

東北大学大学院 学生員 今野 弘
東北大学工学部 正 員 佐藤敦久
東北大学工学部 学生員 佐藤善彦

1. はじめに

ジャーテストを行なうような目的のもとにろ層を試験する場合は別にして、ろ過理論の体系化のためにはろ過の支配因子のいくつかを無視して得られた結果(もちろん、ろ過の支配因子の全てを制御あるいは測定することは不可能に近いが)を整理しただけで論じることはできない。その支配因子については従来から輸送、付着過程に分けて理論的あるいは実験的検討が加えられてきた結果、非常に多くが提案されてきた。中でもろ速やろ材およびフロックの特性を示すものとして薬品注入量やpH、ALT比などが主なパラメーターとしてろ過実験で制御されてきた。しかし、懸濁粒子径とその粒子の界面状態などろ過時に流入してくる懸濁粒子そのものについての検討は比較的少ないように見受けられる。一方、モデル実験での懸濁物やろ材は実際に類似した物質としてほとんどこオリン粘土や砂を使用しているがそれらは形状、大きさ、物質など不明確な点があり、また産地によって著しく異なるなど結果の整理に支障をきたす場合がある。最近、我々はガラス製の球形微粉を入手でき、これも模型懸濁物としてろ過機構の検討を進めているが今回は懸濁粒子の粒子径と ζ -電位が初期透過係数に及ぼす影響についての実験的知見を報告する。

2. 実験

1) ろ材・懸濁粒子の物性および測定

ろ材は市販のガラス球を用い、顕微鏡による粒子径分布測定の結果、幾何平均径(重量基準) $d_g = 0.55 \text{ mm}$ 、幾何標準偏差 $\sigma_g = 1.140$ (標準偏差 $\sigma_a = 0.08 \text{ mm}$)、均等係数 $u.c. = 1.22$ であり、ほとんどこ球形である。

懸濁粒子として使用したガラス微粉は球形度が良好で不純物が少なく化学的に安定であるなどの利点も有している。このガラス微粉の組成分析値の概略は表-1のとおりである。密度 $\rho_s = 2.45 \text{ g/cm}^3$ で粒子径分布はRosin-Rammler分布に適合し、重量基準のメディアン径(d_{50})は、 $1.75 \mu\text{m}$ である。種々の粒径の濁質を得るために水平流型分級装置で分級した。なお、粒子径分布は各種測定法を比較検討した結果、アンドレアゼンピペットの大容量のものを試作して測定した。また、 ζ -電位はブリッグスセルによる電気泳動法で測定した。

表-1 ガラス微粉の組成

Ig. loss	0.06%
SiO ₂	74.19
Al ₂ O ₃	1.71
Fe ₂ O ₃	0.12
K ₂ O	0.64
Na ₂ O	12.38
CaO	7.21
MgO	3.69

2) ろ過実験の装置、条件および方法

実験装置の概略を図-1に示す。条件は、ろ速 $V = 100 \text{ m}^3/\text{day}$ (一部は $V = 200 \text{ m}^3/\text{day}$)、ろ層空ゲキ率 $\epsilon_0 = 36.8 \sim 38.2\%$ 、ろ層厚 $L = 3.85 \sim 5.21 \text{ cm}$ 、水温 $10.0 \sim 17.8^\circ\text{C}$ 、原水pH = $7.2 \sim 7.9$ 、原水懸濁粒子の濃度 $C_i = 181.2 \sim 232.9 \text{ mg/l}$ (実験の一部は $226.7 \sim 350 \text{ mg/l}$ および 350 mg/l 以上もある)、粒径 $d_{50} = 2.2 \sim 12.1 \mu\text{m}$ (平均 $u.c. = 1.6$)、平均 ζ -電位は $-48.2 \sim -24.8 \text{ mV}$ である。ろ過は自然平衡型で制御し、濃度は孔径 $0.45 \mu\text{m}$ のメンブランフィルターでろ過して測定した。また、初期透過係数 λ_0 は次式で求めた。

$$\lambda_0 \left[\frac{1}{\text{cm}} \right] = \frac{1}{L} \ln \frac{C_i}{C_0}$$

L : ろ層厚 $[\text{cm}]$, C_i, C_0 : ろ過40分後の流入・流出濃度 $[\text{mg/l}]$

なお、懸濁粒子の ζ -電位の制御は原水にピロリン酸ナトリウムおよび硫酸アルミニウムを添加することによって行なった。

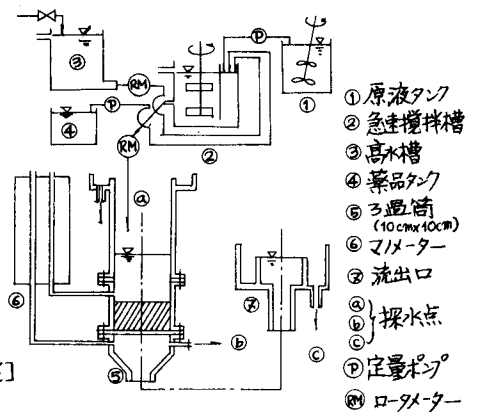


図-1 実験装置

3) 実験結果および考察

図-2は、流速 $V=100\text{ m/day}$ での初期ろ過係数(λ_0)と懸濁粒子のメディアン径(d_{50})との関係を示したものである。図をみると d_{50} が大きくなるにつれて λ_0 は増加する傾向にあり、それらの間には指数関係が認められて $\lambda_0[\frac{1}{\text{cm}}]=1.84 \times 10^{-3} d_{50}^{1.30}$ が得られた。

したがって、この位の粒径の範囲においては従来から指摘されているようにブラウン運動による拡散($\lambda_0 \propto d_s^{-2/3}$)が卓越因子でないことが明らかであり、指数から判断する限りはストレーニング作用(理論的には $\lambda_0 \propto d_s^{1.5}$)が支配的であると考えられる。この知見からろ過場では粒径分布のうち大粒径部が選択的に除去され流出水の粒径分布が流入水のそれと比べて変化しているのではないかと考えたが図-3に示すようにほとんど変化は認められず、粒径分布のメディアン径が λ_0 を変化させるほどではなく粒径のみから論じればろ過全体においてほぼ同一のろ過係数を与えるものと考えられる。

図-4は、 λ_0 と懸濁粒子の r -電位との関係を $V=100\text{ m/day}$ と 200 m/day について示したものである。その結果、それぞれ $\lambda_0[\frac{1}{\text{cm}}]=4.69 \times 10^{-6} |r|^{3.47}$ 、 $3.94 \times 10^{-5} |r|^{4.63}$ を得た。これらのことより、懸濁粒子の r -電位は λ_0 に大きく影響することがわかり、 r -電位を操作することによって除去率が著しく改善することが可能になると考えられる。また、従来 $\lambda_0 \propto r$ 、あるいは $\lambda_0 \propto r^2$ などの関係が理論的に提議されているが、この点について再検討する必要があると思われる。

表-2は、懸濁粒子の流入水の各 r -電位に対する流出水の r -電位の变化を一覧にして示したものである。この表で注目したいのは、懸濁粒子の流入水と流出水中の r -電位の差である。すなわち、 r -電位が比較的高い($|r|$ が大)場合には差は小さいが低い($|r|$ が小)場合には流出水中の粒子の r -電位が高くなっている点である。このことは、粒子の r -電位が、ろ層を通過するこによって増加するというよりは流入水中の比較的低い r -電位を有する粒子が選択的に抑留され、より高い r -電位の粒子が流出してくるようになる方が妥当であろう。このようは現象から粒子の r -電位が小さい場合には、ろ過係数はろ層の流下方向に減少していくことが考えられ、急速ろ過の不合理性を助長するように働くと思われる。

3. おわりに

今後、流速、ろ材の性質をパラメータにし、さらに抑留後の現象まで検討していきたい。

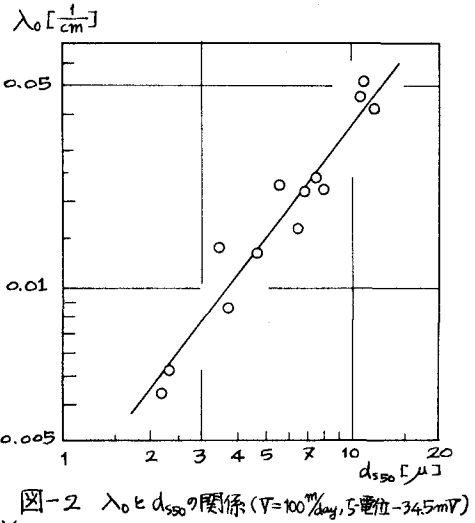


図-2 λ_0 と d_{50} の関係($V=100\text{ m/day}$, 5電位-34.5mV)

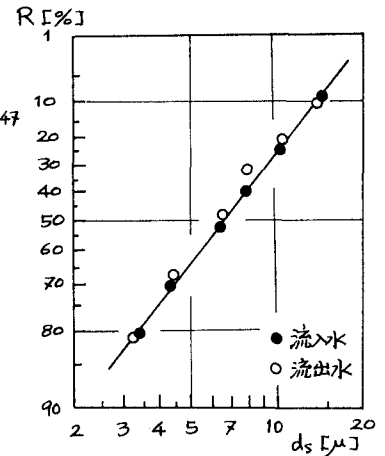


図-3 流入・流出水の懸濁粒径分布の一例($V=100\text{ m/day}$, $d_{550}=6.0\mu$)

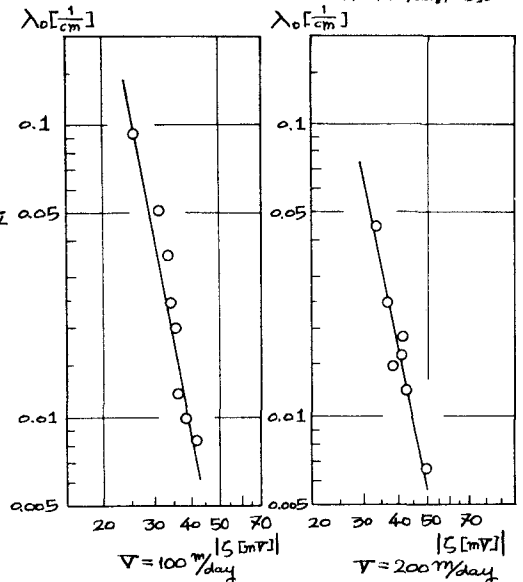


図-4 λ_0 と r -電位の関係($d_{550}=6.0\mu$)

表-2 懸濁粒子の r -電位

流入水[mV]	流出水[mV]
-41.6	-40.2
-40.3	-39.9
-40.0	-38.9
-39.8	-39.2
-37.6	-38.5
-35.8	-38.5
-34.3	-36.7
-32.5	-36.2
-31.7	-34.7
-25.9	-30.7
-24.8	-28.2