

京大工学部 正員 高松武一郎
 京大工学部 正員 井上頼輝
 京大工学部 正員 内藤正明
 京大工学部 正員 ○芝 定孝

1. はじめに

沈澱池への流入水の水質および水量は時間的に変動しているが、これらの変動による沈澱池流出水の濃度変動の予測を集中系モデルによって試みた。基礎方程式は浮遊物質に対する拡散方程式を用いているが、沈澱物の沈澱池底面からの再浮上をも加味している。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. 基礎方程式

沈澱池における浮遊物質に対する拡散方程式は、

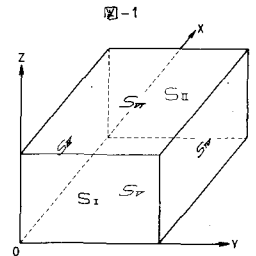
$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} + \frac{\partial(VC)}{\partial y} + \frac{\partial(WC)}{\partial z} - E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - E_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - E_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

ここに、 C は浮遊物質濃度で u , v , w は浮遊物質の x , y , z 方向の速度で E_x , E_y , E_z は浮遊物質の拡散係数である(x は流れ方向, y はそれに垂直な方向, z は鉛直方向)。沈澱池全体について(1)式を積分し、物送項および拡散項の体積分を面積積分に変えると、

$$\iint_V \frac{\partial C}{\partial t} dV + \iint_S \left\{ (uC - E_x \frac{\partial C}{\partial x}) \cos(\alpha, \nu) + (vC - E_y \frac{\partial C}{\partial y}) \cos(\beta, \nu) + (wC - E_z \frac{\partial C}{\partial z}) \cos(\gamma, \nu) \right\} dS = 0 \quad (2)$$

ただし、 ν は境界面における外向き法線である。沈澱池の境界面を図-1のように定めると各境界面 S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 , S_6 における浮遊物質の流れは次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} S_1 &\cdots (uC - E_x \frac{\partial C}{\partial x})_1 = (uC)_1 = u_{in} C_{in} \\ S_2 &\cdots (uC - E_x \frac{\partial C}{\partial x})_2 = (uC)_2 = u_{out} C_{out} \\ S_3 &\cdots (vC - E_y \frac{\partial C}{\partial y})_3 = 0 \\ S_4 &\cdots (vC - E_y \frac{\partial C}{\partial y})_4 = 0 \\ S_5 &\cdots (wC - E_z \frac{\partial C}{\partial z})_5 = -(1-\epsilon) w_r C_r \\ S_6 &\cdots (wC - E_z \frac{\partial C}{\partial z})_6 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$



ここに、 u_{in} , u_{out} はそれぞれ流入水、流出水の速度で C_{in} , C_{out} はそれぞれ流入水、流出水の濃度である。また、 ϵ は再浮上パラメータで w_r は浮遊物質の沈降速度である。ただし、 S_5 境界面すなわち沈澱池底面においては合田の境界条件 $\epsilon w_r C + E_z \partial C / \partial z = 0$ を用い、流体の鉛直方向の速度成分を $w=0$ としている。池内の浮遊物質濃度として、

$$\bar{C}(t) = \frac{1}{V} \iiint_V C dV \cong C_{out}(t) \cong C_r(t) \quad (4)$$

のような体積平均濃度 $\bar{c}(t)$ を用いる。(2), (3), (4)より

$$\frac{d(V\bar{c})}{dt} = Q_{IN}C_{IN} - Q_{OUT}\bar{c} - (1-\epsilon)W_F S_V \bar{c} \quad (5)$$

ただし、 $Q_{IN} = U_{IN} S_I$, $Q_{OUT} = U_{OUT} S_E$ である。一方、沈澱池内の流体(水)については連続の式より、

$$\frac{\partial \rho_w}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_w u_w)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho_w v_w)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho_w w_w)}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

であるが、沈澱池内の流れは x 方向のみと仮定し、(5)式を導いたのと同様のことを行えば、

$$\frac{\partial (\bar{\rho}_w V)}{\partial t} - \bar{\rho}_{wI} S_I u_{wI} + \bar{\rho}_{wE} S_E u_{wE} = 0 \quad (7)$$

水の密度については $\bar{\rho}_w \approx \bar{\rho}_{wI} \approx \bar{\rho}_{wE} \approx \text{constant}$ とみなせるから、

$$\frac{dV}{dt} = Q_{IN} - Q_{OUT} \quad (8)$$

従って(5), (8)より沈澱池内の浮遊物質濃度は、

$$C(t) = \exp\left\{-\int_0^t \frac{Q_{IN} + (1-\epsilon)W_F S_V}{V} d\tau\right\} \left\{ \int_0^t \frac{Q_{IN} C_{IN}}{V} \exp\left[\int_0^\tau \frac{Q_{IN} + (1-\epsilon)W_F S_V}{V} d\tau'\right] d\tau + C(0) \right\} \quad (9)$$

で与えられる($\bar{c}$ を C と記してある)。ただし、 V , ϵ は次のとおりである。

$$V(t) = \int_0^t (Q_{IN} - Q_{OUT}) dt + V(0), \quad \epsilon(t) = 1.17 \exp(-8.05/E_x(t))$$

Q_{IN} , C_{IN} は沈澱池入口における値で時間の既知関数であり、 Q_{OUT} も出口で操作すれば時間の既知関数である。

3. 解析例

流入水量と流入水質が正弦波的に変動し、また流出水量を正弦波的に操作した場合の流出水質の時間的な変動の一例を図-2, 図-3に示す。いずれも流入水および流出水の変動は平均水量の25%, 流入水質の変動は流入平均水質の50%, 流出水の操作に流入水変動に対し $\pi/4$ (無次元時間)の遅れがある場合である。図-2は変動の角周波数が流入水量、水質および流出水量のいずれも1ラジアンで図-3はそれらが流入水量、水質については1ラジアン、流出水量については0.55ラジアンの場合である。流出水量の操作の条件は $V(t) \geq 0$ を満すべきことは当然であるが沈澱物の再浮上を出来るだけ低くするようにすべきである。図-2の場合には $V(t)$ の変動が比較的小さく再浮上パラメータ ϵ の変動も少なく、流出水質の変動は流入水質の変動と類似しているが、図-3の場合は $V(t)$ の変動が激しく、再浮上パラメータ ϵ のピークに対応し、流出水質に鋭いピークが出現している。

