

1. はじめに

水道水源の富栄養化に伴う藻類の大量発生は、臭水など水質問題の他、ろ過池閉塞など浄水処理上にも多くの問題点をなげかけている。本研究は、後者の問題に対処する一環として、通常の水処理プロセスで用いられている凝集沈殿池での除去率向上をめざす観点から検討したものである。すなわち、ろ過池閉塞の原因藻類の凝集沈殿池での高除去率を確保する手段として、「表面負荷率を小さくすること」を考え、古くからいわれている沈殿除去率の考え方を、粒子径分布を有する懸濁粒子の場合に適用して、表面負荷率の沈殿除去率への影響を定量化することを試みたものである。

2. 粒子径分布を考慮した沈殿除去率

懸濁粒子の粒子径分布は、Rosin-Rammler 分布の適合性がよいといわれているので、ここでも、式(1)で表わされる R-R 分布を考えることにする。

$$R = 100 \cdot 10^{-b' d^n} \quad \text{---(1)}$$

(R: 超過確率, d : 粒子径 [μm], b', n : 定数)

さて、懸濁粒子の沈降速度 v の度数 p の分布を模式的に図-1 のように与える。理想沈殿池モデルを考えた場合、粒子のうち、表面負荷率 ($v_0 = Q/A$) より大きい沈降速度を有する粒子は 100% 除去されるので、 $v < v_0$ の粒子について考えればよい。

つまり、 $v_0 \sim v_{\text{max}}$ までの粒子の粒子群全体に対する除去率 E_1 、および $v_{\text{min}} \sim v_0$ までの粒子の除去率 E_2 は、

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= \int_{v_0}^{v_{\text{max}}} p \, dv = R(v=v_0) \\ E_2 &= \int_{v_{\text{min}}}^{v_0} p \, dv \end{aligned} \right\} \quad \text{---(2)}$$

($R(v=v_0)$: 式(1)において $v=v_0$ をもつ粒子径 d_0 のときの R)

となる。さて、理想沈殿池の場合、 $E = \frac{v_0}{Q/A}$ (Q/A : 表面負荷率) であるので、図-1 に示したように、 $\frac{p'}{p} = \frac{v}{v_0}$ --- (3) となり、全体の除去率 E_T は、

$$E_T = E_1 + E_2 = \int_{v_0}^{v_{\text{max}}} p \, dv + \frac{1}{v_0} \int_{v_{\text{min}}}^{v_0} p \, dv \quad \text{---(4)}$$

となる。ここで、式(1)を考えると、

$$\frac{d(100-R)}{dv} = p \text{ より } -\frac{dR}{dv} = p, \quad 100-R = \int p \, dv \quad \text{---(5)}$$

なる関係がある。また、沈降速度は、ストークスの式にしたがって挙動する考えると、全体の除去率 E_T は、

$$E_T = R(d=d_0) + 2.303nb'K \int_{d_{\text{min}}}^{d_0} R d^n \frac{d}{v_0} d(d) \quad \text{---(6)}$$

また、完全混合モデルの場合、

$$p' = \frac{v/v_0}{1 + v/v_0} p \quad \text{---(7)}$$

であり、半完全混合モデルでは、

$$p' = \{1 - \exp(-v/v_0)\} p \quad \text{---(8)}$$

であるので、完全混合モデルの場合、

$$E_T = 2.303nb'K \int_{d_{\text{min}}}^{d_{\text{max}}} R d^n \frac{d}{v_0 + Kd^2} d(d) \quad \text{---(9)}$$

半完全混合モデルの場合、

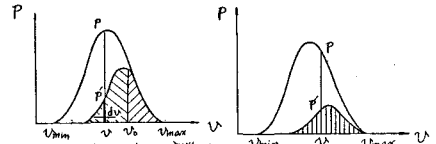


図-1 沈降速度の度数 p 分布と v_0 の除去 (理想沈殿池モデル)

図-2 完全混合, 半完全混合の場合

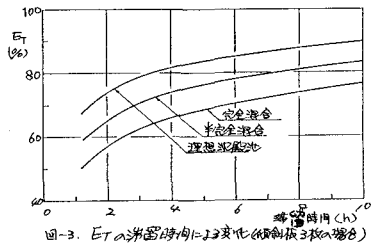


図-3 E_T の傾斜板数 n による変化 (傾斜板 3 枚の場合)

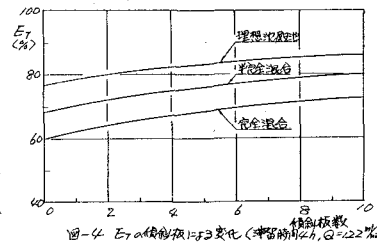


図-4 E_T の傾斜板数 n による変化 (半完全混合モデル, $Q/A = 2.2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)

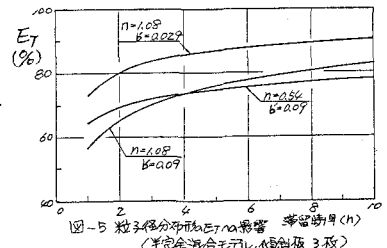


図-5 粒子径分布を考慮した E_T の算定 (半完全混合モデル, 傾斜板 3 枚)

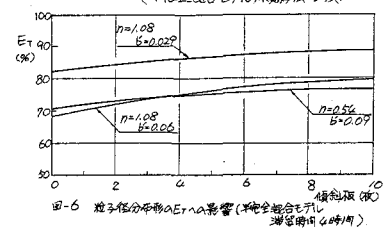


図-6 粒子径分布を考慮した E_T の算定 (完全混合モデル, 傾斜板 40 枚)

$$E_T = 2.303nb' \int_{amin}^{dmax} R d^n \frac{1 - \exp(-Kd^2/v_0)}{d} d(\alpha) \text{-----(10)}$$

と求めることができる。図-3,4は、 $b'=0.06$, $n=1.08$, $\rho_s=2.58\text{g/cm}^3$, $\rho=1.08\text{g/cm}^3$, $\mu=0.0108\text{g/cm}\cdot\text{s}$, $d(\alpha)=0.2\mu\text{m}$ として計算した結果をまとめたものである。各モデルごとの E_T の差は、たいへん明確であり、滞留時間や傾斜板の枚数によってほとんど変わることはない。滞留時間の除去率への影響をみると、ある時間までは急激に E_T は増加するがやがてゆるやかに上昇するという傾向をもち、その時間は、懸濁粒子の粒子径分布に左右されるようである。図-4により傾斜板の枚数による影響を定量化できるが、図-5,6からわかるように、懸濁粒子径分布形により、除去率への滞留時間、傾斜板の影響は非常に異なるようである。

3. 実験的検討

表-1は実験条件、図-7は実験装置を示したもので、実験の結果を 図-8~11に示した。実験に用いたフロクの粒径分布あるいは沈降速度分布を独立に測定してないため、厳密な意味での理論との整合性の検討はできないが、実験に用いたフロクの沈降速度分布の50%値を $7.6 \times 10^{-4}(\text{cm/s})$ として、計算して求めた半完全混合モデルでの理論値($n=0.54$, $b=0.09$)を図-11中に合わせて示した。この沈降速度は、ストークス径では $9.4\mu\text{m}$ に相当するが、沈降速度の50%値(ストークス径50%値の沈降速度)を用いて、表面負荷率の除去率への影響を表現できることが示唆される。また、図-8から10までの結果からもわかるように、形成されたフロクの凝集剤の種類によっても除去率は大きく異なるので、当然ながら、図-11にわいてもPACとAlumの差が表われるのは仕方がない。しかし、理論的には、形成されたフロク性質が、径、密度などPACとAlumで異なることは周知のことであるので、フロク性質をさらに詳細に入力することによって実験値との比較は可能となる。

4. おわりに

今回の目的は懸濁粒子が粒子径分布をもっている場合の沈殿除去率を従来の沈殿理論から応用し、表面負荷率や粒子径分布形が除去率に与える影響を定量化することにあった。いずれ沈殿除去効率の向上をめざす過飽和型原因藻類の問題へとアプローチしていきたい。

最後に、本研究は、文部省科研費奨励研究Aに一部補助を受けたことを付記し感謝する。また、本テーマに関連し、財団法人建設工学研究振興会(理事長 倉西茂 東北大学教授)から昭和59年度建設工学奨励金を頂戴し、本研究の一部に使用した。記して感謝する。

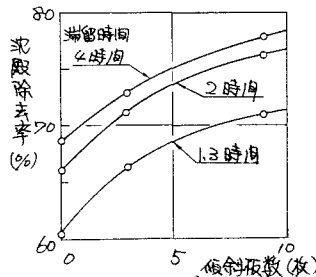


図-10 沈殿除去率の傾斜板枚数による変化(PAC)

表-1. 実験条件

原水	水質	PH	凝集剤	沈殿池滞留時間(h)	傾斜板枚数(枚)
カオリン		7.0	試験用PAC	4	0
100	30		AC ¹ :1.98%	2	3
	(%)		AC ² :1.63%	1.3	9

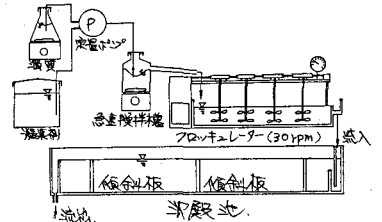


図-7 実験装置

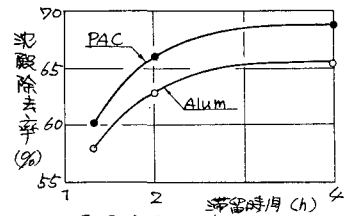


図-8 沈殿除去率の滞留時間による変化(傾斜板0枚)

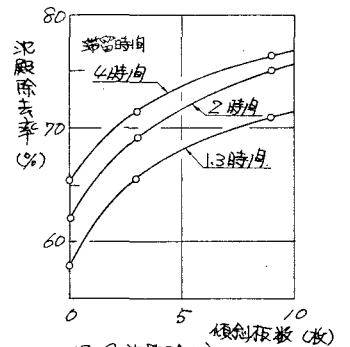


図-9 沈殿除去率の傾斜板枚数による変化(Alum)

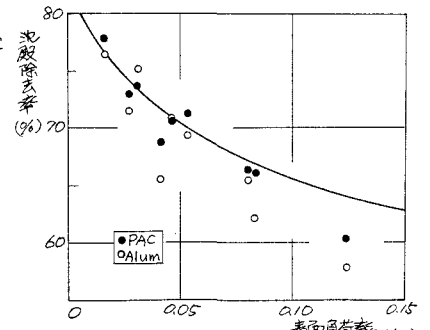


図-11 表面負荷率による沈殿除去率の変化