## II-194　沈殿池の最適操作について

京都大学工学部　正員　　高松　武一郎
大阪大学基礎工学部　正員　○芝　定孝

### 1. はじめに

沈殿池への流入水の水質および水量は時間的に絶えず変動している。このような場合に浮遊物質の沈殿池内の濃度分布や流出水中の濃度などの非定常特性を解析すると、沈殿池内の流動特性の時間的な変動に起因する乱流混合の状態や沈殿物の再浮上の状態などの変化が沈殿池流出水の非定常特性にかなり関与していることがわかる。従って、流入水の水質や水量が常に一定値で流入する定常状態であるとして、その操作条件を設定するような沈殿池の運転では、流入条件の変動によってもたらされる処理効率の時間的な変動に対処することは不可能であり、沈殿池流出水の水質なども必ずしも満足すべきものは得られないことが予想される。流入原水の時間的な変動に応じて、各時刻での操作変数を最適な値に設定し直すような非定常操作を行う必要があるものと思われる。

### 2. 沈殿池の非定常モデルと最適操作

最適操作に用いる沈殿池の非定常モデルを導く基礎となる方程式は次のような3次元非定常拡散方程式である。

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\frac{\partial(uC)}{\partial x}+\frac{\partial(vC)}{\partial y}+\frac{\partial(wC)}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial x}\left(E_x\frac{\partial C}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(E_y\frac{\partial C}{\partial y}\right)-\frac{\partial}{\partial z}\left(E_z\frac{\partial C}{\partial z}\right)=0 \qquad (1)$$

ここに、$C$は池内の浮遊物質濃度、$u$, $v$, $w$は浮遊物質の速度成分、$E_x$, $E_y$, $E_z$は浮遊物質の拡散係数である。流出流量の非定常最適操作という目的から、これを可能なかぎり簡単なモデルとするために、式(1)を$x$, $y$, $z$について積分し、空間的に集中化を行ったモデルを用いる。従って、沈殿池内の浮遊物質濃度は一様と見做して、式(2)のように定義した体積平均濃度を用いる。ただし、$V$は式(4)を積分して得られる沈殿池の貯水容積である。

$$C(t)=\frac{1}{V}\iiint_V C(t,x,y,z)\,dV \qquad (2)$$

沈殿池底面に合田の境界条件を適用して、式(1)を集中化し、時間、濃度、容積などについて無次元化すると、式(3)のような時間に関し変係数を有する線形常微分方程式が得られる。$\hat{Q}_{IN}$, $\hat{C}_{IN}$は流入水の流量と濃度で$\tau$は初

$$\frac{d\hat{C}}{d\tau}=-\frac{\hat{Q}_{IN}+(1-k)P}{\hat{V}}\hat{C}+\frac{\hat{Q}_{IN}\hat{C}_{IN}}{\hat{V}} \qquad (3),\qquad\qquad \frac{d\hat{V}}{d\tau}=\hat{Q}_{IN}-\hat{Q} \qquad (4)$$

期の沈殿池貯水容積$V(0)$と対象とする操作期間における平均流入水流量$Q_{IM}$とによる理論滞留時間$T_0$を用いて$t$を無次元化したものである。すなわち$V(0)/(Q_{IM}\cdot T_0)=1$なる$T_0$を用いて$\tau=t/T_0$で与えられる。Pは粒子沈降速度$w_p$, 沈殿池底面積S, 平均流入水流量$Q_{IM}$, 貯水部水深H、理論滞留時間$T_0$によって$P=w_pS/Q_{IM}=T_0/(H/w_p)$のように定義される無次元量である。一方、水量に対しても式(2)に対すると同様の集中化を行い、無次元表示すると式(4)が得られる。式(3)および式(4)で構成される非定常の集中系モデルを用いて沈殿池の非定常最適操作を行う。

操作は対象とする期間$\tau_f$にわたって、その期間における流出水中の浮遊物質濃度の平均値と沈殿池の貯水容積の平均値との和を最小にするように行うものとする。沈殿池の貯水容積を小さくすることは沈殿池の滞留時間を短かくし、従って、処理時間が短縮され沈殿池をコンパクトにすることに対応する。このような目標に対する評価関数は式(5)で与えられる。$a_1$, $a_2$は$\hat{C}$および$\hat{V}$の時間平均値にかかる重み係数で、沈殿池流出水の浮遊物質濃度を低くすることと、沈殿池貯水容積を小さくすることのいずれに重点をおくかによって適当に選ばれるものである。沈殿池の非定常最適操作は$\min f(\tau_f)$となるようにする。ただし、$\hat{C}$, $\hat{V}$, $\hat{Q}$については式(7), (8), (9)で与

えられる制約条件がある（以後$\hat{C}$, $\hat{V}$, $\hat{Q}$は単に$C$, $V$, $Q$と書く）。沈殿池の非定常操作はある設定期間$\tau_f$にわたって一定時間間隔$\Delta\tau$ごとに段階的に行うもの

$$f(\tau_f)=\frac{a_1}{\tau_f}\int_0^{\tau_f} C\,d\tau + \frac{a_2}{\tau_f}\int_0^{\tau_f} V\,d\tau = \int_0^{\tau_f} g_f(\tau)\,d\tau \qquad (5)$$

とする。各時刻で操作される流量$Q$による$\tau=0\sim\tau_f$までの水量を$SQ(\tau_f)$とする（体積の次元をもつ）と、$SQ(\tau_f)$は式(6)で

$$SQ(\tau_f)=\int_0^{\tau_f} Q\,d\tau = \int_0^{\tau_f} Q_{IN}\,d\tau + V(0)-V(\tau_f) \qquad (6)$$

$$0\leqq C\leqq C_{max} \quad (7),\quad V_{min}\leqq V\leqq V_{max} \quad (8),\quad Q_{min}\leqq Q\leqq Q_{max} \quad (9)$$

与えられる。従って、最適操作の方策を式(10)のように表現す

$$F_n\{SQ(\tau_f)\} = \min_{SQ(\tau_f)} f_n\{SQ(\tau_f)\} \qquad (10)$$

ると、次式(11)で与えられる関数方程式を満足するように、操

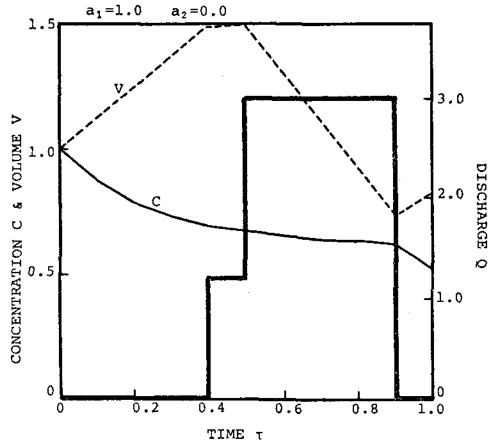
$$\left.\begin{array}{ll} F_n(SQ)=\min\left[g_{f,n-1}(Q_{n-2}\Delta\tau)\Delta\tau + F_{n-1}(SQ-Q_{n-2}\Delta\tau)\right], & (n\geqq 4) \\ F_3(SQ)=g_{f,2}(Q_1\Delta\tau)\Delta\tau + F_2, & (n=3) \end{array}\right\} \quad (11)$$

作流量$Q_1(\Delta\tau)$, $Q_2(2\Delta\tau)$, ------, $Q_n(\tau_f-\Delta\tau)$を求めてゆけばよい。$F_2$は初期状態$C_1$, $V_1$によって定まり、$F_1=0$は明めである。

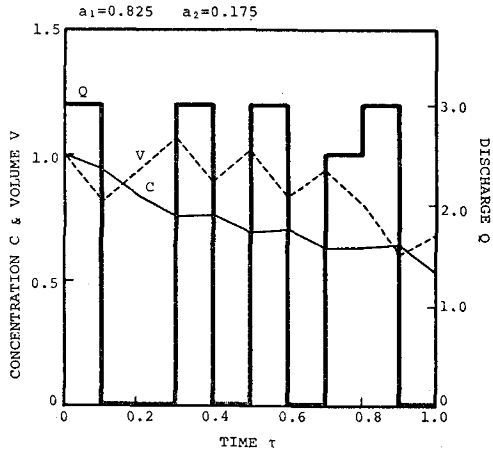
## 3. 非定常最適操作の例

流入水量および水質が正弦波的に変動していると仮定して、流出水流量を式(9)の範囲内で全く任意に操作できるものとして行った数値計算の例をFig. 1, Fig. 2, Fig. 3に示す。評価関数(5)に含まれる重み係数$a_1$と$a_2$の値はそれぞれ図中に記してある。Fig. 1は流出水の平均濃度を低くすることに重点を置いた場合の極限で、明かに$C$は操作とともに小さくなっていく。沈殿物の再浮上が考慮されているので、沈殿池底面積$S$が一定ならば貯水容積$V$を大きくすれば$C$は小さくなる。従って、前半は流出がなく$V$は次第に増加しているが、$V$に対する制約条件(8)によって押えられる為に後半には流出が存在する。ただし、$V$が上限$V_{max}$に保たれず減少していることが注目される。これは水深があまり大きくなると（$V$が大となる）逆に除去効率が低下することによるものと思われる。Fig. 3は貯水容積$V$を重視した極限で、$Q$の操作とともに$V$は小さくなっているが濃度$C$に制約条件(7)があり無制限に小さくはできない。従って、$Q$は$C$が上限$C_{max}$付近にあるように操作されている。Fig. 2は重み係数$a_1$, $a_2$をFig. 1とFig. 3の場合の中間の値にしたものの一例である。$Q$の非定常最適操作のパターンは重み係数のとり方によってかなり変化することがわかる。

[Fig. 1]




[Fig. 2]




[Fig. 3]