

1. はじめに

著者らは最近、ヘナロ凝集理論を急速凝固現象に適用することによって凝固の界面動電的に定量化しようと試みた結果、定性的にはある程度説明できるという知見を得た¹⁾。しかし、基本式の解析が近似的であり、また対称電解質のみを扱っていることと不確定要素の多い項目を1つの定数とみなしたことで、さらに凝固方向の精度強化にまで言及していないことが問題として残された。本報告はこれらの点を検討して得られた知見とまとめたものである。

2. 三次粒子と懸濁粒子の凝集の臨界電位とその変化

一般に三次粒子と懸濁粒子の間にはポテンシャル障壁が存在するので粒子を凝集させるためにはその障壁より大きな運動エネルギーを系に加えたり、障壁とほぼポテンシャルエネルギーを小さくするなどの手段を用いる。本処理プロセス中の凝集現象では運動エネルギーを攪拌によって与えていながら、ろ過においては系に与えられる運動エネルギーを支配するのはろ速、三次粒子のまわりの本流の集合と分散とである。ここで、これらによる運動エネルギーを E とし、ポテンシャル障壁を V_T とすると、粒子が凝集する条件は $V_T < E$ となる。ろ過の場合 E の評価は困難であるがろ過の流れが極めて遅いことを考慮して $E=0$ とすれば凝集条件は $V_T=0$ と設定できる。一方、Debye-Hückelによれば球形粒子のまわりのポテンシャル分布は近似的に次のように表わされる²⁾。

$$\phi_r = \phi_0 a \frac{\exp\{-\kappa(r-a)\}}{r} \quad (1) \quad \begin{cases} \phi_r: \text{粒子の中心から } r \text{ だけ離れた面での電位, } a: \text{粒子半径} \\ \phi_0: \text{表面電位, } \kappa: \text{イオン雲の厚さの逆数} \end{cases}$$

今、Stearn-Gouy 局境界面の電位を ϕ_1 、その面から b だけ離れた面(せん断面)での電位を ϕ_2 とし、 $a > b$ とすると

$$\phi_2 = \phi_1 \cdot \exp(-\kappa b) \quad (2)$$

とする。ポテンシャル障壁は非対称電気二重層の相互作用によるエネルギーと Van der Waals 力の合力の最大値であると考えるとき凝集条件を満足するときの関係式は次のようになる。

$$\phi_1 \phi_2 = \frac{\phi_1^2 + \phi_2^2}{2 \exp(\kappa H_0)} + \frac{\exp(2\kappa H_0) - 1}{6 \epsilon (\kappa H_0)^2 \cdot \exp(\kappa H_0) \cdot \exp(2\kappa b)} \kappa A \quad (3)$$

ϕ_1, ϕ_2 : 粒子1, 2の ζ -電位, H_0 : 粒子1, 2間の距離, A : Hamaker 定数

この式により、凝集条件を満足するときの粒子の ζ -電位と κH_0 , b との関係が一般的に表わされることになる。この値については現在のところ決定的なものはないが後述の実験的検討の結果、約 $10 \text{ \AA}$ と得られた。そこで $b=10 \text{ \AA}$ の場合の $\log \kappa$ に対する ϕ_1, ϕ_2 の関係を示したのが図-1であるが図には、粒子1, 2の ζ -電位比が右の値のものについて示した。図-2は、電位比をパラメータとして臨界 ζ -電位の $\log \kappa$ に対する変化を示したものである。これらの図より、 $b=10 \text{ \AA}$ の場合、 $\log \kappa=5.6 \sim 6.5$ の範囲においては $\log \kappa$ が大きければより臨界 ζ -電位の絶対値 $|\phi_c|$ は大きく、 ζ -電位が比較的高い(負の場合に強い)ときでも粒子が凝集し得るようになる。

図-3は、 $\phi_2/\phi_1=1.0$ の場合の臨界 ζ -電位と $\log \kappa$ の関係の b による変化を示したものである。 $\phi_2/\phi_1=1.0$ はいわゆる対称電気二重層の場合に相当するもので $b=65 \text{ \AA}$ では丹保が導いた臨界凝集 ζ -電位の κ による変化³⁾とほぼ同一である。また、 b の値が比較的大きい場合には、臨界 ζ -電位の $\log \kappa$ による変化が b の小さい場合と逆の様相

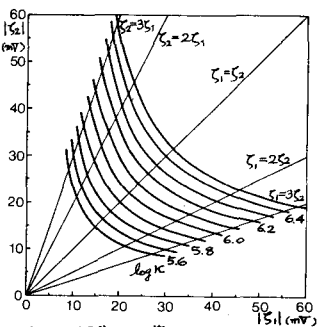


図-1 凝集条件を満足する ϕ_1, ϕ_2 の関係
($\epsilon=80.37$, $A=1 \times 10^{-12} \text{ erg}$ の場合)

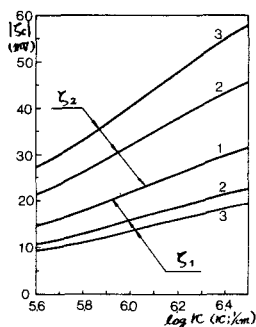


図-2 臨界 ζ -電位
($b=10 \text{ \AA}$, $\epsilon=80.37$, $A=1 \times 10^{-12} \text{ erg}$)

を呈している。すなわち、 $\log K = 5.8 \sim 6.0$ をピークとして $\log K$ の増大に伴って
 限界-電位の絶対値 $|S_c|$ が小さくなることがわかる。すなわち、 $\log K$ が比較的外
 部溶液においては限界-電位は b の値にそれほど影響を受けず、 $\log K$ が大
 きくなるに限り限界-電位は b の値に著しく異なることがわかる。イオン層固定係
 数である K はイオン強度 I と

$$K = 3.2775 \times 10^8 \sqrt{I} \quad (\text{水温 } 20^\circ\text{C の場合}) \quad (4)$$

の関係にあるので、限界-電位は結局「イオン強度」によって変化することになり、溶液
 中のイオン種と濃度が S_c に影響を及ぼすことになる。

すなわち、限界-電位は、 S_1/S_2 、 b および K によって異なり一律には
 決め難い。特に b はその系への外的な条件によってあまり左右されまいといわ
 れているが本処理系における限界-電位の定量的な把握のためには粒子の
 b の決定が重要なことになると思われる。

3. 界面電位の指標とろ過深さ方向の懸濁物濃度分布

式(3)の右辺を左辺で割ったものを Θ とおくと、

$$\Theta = \frac{1}{2 \exp(KH_0)} \frac{1 + (S_2/S_1)^2}{S_2/S_1} + \frac{\exp(2KH_0) - 1}{6 E(KH_0)^2 \exp(KH_0) \exp(2Kb)} \frac{K A}{S_1 S_2} \quad (5)$$

となる。また、前報と同様の仮定¹⁾をおくと単粒子ろ過数 n の全ろ過率 Δn

は、

$$\Delta n = \ln \frac{100}{x_0 (1 - \tau \eta)^n + (100 - x_0)} \quad (6)$$

$$x_0 = \frac{100}{\sqrt{2\pi} \sigma} \int_{-\infty}^{S_c} \exp \left\{ -\frac{(S - S_m)^2}{2\sigma^2} \right\} dS$$
 }
 (2); 懸濁液中の粒子の存在割合
 τ ; 付着効率
 η ; 接触知率
 σ ; S -電位分布の標準偏差
 S_m ; S の平均値

とする。図-4は、 $\log K = 6.21$ (実験値) のときのろ材と懸濁粒子の S -電
 位 Δ の電位の限界-電位 S_c とろ材の S -電位 (S_f) と懸濁粒子の S -
 電位 (S_s) の比 b による変化を示したものである。図中の実線は理論値、点
 が実験値を示す。また、図中の $\Delta n = 0.69, 0.31$ は $x_0 = 50\%$ 、 $n = 100$ のとき
 のそれぞれ $\eta = 0.050, 0.008$ の場合の計算値である。実験値の η は
 0.010 程度と思われるので b の値は約 $10 \text{ \AA}$ と推定される。さて、今ろ過
 への流入水濃度を100とすれば単粒子ろ過数 n を通過後の粒子濃度 Con は、

$$Con = x_0 (1 - \tau \eta)^n + (100 - x_0) \quad (7)$$

となる。図-5(a), (b) は Con の n による変化の理論値と実験値を
 比較して示したものである。 $\tau \eta$ は今回の実験では直接求められないうで任
 意の値を示しているが、 $\tau \eta = 0.006 \sim 0.015$ 程度と仮定すれば大略現象を
 追従していると思われる。また、 $\tau \eta$ はろ材径とろ過速度により、ろ材
 径が小さく、ろ速が厚いほど大きな値とみられる。この結果は現象的
 にはろ材径が小さくすると特に η が増大するといふ考えと、ろ速が厚いほど
 η が大きくなるという予想と一致する。

4. おわりに

ろ過を制御される因子として $\tau \eta$ の定量化を今後図りたい。

参考文献 1) 佐藤 敏夫、今野 三郎、急流ろ過における捕留機構に関する研究、水防技術
 1979-1。

2) Kruyt, H.R.; Colloid Science (F), Elsevier Pub. Co., Ams., p. 144, 1952.

3) 丹保 孝二; 本処理系におけるろ過機構の基礎的研究 (F), 水防技術 No. 361, 1964-10.

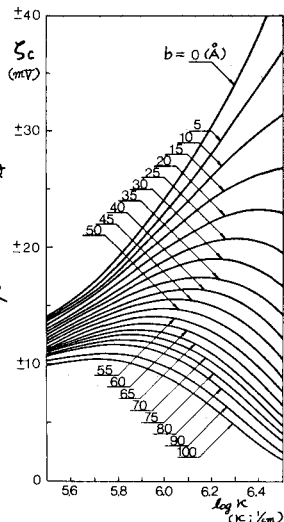


図-3 $S_1 = S_2$ 時 S_c と $\log K$ の b に
 よる変化 ($E = 80.37$, $A = 1 \times 10^{-12}$)

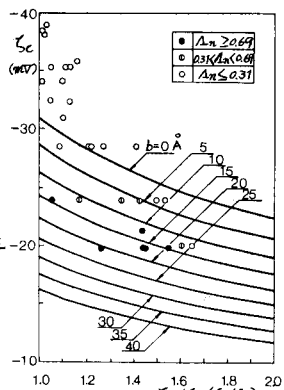


図-4 S_c と S_f/S_s ($K = 10^6$ (cm), $A = 1 \times 10^{-12}$)

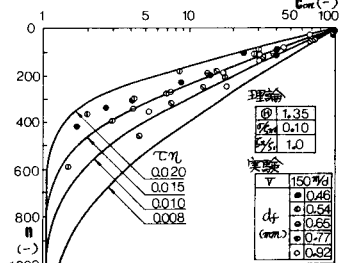


図-5(a) Con と n の関係

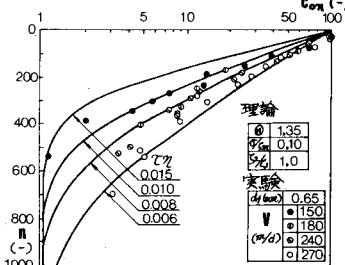


図-5(b) Con と n の関係