

京都大学工学部 正員 工博 合 田 健
京都大学工学部 正員 〇 中 西 弘

1. まえがき 活性汚泥改良諸法のうちステップエアレーション法(SA法)は操作上単に下水を分割注入するという方法であるが、ばっ気槽容量の短縮化、あるいは水質(基質)負荷変動に対する処理水質の安定化など、従来法に比較して多くの利点がありげられている。しかしながら、もともと経験に基づいて発達してきたものであって、理論的な研究に乏しく多くの未解決の問題をかかえている。そこで今回は多少とも理論的に立入ってばっ気槽の機能について考察を行ない、特にSA法における巨視的にみた混合特性とこの間に行なわれる微生物反応について検討し、部分的には解析をこころみ、これが処理効率というものとどのように関連しているかを追求してみた。

2. 流入、流出水質相互の関係および処理効率の意義 いま任意の時刻 t にばっ気槽に流入する下水量を $f(f)$ 、その水質(基質)濃度を $f_{inf}(f)$ 、 f において df 間に流入した基質量 $f_{inf}(f)f(df)$ について T 時間後における流出水中にみられるはずのエイジ分布のスペクトルを $g(T, f)$ 、活性汚泥微生物反応によって除去される割合を $k(T, \alpha, \beta, \delta, \dots)$ とする。かくに各 df 区分ごとに流入した下水基質が互いの分解、反応に干渉しないものと仮定すれば、任意の時刻 t における流出水基質濃度 $f_{eff}(t)$ は(1)式のように表わされる。

$$f_{eff}(t) = \int_{t-t_e(f)}^{t-t_o(f)} f_{inf}(f)f(df)g(t-f, f)k(t-f, \alpha, \beta, \delta, \dots)df \quad \dots\dots(1)$$

t_o , t_e はそれぞれ流入基質の流出開始までの時間および終了までの時間であって f によって変化する数値である。こゝで水量は比較的制御しやすいので $f(f)=f_c$ —一定とすると(1)式は(2)式で表わされる。

$$f_{eff}(t) = f_c \int_{t-t_e}^{t-t_o} f_{inf}(f)g(t-f)k(t-f, \alpha, \beta, \delta, \dots)df \quad \dots\dots(2)$$

た、 t_e は定数

また混合状態の改善によって処理効率を向上させるには2つの基本的考え方がある。すなわち、与えられた水量、水質(基質)、ばっ気槽、返送汚泥量に対して、①基質除去の絶対量を増加させること、②流入水質変動に対する流出水質の変動をできるだけ小さくすること。①は最も重要な問題であるが、水質変動の甚しい下水処理においては放流水質の均一化という②の問題もまた無視できない。この2つの課題はたがいに異なるものであり、定量的な両者の比較は困難である。

3. ステップエアレーション法の混合モデル($g(T)$)と微生物反応($k(T, \alpha, \beta, \delta, \dots)$) 問題を簡単化するために流入下水流量 f 、返送汚泥量 $4f$ は一定、4英均等注入のSA法について2つの混合モデルを考えてみる。

(1)不完全混合型; 容量 V のばっ気槽を4等分し、各槽に流入した基質がその槽で完全混合されるまでに lag が生じる場合、その lag 時間を第1槽から順に t_{o1} , t_{o2} , t_{o3} , t_{o4} とすると

$$g(T) = \frac{1}{V} e^{-\frac{f}{V}(T-t_{o1})} + \frac{4}{V} (e^{-\frac{f}{V}(T-t_{o1}-t_{o2})} - e^{-\frac{f}{V}(T-t_{o2}-t_{o3})}) + \frac{6}{V} (e^{-\frac{f}{V}(T-t_{o2}-t_{o3}-t_{o4})} - 2e^{-\frac{f}{V}(T-t_{o3}-t_{o4})})$$

$$+e^{-\frac{\beta}{\theta}(T-t_{01}-t_{02}-t_{03})} + \frac{\beta}{\theta} (e^{-\frac{\beta}{\theta}(T-t_{01}-t_{02}-t_{03})} - 1) e^{-\frac{\beta}{\theta}(T-t_{01}-t_{02}-t_{03})} + \frac{\beta}{\theta} (e^{-\frac{\beta}{\theta}(T-t_{01}-t_{02}-t_{03})} - 1) e^{-\frac{\beta}{\theta}(T-t_{01}-t_{02}-t_{03})} - \frac{\beta}{\theta} (e^{-\frac{\beta}{\theta}(T-t_{01}-t_{02}-t_{03})} - 1) e^{-\frac{\beta}{\theta}(T-t_{01}-t_{02}-t_{03})} \dots (4) \text{となる。}$$

(2) 押し流れ、部分的完全混合型；流入基質が流下方向に速度 a でながり、その部分は完全混合とある。またその中心の移動速度を流量に比例させて第1槽から順に $2b, 3b, 4b, 5b$ とすると、任意の i 槽に流入した基質 $f(\beta)$ の $\frac{1}{4}$ が流出する時間 T_{ix} はばっ気槽の長さを L とおけば

$$T_{ix} = \sum_{i=1}^4 \frac{L}{4\{(i+1)b + \frac{a}{2} - x\}} \dots (5)$$

で表わされ、その時の流出水濃度の割合 $g_i(T_{ix})$ は

$$g_i(T_{ix}) = \frac{f(\beta)}{5g_{01} \sum_{i=1}^4 \{(i+1)b + \frac{a}{2} - x\}} \dots (6)$$

となり、 T 時間後における総流出濃度 $g(T)$ は

$$g(T) = g_1(T) + g_2(T) + g_3(T) + g_4(T) \dots (7) \quad \text{で表わされる。}$$

一方、ばっ気槽での微生物反応は非常に複雑である。いま水質示標に BOD_5 とればまず浮遊性と溶解性物質とに分けて考えてみる必要がある。また溶解性物質でも構成有機物の違いによっても BOD 除去速度が異なる。さらに活性汚泥の活性度も微生物の phase によって異なるので、微生物反応に関係する変数は非常に多く反応自体を関数型で表示するまでは多くの問題が残っている。こうした問題については別に検討中であるが、いま仮りに微生物反応を Monod の説に従うものとするれば他のすべての変数が一定になるような条件下では(8)式で表わされ

$$\frac{1}{\beta} \frac{dL}{dt} = \frac{K_{max} L}{L_k + L} \dots (8) \quad \text{ここで } L: \text{基質濃度} \quad \beta: \text{活性汚泥濃度} \\ K_{max}, L_k \text{ は定数}$$

低濃度域では一次反応、高濃度域では零次反応となり、 $h(T, \beta, \dots)$ は $h(T, \beta)$ で表わされる。

4. ステップ、エアレーション法の処理効率 β A 法ではばっ気槽内汚泥濃度が一定でなく、従来法(CA法)に比して汚泥の実質滞留時間が長い。いま最も簡単な例として $f_{in}(\beta)$ は一定、 $g(T)$ は完全な押し流れ、 $h(T, \beta)$ は零次反応とすると

$$\beta \text{ A 法では } f_{eff}(t) = \frac{f}{\beta} (f_{in}(\beta) - \frac{27hAP}{240\beta}) \quad \text{CA法では } f_{eff}(t) = \frac{f}{\beta} (f_{in}(\beta) - \frac{48hAP}{240\beta}) \quad \begin{matrix} A: \text{通達汚泥濃度} \\ K: \text{反応速度定数} \end{matrix}$$

となり、 β A 法の方が除去率が高い。また一次反応とすれば

$$\beta \text{ A 法では } f(t) = \frac{f_{in}(\beta)}{\beta} \{ e^{-\frac{KAP}{\beta}(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta})} + e^{-\frac{KAP}{\beta}(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta})} + e^{-\frac{KAP}{\beta}(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta})} + e^{-\frac{KAP}{\beta}(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta})} \} \quad \text{CA法では } f(t) = \frac{f_{in}(\beta)}{\beta} \{ e^{-\frac{KAP}{\beta}(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta})} + e^{-\frac{KAP}{\beta}(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta})} + e^{-\frac{KAP}{\beta}(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta})} + e^{-\frac{KAP}{\beta}(\frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta})} \} \\ K: \text{反応速度定数}$$

となり、CA法がやや高い除去率を示す。

また、流入水質 $f_{in}(\beta)$ が $\sin(\frac{2\pi}{T}\beta + 1)$ の周期関数で変動する場合、最も混合度の悪い押し流れ型を適用しても微生物反応を考えないとき、流出水質 $f_{eff}(t)$ は

$$f_{in}(t) = \sin \frac{2\pi}{T}(t + \frac{27}{240}\frac{f}{\beta}) + \sin \frac{2\pi}{T}(t + \frac{27}{240}\frac{f}{\beta}) + \sin \frac{2\pi}{T}(t + \frac{27}{240}\frac{f}{\beta}) + \sin \frac{2\pi}{T}(t + \frac{27}{240}\frac{f}{\beta}) + \dots$$

で表わされ、水質変動が小さくなっている。その他の混合モデルについても同様な傾向が認められる。要するに β A 法の特長として ① 流入水質の変動に対し流出水の変動をできるだけ少なくし、処理水の安定化を許ること、② 押し出し流水と完全混合との効率比較にみられるように、通常流出水の安定化作用のある混合方式に伴う除去効率の低下を CA 法に比して汚泥の実質滞留時間が長いことによって補なっていることなどがあげられ、実際槽のような長大水路の混合状態の改善方法として効果的な方法であると解せられる。その他にもいろいろ問題があるが、それらは微生物反応が解明されたときに改めて検討したい。