するか、①~⑥の曲線は、ある一定の N/G 比に収束するならば、その値と初期 N/G 値との関係は？ もし一定の N/G 値に収束しないならば、その理由は？ (3) 図-14 について、(2)と同様にエアレーション時間を延長させた場合、 N/G 値は無限に大きくなるか、あるいは一定値に①~⑥の曲線が収束するか？ 以上 N/G 値が必ず細胞生理学的な意味を明確に説明してほしい。(4) 図-15について、 F/M 比を一定にしておいて N/G 値が一定になっているが、 F/M 値と N/G 値の関係は、定常運転で対応するものか？ もしそうならば F/M と N/G のより普遍的関係はどのようなものか説明してほしい。

参考文献

1. Torpey, W. N., "Practical Results of Step Aeration" S.W.T., 20, 782, 1948
2. Henkelonian, H., et al., "Factors Affecting the Quantity of Sludge Production in the Activated Sludge Process" Soc. 8 Ind. Wastes, 23, 945, 1951
3. Eckenfelder, W. W. Jr., and Ford, D. L., "Water Pollution Control" Pomerton Press, Austin, Tex. 1970
4. Sheppard, J. H., and Schraeder, E. D., "Relationship between the Cell Residence Time in the Activated Sludge Process" Water Research, vol 6, No. 9, 1972
5. Walker, L. F., "Hydraulically Controlling Solids Retention Time in the Activated Sludge Process" JWPCE, 40, 30, 1971
6. Burkett, M. E., and Taka Lemongus, G., "Facilities for Controlling the Activated Sludge Process by Mean Cell Residence Time" JWPCE, 46, 173, 1974
7. 松井, 吉次 編訳 "活性汚泥(SA) 汚泥滞留時間(SRT)に代る新しい活性汚泥管理指標汚泥回数(NSR)の提案" 11回水質研究発表会講演集
8. McKinney, R. E., "Mathematically Complete Mixing Activated Sludge" Trans. Amer. Soc. Civil Eng., 128, Part II, paper No. 5716, 1963
9. Schmidt, R. E., "Parameters Responses to Influent Suspended Solids in the Activated Sludge Treatment Process" Ph.D. Dissertation Univ. of Texas, Austin 1970

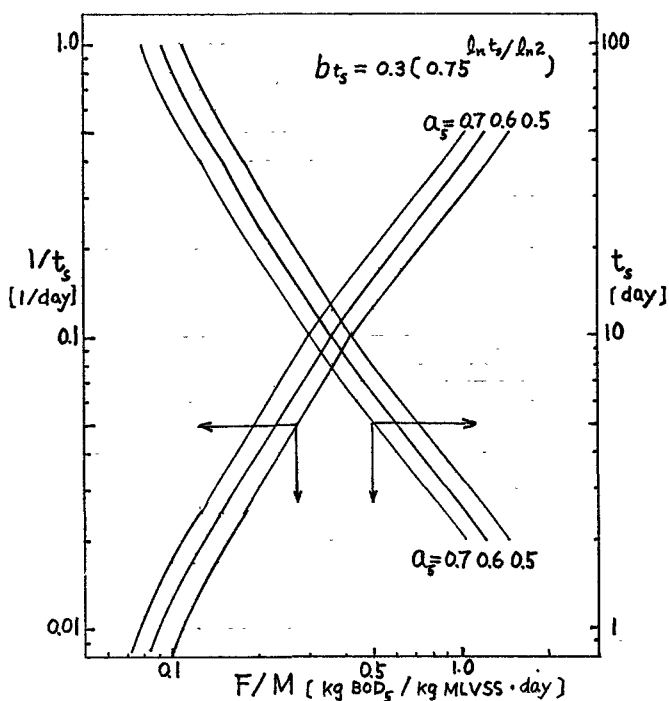


FIG. 2 F/M vs $1/t_s$ and F/M vs t_s