

VII-86

針状珪藻の場合のろ過機構に関する理論的検討

東北工業大学大学院 学生会員 紺野 栄二
東北工業大学工学部 正会員 今野 弘

1. はじめに

湖沼や貯水池などの閉鎖性水源では、富栄養化による藻類の増殖が浄水システムに影響を与えている。凝集阻害やろ過閉塞の問題である。最近ろ過閉塞の機構や対策について実験的研究が報告されているが^{1)・2)}、本研究ではろ過の輸送過程の因子を針状珪藻の場合について検討した。

2. 急速ろ過閉塞のメカニズム

粒状ろ層による懸濁物質の除去過程を数学的に表そうという試みは日本人の岩崎を最初³⁾として、世界の多くの研究者達によって進められてきた。これはろ層深さ方向の水質変化を示す式とろ層内の質量保存式から成り立っている。一方現象的には、粒状ろ層では水は懸濁粒子を伴ってろ材粒子の表面に沿って屈曲して流れ、流線に乗って流下するが、粘土などの懸濁粒子は、まず流線から離脱してろ材粒子に接触し、さらに接触した粒子のうちのいくつかがろ材に付着してはじめて除去される。懸濁粒子がろ材表面まで運ばれる前者を輸送過程、後者を付着過程と分けてその機構が考えられている⁴⁾。これらについて個々に作用因子が検討され、その卓越性が検討されているが、その検討はすべて粘土粒子についてのものであり、ろ過閉塞を引き起こす針状珪藻については検討されていない。

3. 球形粒子の場合の輸送過程の各因子の定量的比較

3.1 輸送過程の因子 輸送過程の因子は、図-1のように阻止作用、重力沈降作用、ブラウン運動その他水力作用、慣性衝突がある。阻止作用は流れが屈曲して流線に乗った懸濁粒子がろ材粒子へ接触することである。重力沈降作用は、懸濁粒子は水より密度が大きいため下に流下している流線に水平方向成分が生じたとき重力方向に流線から離れる作用をいう。ブラウン運動はコイルのような微粒子が水の熱運動によって不規則な動きをする現象である。慣性衝突とは、ろ層内を流線が屈曲しながら進むとき、懸濁粒子と水との質量差が大きいと、粒子は流線に追従できず、流線から離脱する作用である。懸濁粒子が回転すると流線の進行方向と回転方向とが一致する側で圧力が低くなり、その反対方向から力が生じて粒子を動かすが、これを水力的作用と呼んでいる。これらの各因子のろ材と懸濁粒子の接触効率 η を式で評価すると次のようになる⁴⁾。

$$\eta_r = 6(1-\varepsilon_0) D_p / \varepsilon_0 d, \quad (\text{阻止作用}) \quad \varepsilon_0: \text{ろ材空隙率}, D_p: \text{懸濁粒子径},$$

$$\eta_g = \varepsilon_0(1-\varepsilon_0)(\rho_s - \rho_f) D_p^2 g / 6V\mu, \quad (\text{重力沈降作用}) \quad d: \text{ろ材径}$$

$$\eta_B = 6(1-\varepsilon_0) / \pi \kappa (\varepsilon_0 T / 3\mu D_p d V)^{1/2}, \quad (\text{ブラウン運動}) \quad T: \text{絶対温度},$$

$$\eta_h = (1-\varepsilon_0) \varepsilon_0 \beta D_p V \rho_f / 2\mu, \quad (\text{水力作用}) \quad V: \text{ろ過速度}, g: \text{重力加速度},$$

$$\eta_n = 6(1-\varepsilon_0) \exp \{-18\mu \varepsilon_0 d / (D_p^2(\rho_s - \rho_f)V)\} \sin \theta, \quad (\text{慣性衝突})$$

ρ_s, ρ_f : 懸濁粒子、流体の密度, κ : ホルツマン定数, μ : 流体の粘性係数,

$\beta = 4p / \rho_f V^2$, $4p$: 圧力差, θ : 流線と懸濁粒子の方向の角度

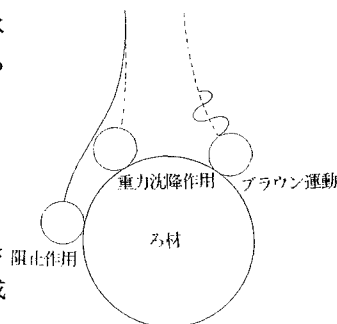


図-1 輸送過程の因子

表-1 球形粘土粒子の接触効率

作用	粒子径 (μm)	
	1	100
阻止作用	0.012	1(1.2)
重力沈降	0.0004	1(4)
ブラウン運動	0.000027	0.000003
水力作用	0.000000	0.000000
慣性衝突	0.000000	0.00022

$V = 1.736 \times 10^{-3} \text{ m/s}$, $D = 0.5 \text{ mm}$, $\varepsilon_0 = 0.5$,
 $T = 293 \text{ K}$, $\mu = 10^{-3} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$,
 $\rho_s = 2.6 \text{ g/cm}^3$, $\rho_f = 1.0 \text{ g/cm}^3$, $\beta = 10^{-2}$,
 $\kappa = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$, $\theta = 90^\circ$

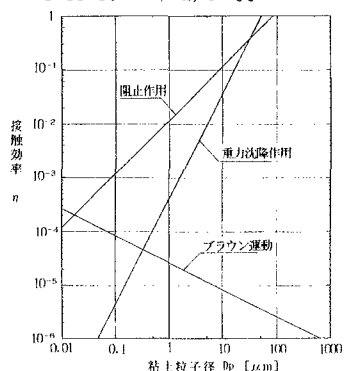


図-2 各因子の接触効率と粒子径

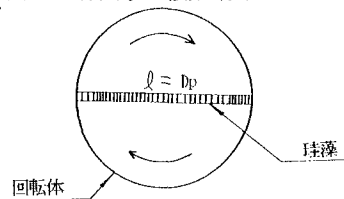


図-3 針状珪藻のモデル

3.2 輸送過程の各因子の定量的比較 表-1に球形粘土粒子の場合の各因子の接触効率を示した。接触効率を比較すると卓越作用は、阻止作用、重力沈降作用、ブラウン運動であるといえる。さらにこの三作用の懸濁粒子径との関係を図-2に示した。図から接触率は、懸濁粒子径がごく小さい場合にはブラウン運動が卓越するが、粘土程度の大きさでは阻止作用が、さらに大きくなると($D_p > 50 \mu m$)重力沈降作用が卓越することがわかる。

4. 針状珪藻の場合の輸送過程の各因子の定量的比較

4.1 針状珪藻のモデル 針状珪藻は、 $10 \mu m$ 程度から $300 \mu m$ 以上まで多くの種類が存在する。そこで針状珪藻の形状を細長い円柱と近似する。球形と異なってその円柱の向きが大きく関与するが、その向きを特定することはできない。そこで、本研究では針状珪藻がろ層内の流れによって回転する考え（図-3）、円柱の長さ l と球形粒子の粒子径 D_p が等しく、また円柱の直径を長さ(D_p)/12程度と仮定して各因子の定量的比較を試算した。

4.2 阻止作用における接触効率 η_i 図-4に針状珪藻の η_i の場合の阻止作用による接触効率を空隙率との関係で示した。図はパラメータとして（珪藻長/ろ材径）比を用いた。阻止作用により、ある一定の径では空隙率が低くなるほど接触効率が高くなる。しかしそれよりろ材径に対する懸濁粒子径や珪藻長が大きくなるほど接触効率がより高くなる。実際上の空隙率の範囲やろ材径、粘土と針状珪藻Synedra, Nitzschiaの実際上の大きさを考慮すると図に示した領域が対象となるので、阻止作用については粘土よりもSynedraやNitzschiaの方が1オーダー接触効率が大きくなるといえる。

4.3 重力沈降作用による接触効率 η_g 図-5に重力沈降作用による針状珪藻長と接触効率の関係を示した。同一径ではやはり粘土粒子の方が3オーダーも接触効率が高い。これは珪藻の密度が $1.01 \sim 1.3 g/cm^3$ 程度と粘土粒子と比較して相対密度差が小さいためである。しかし $1 \mu m$ 前後の粘土粒子と、密度が低いとはいえ $100 \mu m$ 以上の針状珪藻群を比べると接触効率は大きく逆転することになる。次に重力沈降作用において密度による影響を考慮するために図-6を作成した。密度が $1.0 g/cm^3$ に近くなると接触効率は極端に小さくなることがわかる。珪藻長をパラメータとして分類すると、密度は低くても珪藻長が長くなると、やはり接触効率が高くなることわかる。

5. おわりに

藻類の場合の急速ろ過の輸送過程を考える場合、阻止作用、重力沈降作用が卓越的で、それ以外の作用は考慮する必要がない。長さの長い針状珪藻などは、粘土などの懸濁粒子をはるかに上回る阻止作用による接触効率を示し、また重力沈降作用により密度が低いけれども、数 $10 \mu m$ 以上になると密度の大きな粘土よりも大きな接触効率を示すようになる。今後ろ過効率の評価のために付着過程での粘土と藻類の違いを考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 今野・伊澤・佐藤・真柄：第32回環境工学研究論文集，pp. 1~8, 1995
- 2) 今野・伊澤：世界ろ過工学会日本会ろ過分離ソポジウム，pp. 57~61, 1995
- 3) 岩崎富久：ろ過阻止率の計算，土木学会誌，Vol. 24, No. 89, 1937
- 4) 藤田賢二：急速濾過・生物濾過・膜濾過，技報堂出版，1995

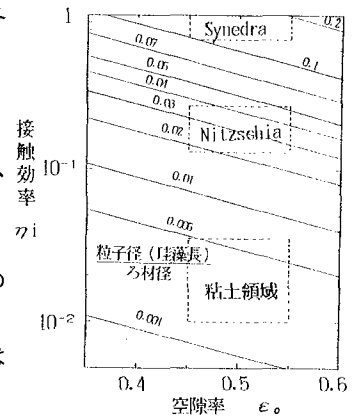


図-4 針状珪藻の η_i と空隙率

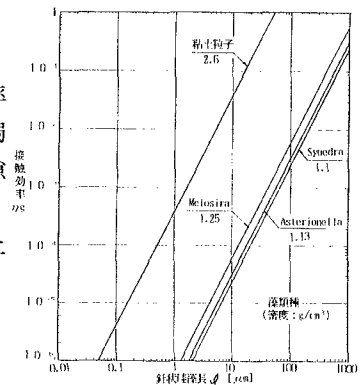


図-5 針状珪藻の η_g と珪藻長

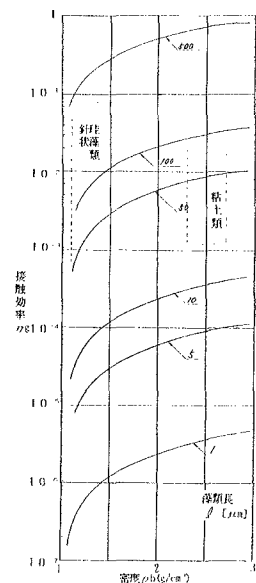


図-6 針状珪藻の η_g と密度