

京都大学工学部 学生員 尾崎 博明
 正 員 寺 島 泰
 正 員 北 尾 高 嶺

1. はじめに ろ材の界面動電位(以下ち電位と記す)が懸濁粒子のそれとともにろ過効率に大きな影響をおよぼすことは従来から指摘されており、筆者らも¹⁾2, 3報告してきた。¹⁾本研究ではそのち電位を人為的に幅広く変化させたろ材を用いてろ過実験を行い、その影響をより定量的に把握するとともに、結果にヘテロ凝集理論を適用することを試みた。また操作因子を種々変化させたときのろ過効率の値をもとに、統計分布を用いてろ過効率を予測する可能性を示唆し、あわせてろ材のち電位による影響を他の操作因子との関連において評価することを検討した。

2. ろ材のち電位と初期ろ過係数 (1) 実験

ろ材には500~590 μ の砂を用い、そのち電位はつぎの2方法により人為的に変化させた。①所定濃度のエチレンイミン溶液に一昼夜浸漬後蒸留水により洗浄、②電解質(KCl)溶液濃度を变化。ち電位の測定は既報の装置と方法¹⁾によった。ろ過実験は上記のろ材を直径30mmのアクリル製ろ過塔に厚さ50mmになるように充填(空隙率39%)し、KClを含むカオリン懸濁液(20ppm, 20 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C)を流下させた。KCl濃度は①の方法でち電位を变化させる場合は $5 \times 10^{-4}N$ としたが、②では $2.5 \times 10^{-4} \sim 10^{-2}N$ とした。カオリンは20 μ 以下にふるったものを用いたが、そのち電位は-23.7mVであった。なお、流速は130 m^3/day とした。

(2) 結果および考察 図-1にろ材の浸漬に用いたエチレンイミン溶液濃度によるろ材のち電位の変化を示す。ち電位は片対数上で濃度とともにほぼ直線的に増加しており、 $\chi(\text{mV}) = 48.1 \log C - 37.2$ (相関係数0.9930, C:浸漬濃度 ppm) の関係を得た。このことから、浸漬濃度を变化させることによりち電位をかなりの精度で制御できることが明らかとなった。つぎに、ろ材のち電位と初期ろ過係数(λ_0)の関係を図-2に示す。なお $\lambda_0 = -(\frac{t}{L}) \ln(\frac{C_0}{C_L})$ (C_0, C_L :入口および出口濃度, L :ろ層深さ, cm)により求めた。図-2では λ_0 の値はち電位の上昇とともに増加しているが、とくに $\chi=0$ を境としてその近傍で大きな変化が生じていることはヘテロ凝集理論によっても定性的には十分予想されることであり興味深い。また、 $\chi=-45\text{mV}$ 前後ではエチレンイミンによってろ材を処理したときの λ_0 と電解質濃度のみを变化させた時の λ_0 とがほぼ同じ値となっており、ろ材のち電位の制御が十分なされているとともに λ_0 の値がち電位の制御方法に左右されていないことを示している。

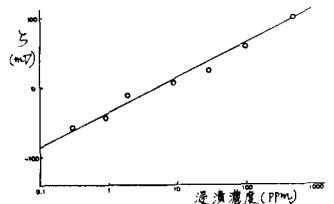


図-1. 浸漬濃度とち電位

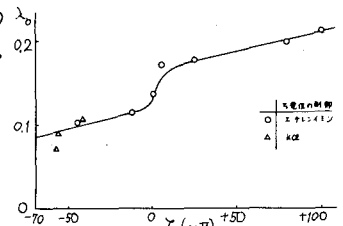


図-2. ろ材のち電位と初期ろ過係数(λ_0)

(3) ヘテロ凝集理論の適用 ろ過現象をヘテロ凝集理論によって取扱おうとする試みは数少ないものの従来から行われており、最近では今野ら²⁾によっても報告されている。この理論の適用には種々の近似や仮定が必要であり、実験データとは必ずしも整合しないことが多いが、一つの試みとして図-2の結果にヘテロ凝集理論を適用し、ヘテロ凝集をおこすろ材の臨界ち電位を算出した。以下簡単に記述する。

半径 a_1 で表面電位が ψ_1 の粒子と半径 a_2 で表面電位が ψ_2 である粒子の静電的相互作用のポテンシャルエネルギーは次式で表示される。

$$V_{el} = \frac{\varepsilon a_1 a_2 (\psi_1^2 + \psi_2^2)}{4(a_1 + a_2)} \left[\frac{2\psi_1 \psi_2}{\psi_1^2 + \psi_2^2} \ln \left\{ \frac{1 + \exp(-2Kh_0)}{1 - \exp(-2Kh_0)} \right\} + \ln \{1 - \exp(-4Kh_0)\} \right] \dots \textcircled{1}$$

(K: Debye パラメータ
 $2h_0$: 粒子表面間の最近接距離
 ε : 水の誘電率)

ここで $2Kh_0 > 1$, $a_1 < a_2 = a$ (ろ材半径) とすると, $V_{el} = \varepsilon a \varphi_2 \ln\{1 + \exp(-2Kh_0)\} \cdots ②$ となる。Van der Waals 力によるエネルギーは同様に, $V_A = -Aa/(12h_0) \cdots ③$ (A : Hamaker 定数 [erg]) で表わされる。凝集臨界条件を, $V_{el} + V_A = 0 \cdots ④$ $d(V_{el} + V_A)/dh_0 = 0 \cdots ⑤$ とおくと, ②④⑤より $2Kh_0 = 1.139$ となる。 $1/K = 3 \times 10^{-8}/ZVC$ [cm] (C : mol 濃度, Z : イオンの価数), $\varepsilon = 80$ とおき, 単位換算等を行うと, $\varphi_1 \varphi_2 = 6.25 \times 10^{-4} AZVC \cdots ⑥$ を得る。 A の平均値 $= 4.44 \times 10^{-3}$ [erg], また $C = 5 \times 10^{-1}$ [mmol/l] とおき, φ_1, φ_2 を Debye-Hückel 関数により電位に換算すると, $\varphi_{平均} = -23.7$ [mV] より凝集をおこすろ材の臨界電位は -3.2 [mV] となり, 図-2 の結果とおおよそ一致している。しかしながら非常に粗い近似であり今後検討すべき点は多い。

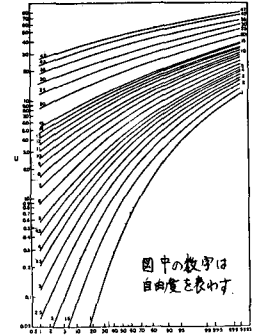


図-3. P_c と U の換算表

3. ろ過効率の予測と影響因子の評価

ろ過現象を χ^2 分布を用いて表わそうという試みが *cleasby* によってなされている。これはろ層内における懸濁粒子の挙動の確率論的性質に基き, ろ過実験データ曲線と χ^2 分布曲線の近似性から両者を関連づけようとしたものである。本研究では操作因子としてろ材の電位を加え, ろ過効率の予測方法を示すとともに, ろ過効率におよぼすろ材の界面動電位の影響を, 他の操作因子との関連においてより定量的に表示することを試みた。

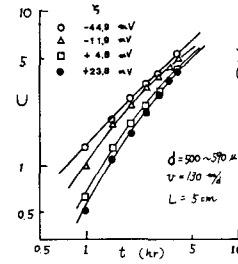


図-4. 各電位に対する $U-U$ 曲線

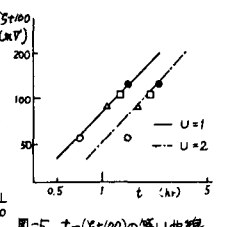


図-5. $U-(\zeta+100)$ の等 U 曲線

(1) 実験 操作因子としてはろ速 (v), ろ材径 (d), ろ材の電位 (ζ) とし, これらのうち一因子のみを変化させ, 他は一定の条件でろ過実験を行った。ろ速は $80 \sim 330$ m まで 6 点, ろ材の電位は $-44.9 \sim +23.8$ mV まで 4 点選択し, ろ材径は $420 \sim 500 \mu$, $500 \sim 590 \mu$, $590 \sim 710 \mu$, $710 \sim 840 \mu$, $840 \sim 980 \mu$, ろ層厚さ 50 mm としたが, 他の条件, 実験方法等は上記の 2 節の実験と同様である。

(2) 結果および考察 χ^2 分布は次式で定義される。

$$f(U) = \frac{U^{(\chi^2/2 - 1)} \exp(-U/2)}{2^{(\chi^2/2)} \Gamma(\chi^2/2)} \cdots ⑦ \quad \begin{matrix} U: \text{正の任意の変数} \\ \chi^2: \text{自由度} \\ \Gamma: \text{ガンマ関数} \end{matrix}$$

また累積確率は $P_c = \int_0^U f(U) dU \cdots ⑧$ で表わされる。ここで実験データと⑦式を関連づけるため以下のような仮定をする。 $\%C_0 = P_c(C_0, C)$ 入ロ, 出口濃度, $\tau = U$ (ろ過時間 (hr))。つぎに実測値 $\%C_0$ ならびに⑦⑧

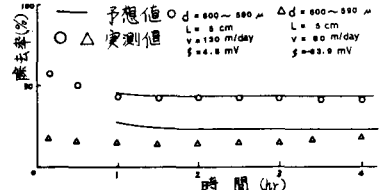


図-6. 実測値から得た $U-U$ 曲線

式より求めた U と P_c の関係を表わす図-3 をもとに, 一例として各電位における $U-U$ 曲線を図示すると図-4 と得る。等 U 曲線は図-5 のようになり, その傾きがほぼ等しいことから, $(\zeta+100)^{-0.93} = \text{一定}$ となる。同様に $v^{1.0} \tau = \text{一定}$, $d^{1.3} \tau = \text{一定}$ を得たので, $M = v^{1.0} d^{1.3} (\zeta+100)^{-0.93} \tau \cdots ⑨$ とまとめ, 両対数上に M と U の値をとると図-6 のようになる。図-6 より以上の手法を逆にたどることにより濁度濃度 C を予測することができ, その例を図-7 に示す。さらに, 目標水質 $\%C_0$ と d を設定すると⑨式より ζ と v の関係が得られるが, その計算結果の例を図-8 に示す。これらの結果から操作因子にろ材の電位を加えても, こういった手法である程度は水質予測が可能であるとともに, $\zeta-v$ など二操作因子間のろ過効率に与える影響の解明を, 一定条件下での結果ではあるが数式として定量化しえた。その結果ろ材の電位も他の操作因子に劣らず重要な因子であることがより明確になった。

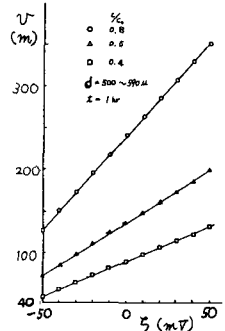


図-7. 予想値と実測値の比較

<参考文献> 1) たとえば, 尾崎, 号島, 北尾, 第 14 回工口論会講演集 52 (1978). 2) 今野ら, 第 15 回工口論会講演集 158 (1979).

3) J. Visser, *adv. colloid and Interface Sci.* 3 331 (1972). 4) J.L. Cleasby et al., *J. San. Eng. Div. ASCE*, S46 6270 (1972)