II-169　沈殿池最適設計に関する一考察

京大工　正　員　高松武一郎
京大工　正　員　内藤正明
京大工　学生員　○芝　定孝

1. まえがき

沈澱池の設計に際しては、その沈澱除去効率は簡単には理想沈澱池を仮定して、表面負荷率から決定することができるが、その場合、水深は別に決定せねばならない。また沈澱現象が運動している流体中で生じているときには、流体の運動による偏流や乱れがあり、水底においては流体の運動による沈澱物質の再浮上が問題となる。このうち、沈澱物質の再浮上については既に2次元定常拡散方程式を用い境界値問題として取扱ったが、これを1次元化し、より簡単な形とし、沈澱池の設計に際する最適水深について検討する。

2. 基礎方程式および除去効率式

水底よりの沈澱物質の再浮上を考慮した浮遊物質の濃度分布は次のような2次元定常拡散方程式の境界値問題の解として与えることができる。すなわち、

$$u\frac{\partial C}{\partial x} - w_p\frac{\partial C}{\partial z} = E_x\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + E_z\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \qquad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} &x=0 \ \text{で} \ C=C_0, && x=L \ \text{で} \ \frac{\partial C}{\partial x}=0 \\ &z=0 \ \text{で} \ E_z\frac{\partial C}{\partial z}+k w_p C=0, && z=H \ \text{で} \ E_z\frac{\partial C}{\partial z}+w_p C=0 \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

ここに、kは沈澱物質の再浮上を表わすパラメータで、uは池内平均流速，w_pは粒子沈降速度，E_x、E_zはそれぞれ流下方向および鉛直方向の拡散係数，Cは浮遊物質濃度である。ここで次のようなx軸に垂直な断面を運ばれる浮遊物質の断面平均濃度を定義する。

$$\bar{C}(x)=\frac{1}{H}\int_0^H C(x,z)\cdot dz \qquad (3)$$

(1)式を水面から水底まで(H～0)積分し、境界条件を考慮すれば、

$$E_x\frac{d^2\bar{C}}{dx^2} - u\cdot\frac{d\bar{C}}{dx} - \frac{w_p}{H}\cdot\bar{C}\cdot(1-k) = 0 \qquad (4)$$

のように発生項(source term)を含んだ1次元定常拡散方程式に変形される。次に沈澱池直前の流入濃度をC_Iとすれば $C_I=C_0-(E_x/u)\cdot(\partial C/\partial x)_{x=0}$ と表わせるから、境界条件は、

$$x=0 \ \text{で} \ E_x\frac{d\bar{C}}{dx}=u(\bar{C}-C_I), \qquad x=L \ \text{で} \ E_x\frac{d\bar{C}}{dx}=0 \qquad (5)$$

とできる。この境界条件のもとに方程式(4)は容易に解け、出口における浮遊物質濃度 C_{out} は $x=L$ として直ちに求まる。ここで沈澱除去効率をηとすれば，$\eta=1-(C_{out}/C_I)$ であるから、

$$\eta = 1 - 4\frac{\pi\sqrt{\pi^2+4(1-k)\pi\phi\psi}}{\left(\sqrt{\pi^2+4(1-k)\pi\phi\psi}+\pi\right)^2 e^{-\theta_2} - \left(\sqrt{\pi^2+4(1-k)\pi\phi\psi}-\pi\right)^2 e^{-\theta_1}} \qquad (6)$$

ただし，$\pi = uL/E_x$，$\phi = w_p/u$，$\psi = L/H$ で

$$\theta_1 = \frac{1}{2}\pi\left\{1+\sqrt{1+4(1-k)\frac{\phi\psi}{\pi}}\right\}, \qquad \theta_2 = \frac{1}{2}\pi\left\{1-\sqrt{1+4(1-k)\frac{\phi\psi}{\pi}}\right\}$$

ηとkおよびηと$\phi\psi$との関係は図－1，図－2に示す。図－1は再浮上パラメータkが増加する程，除去効率は悪くなり，沈澱物の再浮上が増大することを示している。また，図－1，図－2よりπが大きいほど，また$\phi\psi$が大きいほど除去効率の良くなる様子がわかる。ただし，kの関数形としては，実験により，$k=1.17\exp(-8.05/E_x)$とし（図－3），またE_xについてはフルード数Fとの間の関係は，$E_x=3.59\exp(58.5F)$を用いている（図－4）。

3．最適水深について

除去効率式(6)を数値計算すれば，長さLをパラメータとした場合は図－5，容積Vをパラメータとした場合は図－6のようになり，効率ηの極大値の存在することがわかる。すなわち最適水深H_{opt}の存在することが明かとなったが，これは従来，横流式沈澱池においては水深が小さいほど，除去効率が良いといわれていたが，それも沈澱物の再浮上の面から制限があるということを示しているに他ならない。また図－5および図－6に見られるごとく，H_{opt}よりもHの大きい側では効率ηの低下は比較的小さいが，Hの小さい側では効率ηは急激に低下していくから，Hを過小にするのは設計上より危険側にあるともいえる。図－7は効率ηをパラメータとした場合の効率ηと水表面積Aとの関係を示すもので，図－5より作製したものであるが，水表面積Aの最小値すなわち最適値を読み取ることができる。なお最適水深は計算の結果によると幅Bを固定した場合，容積Vや長さLの変化によってはあまり変化しない。

以上，沈澱物再浮上のパラメータkを除去効率に導入した除去効率式(6)を与え，その際最適水深の存在することを明かにした。

図-1

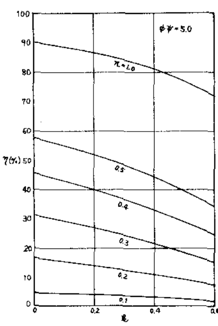


図-2

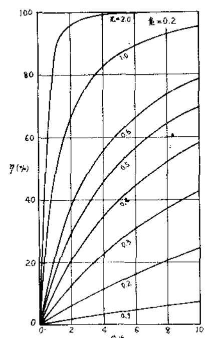


図-4

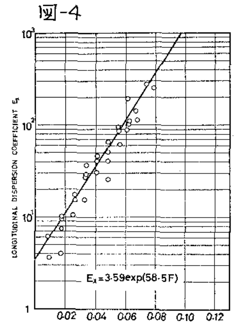


図-3

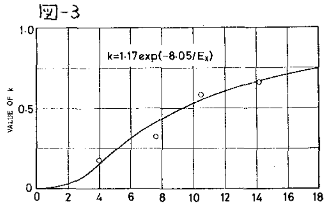


図-5

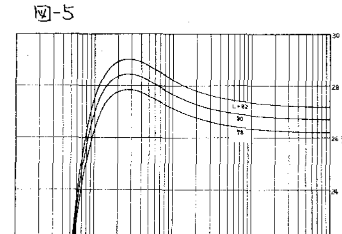


図-6

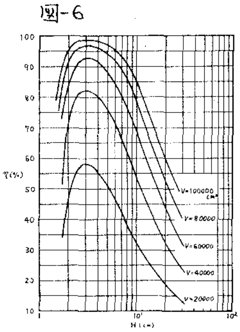
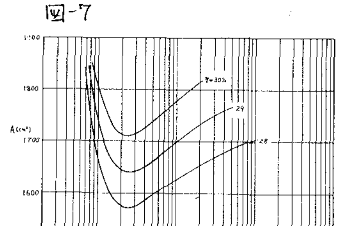


図-7



参考文献

1) 高松・内藤・芝：矩形水槽における浮遊物質の挙動について，第24回土木学会講演集

2) 合田：上水浄化における水理学上の基礎的諸問題，京都大学学位論文，昭31年.