II-170　沈澱池の操作について

京都大学工学部　正員　高松武一郎
京都大学工学部　正員　井上　頼輝
京都大学工学部　正員　○芝　定孝

1. はじめに

変動する流入水の濃度および水量に対してもすぐれた沈澱除去効率を維持する為には、沈澱池の設計段階においても適切な設計がなされているべきことは当然ながら、このような流入水の変動に対して沈澱池を適当に操作することにより、たとえ設計段階において不備があっても、これを補い、目的とする除去効率を維持することが期待されるが、さらにまた設計段階の最適設計に加えて、適切な操作を行うことにより除去特性を改善することも期待できるものと思われる。このような観点から沈澱池の最適操作に対する基礎的資料を得ようとするものである。

2. 沈澱池の非定常モデル

変動する流入水に対する流出水の濃度を得る為には非定常モデルを必要とするが、場所的および時間的な変化を同時に考慮すると数式的取扱いが非常に面倒となるので集中系モデルを沈澱池に適用した。すなわち浮遊物質に対する拡散方程式および水に対する連続の式

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\partial C}{\partial t}+\frac{\partial(UC)}{\partial x}+\frac{\partial(VC)}{\partial y}+\frac{\partial(WC)}{\partial z}-\frac{\partial}{\partial x}\left(E_x\frac{\partial C}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(E_y\frac{\partial C}{\partial y}\right)-\frac{\partial}{\partial z}\left(E_z\frac{\partial C}{\partial z}\right)=0,\\&\frac{\partial \rho_w}{\partial t}+\frac{\partial(\rho_w U_w)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho_w V_w)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho_w W_w)}{\partial z}=0\end{aligned}\right\}\quad(1)$$

を x, y, z について積分し、場所的に集中化を行った次のような沈澱池に対する数式モデルを得る。

$$\left.\frac{d(\bar{V}\bar{C})}{dt}=Q_{IN}C_{IN}-Q_{OUT}\bar{C}-(1-k)W_P S_S\bar{C},\qquad \frac{d\bar{V}}{dt}=Q_{IN}-Q_{OUT}\right\}\quad(2)$$

ここに、$\bar{C}$ は流出水濃度、C_{IN} は流入水濃度、Q_{IN} は流入水量、Q_{OUT} は流出水量、$\bar{V}$ は沈澱池の容積、W_P は浮遊物質の沈降速度、S_S は底面積、k は合田博士の提案された沈澱物の底面よりの再浮上を記述するパラメータである。(1), (2) より得られる結果を無次元表示すると、

$$\left.\begin{aligned}&\hat{C}(\tau)=\int_0^{\tau}\frac{\hat{Q}_{IN}\hat{C}_{IN}}{\hat{V}}\exp\{-I(\tau)+I(\tau')\}d\tau'+\hat{C}(0)\exp\{-I(\tau)\},\quad I(\tau)=\int_0^{\tau}\frac{\hat{Q}_{IN}+(1-k)P}{\hat{V}}d\tau'\\&\hat{V}(\tau)=\int_0^{\tau}(\hat{Q}_{IN}-\hat{Q}_{OUT})d\tau'+1,\quad k(\tau)=1.17\exp\{-8.05/E_x(\tau)\},\quad P=\frac{W_P S_S}{Q_{IM}}\end{aligned}\right\}\quad(3)$$

ただし、Q_{IM} は流入水量の平均値で、P は理想沈澱の除去効率に相当する。τ は T_0 を初期の理論滞留時間とした場合に、$\tau=t/T_0$, $\bar{V}(0)/(Q_{IM}T_0)=1$ の２式により与えられる無次元時間である。

3. 沈澱池操作の評価とその例

本研究では沈澱池の操作としては流出水のみの操作を考えた。流出水操作による主要な状態の変化は流出水濃度の変化と沈澱池容積（沈澱池において水の占める体積）の変化の２つが考えられよう。操作によりもたらされる結果の評価として、ある時間Tにわたる、これらの時間平均値を調べることにする。このような変化要因に関連して沈澱池の操作の目標には、

1）流出水における浮遊物質濃度をできるだけ低くすること、

2）濃度変動の少ない安定した濃度の流出水を得ること、

3）沈澱池容積をできるだけ小さくすること（沈澱池をコンパクトにするとともに、滞留時間を短かくし処理時間の短縮をはかる）、

4）沈澱池容積の変動をできるだけ小さくすること（沈澱池容積がたえず大幅に変動するようでは設計段階において余裕を大きくせねばならず無駄な部分が生じやすい）、

などが考えられる。1），2），3），4）の各項目に対してはそれぞれ流出水平均濃度 $\hat{C}_m$ とその標準偏差 σ_c，沈澱池平均容積 $\hat{V}_m$ とその標準偏差 σ_v を用いることとした。ただし、$\hat{C}_m$，σ_c，$\hat{V}_m$，σ_v は各々

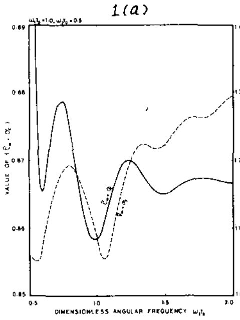
$$\left.\hat{C}_m=\frac{1}{T}\int_0^T\hat{C}(\tau)d\tau,\quad \sigma_c=\left\{\frac{1}{T}\int_0^T\hat{C}^2(\tau)d\tau-\hat{C}_m^2\right\}^{\frac{1}{2}},\quad \hat{V}_m=\frac{1}{T}\int_0^T\hat{V}(\tau)d\tau,\quad \sigma_v=\left\{\frac{1}{T}\int_0^T\hat{V}^2(\tau)d\tau-\hat{V}_m^2\right\}^{\frac{1}{2}}\quad\right\}(4)$$

で与えられる。任意の流入水の変動はフーリエ解析により三角関数の和として表わすことができるから $\hat{C}_{IN}$，$\hat{Q}_{IN}$，$\hat{Q}_{OUT}$ とも正弦波により表現し、流出水操作の変数としては角周波数 ω_2T_0，振幅 Q_E/Q_{IM}，$\hat{Q}_{IN}$ に対する位相のずれ τ_s を用いた。ただし、流入水濃度 $\hat{C}_{IN}$，流入水量 $\hat{Q}_{IN}$，流出水量 $\hat{Q}_{OUT}$ などは

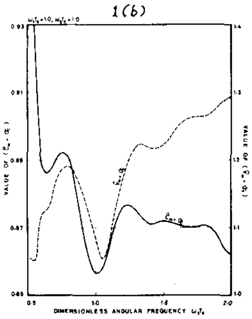
$$\left.\hat{Q}_{IN}(\tau)=1+\frac{Q_I}{Q_{IM}}\sin(\omega_{IQ}T_0\cdot\tau+\phi_{IQ}),\quad \hat{C}_{IN}(\tau)=1+\frac{C_I}{C_{IM}}\sin(\omega_{IC}T_0\cdot\tau+\phi_{IC}),\quad \hat{Q}_{OUT}(\tau)=1+\frac{Q_E}{Q_{IM}}\sin\{\omega_{EQ}T_0(\tau-\tau_s)+\phi_{EQ}\}\quad\right\}(5)$$

で与えられている。図１(a)，(b)，(c)，(d) に角周波数 ω_2T_0 を操作した場合の $\hat{C}_m+\sigma_c$ および $\hat{V}_m+\sigma_v$ の変化の様子を示す。それぞれ流入水濃度変動の角周波数 ω_3T_0 が 0.5，1.0，1.5，2.0 rad の場合である。いずれも $\omega_1T_0=1.0$ rad で $\hat{V}_m+\sigma_v$ の極小値は $\omega_2T_0\fallingdotseq$ 0.55，1.05 rad 付近に出現している。一方 $\hat{C}_m+\sigma_c$ については(a)では $\omega_2T_0\fallingdotseq0.6$，1.0 rad 付近，(b)では 1.0 rad 付近，(c)では 1.05，1.5 rad 付近，(d)では 1.0，2.0 rad 付近に出現している。この結果より ω_2T_0 の操作は流出水濃度に関しては ω_3T_0 の値に設定することが１つの目安となる。図２に振幅 Q_E/Q_{IM} を操作変数とした場合の様子を示す。この場合も $\hat{C}_m+\sigma_c$ と $\hat{V}_m+\sigma_v$ との変化の様子より最適操作の存在が推察されよう。なお、操作には沈澱池容積が $\hat{V}(\tau)\geq0$ なる有限値をとるべきことより限界が存在する。

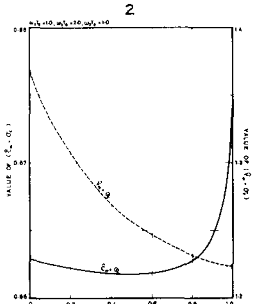
1(a)



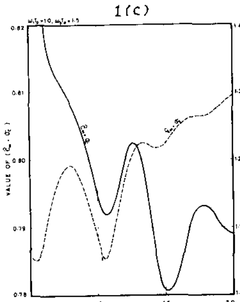
1(b)



2



1(c)



1(d)