II-216　水処理における沈殿池の非定常操作について

大阪大学基礎工学部　正会員　　芝　定孝

1．はじめに

水処理施設の沈殿池においては流入水の水質および水量の時間的変化に対処した非定常操作が必要なことは次第に認識されてきているようである。そして種々の計測器あるいは計測技術の進歩により，プロセスの状態量の時間的変化を検出するシステムは水処理施設においても相当実用化されている。また、電算機の性能の向上により、水処理の個々のプロセスに対して制御装置が応用されるのみならず、さらに、電算機を導入していくつかのプロセスをまとめてより広範なプロセスを制御する方法が開発されだしたが、プロセスにおける計算機制御は鉄鋼の圧延設備にも見られるごとく実用化され、かなりの成功を収めているようである。このようなハードウェア的な面については水処理施設にも利用することは比較的容易であると考えられるが、水処理施設の特性を記述する数式モデルあるいは計算機制御のアルゴリズムといったソフトウエア的な面については水処理装置あるいは水処理過程の特殊性を十分考慮したものを開発する必要があるものと思われる。しかし、現段階ではこのような水処理施設に対する非定常な最適制御あるいは操作にうまく利用できるようなソフトウエアの開発は不十分と言わざるを得ないようである。ここでは、沈殿池の非定常操作におけるソフトウエア的な面について考察を加えた。

2．非定常操作の方法

水処理施設の非定常最適操作では、処理水の質に関連して薬剤注入量の操作が、また、処理水の量に関連して流量操作が考えられる。しかし、従来は、この両者は独立に考えられていたようである。ここでも薬剤注入量などの操作については対象としていないが、浮遊物質に対する拡散方程式を集中化して導いた数式モデルにより質と量の問題を結合させている。その数式モデルは次のような変係数を有する線形の常微分方程式で表わされる。

$$\frac{d\hat{C}}{d\tau} = -\frac{\hat{Q}_{IN}+(1-k)P}{\hat{V}}\hat{C}+\frac{\hat{Q}_{IN}\hat{C}_{IN}}{\hat{V}} \quad (1), \qquad \frac{d\hat{V}}{d\tau} = \hat{Q}_{IN}-\hat{Q} \quad (2)$$

ただし、$\hat{C}$は流出水濃度、$\hat{V}$は貯水容積、kは再浮上パラメータ（"合田の境界条件"におけるものと同じ）、Pは理想沈殿除去率に相当する無次元量、$\hat{Q}_{IN}$は流入水流量、$\hat{C}_{IN}$は流入水濃度、$\hat{Q}$は流出水流量（操作変数）である。上式に対して、初期条件は $\left\{\hat{C}(0)=\hat{C}_0,\ \hat{V}(0)=\hat{V}_0\right\}$ (3) で、制約条件は $\left\{\hat{C}_{min}\leqq\hat{C}(\tau)\leqq\hat{C}_{max},\ \hat{V}_{min}\leqq\hat{V}(\tau)\leqq\hat{V}_{max},\ \hat{Q}_{min}\leqq\hat{Q}(\tau)\leqq\hat{Q}_{max}\right\}$ (4) で与えられる。また評価関数は$\hat{C}$および$\hat{V}$によって次式のように積分形で表わされる。

$$X(\tau_n) = \int_{\tau_0}^{\tau_n}\left(\frac{a_1}{\tau_n}\hat{C}+\frac{a_2}{\tau_n}\hat{V}\right)d\tau = \int_{\tau_0}^{\tau_n} g(\hat{Q})\,d\tau \qquad (5)$$

ここに、a_1およびa_2は重み係数、$\tau_0\sim\tau_n$は最適操作期間である。沈殿池の非定常最適操作は(5)式の値（積分値）を最小にするように行なわれる。しかし、沈殿池などでは一度運転が開始されれば、休止までの期間は相当長い。期間が長ければ長いほど1回の最適化に要する計算量は増大するので、沈殿池運転期間全般にわたる評価関数を用いて最適操作することは非常に困難となるであろう。従って、その評価期間は適切に設定する必要がある。しかし、この評価期間を更に多数の細かい区間に分割し、その小区間について最適化を行なっても、全体としてある種の最適操作が得られる。このような準最適な沈殿池の操作を流出水流量$\hat{Q}(\tau)$によって行なうものとする。

通常、沈殿池流出水の流量$\hat{Q}(\tau)$の最適操作は評価関数(5)を用いて次のように表わされる。$I(\tau_n)$はPerformance

$$I(\tau_n) = \min_{\hat{Q}}\left\{\int_{\tau_0}^{\tau_n} g(\hat{Q})\,d\tau\right\} \qquad (6)$$

Index である。これを(7)式のようなn コの小区間に対する最適操作からなる準最適化によって沈殿池の近似的な

$$^{q}I(\tau_n)=\sum_{i=1}^{n}\left[\min_{\hat{Q}}\left\{\int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} g(\hat{Q})\,d\tau\right\}\right] \qquad (7), \qquad ^{q}I(\tau_n)\cong\sum_{i=1}^{n}\left[\min_{\hat{Q}}\left\{g_{i-1}\cdot\Delta\tau\right\}\right] \qquad (8)$$

最適操作を行なう。(7)式において $\tau_i-\tau_{i-1}=\Delta\tau$ が適当に小さければ近似的に(8)式のように書き換えられる。ここに、g_{i-1} は $\tau=\tau_{i-1}$ における評価関数 $X(\tau_n)$ の微分値である。時刻 τ_i においては、すでに前区間までに各区間で操作の最適化が行なわれ、流出水濃度 $\hat{C}$ および貯水容積 $\hat{V}$ は決定されているので、評価関数の微分 g_{i-1} の値は短時間かつ容易に求まる。そして、次々と前進的に最適操作流量 $\hat{Q}(\tau)$ が各区間について決定されていき、全体としては準最適な沈殿池の非定常操作が構成されていく。これに対して(6)式のような $g(\hat{Q})$ の積分値、すなわち $X(\tau_n)$ を最小にする手法は種々考えられてはいるものの実際に(4)式のような制約条件を有する沈殿池モデルに適用するのはかなり面倒で、その計算にも相当の時間がかかるようであり、実用上は不利であると思われる。(8)式で示される準最適化では計算が短時間で、しかも前進的であるから、時々刻々計測されている状態変数の変化よりもさらに短かい時間で操作変数の決定あるいはモデル中のパラメータの評価を行なう必要のある実時間システム (real time system)における水処理施設の非定常操作に有効に利用し得るものと思われる。

3. 準最適化による非定常操作の例

(8)式を用いて沈殿池の非定常操作の準最適化を行なった結果の1例を Fig. 1 および Fig. 2 に示す。Fig. 1 は濃度 $\hat{C}$、貯水容積 $\hat{V}$、操作流量 $\hat{Q}$ の変化の様子をいずれも無次元化して図示したもので、Fig. 2 は評価関数の値の変化の様子を無次元時間 τ に対してプロットしたものである。流入水の変動条件は水質と水量の変化が Fig. 1 に示すように一致した場合である。重み係数は $a_1=a_2=0.5$ である。この準最適による流出水の操作流量 $\hat{Q}(\tau)$ も最適操作の場合に見られたと同様に Bang - Bang タイプの変化を示している。これは(8)式による操作が最適操作に近いものであること、すなわち準最適であることの1つの裏付けであると看做すことができよう。また Fig. 2 では準最適化を行なった場合の結果を(8)式の $^{q}I(\tau_n)$ で示し、貯水容積は固定のまま、すなわち流出水流量は流入水流量と同じにしておいた場合の結果を(5)式の $X(\tau_n)$ で示している。結果は $^{q}I(\tau_n)$ が常に $X(\tau_n)$ よりも小さく、(8)式による非定常操作を準最適と称したことの妥当性のもう1つの裏付けを示すものと考えられる。Fig. 2 では $^{q}I(\tau_n)$ は $X(\tau_n)$ より常に小さいが場合によっては(8)式の g_{i-1} は(6)式における $g(\hat{Q})$ よりも大きくなることが考えられる。従って、(8)式における小区間 $\Delta\tau$ を適当に小さくしなければ $^{q}I(\tau_n)>X(\tau_n)$ となる場合もあり得ることが予想される。

FIG. 1

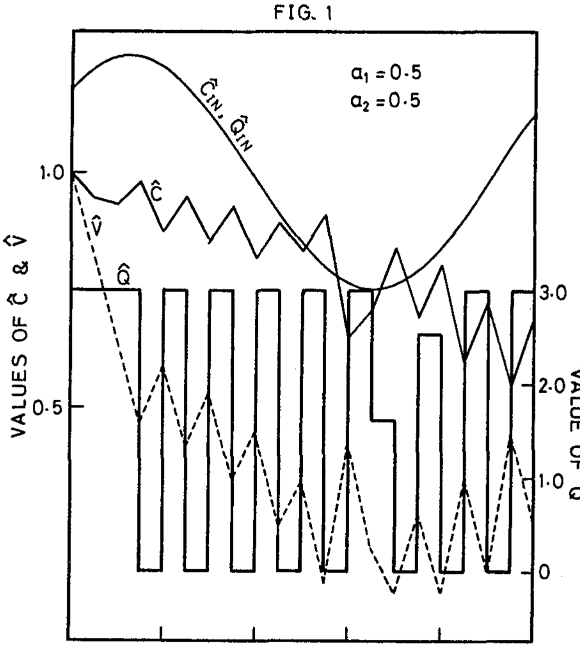

FIG. 2