

急速ろ過現象の凝集理論的考察

東北大学大学院 学生員・今野 弘
 工学部 正員 佐藤敏久
 学生員 藤井康弘

1. はじめに

先に、佐藤・今野は急速ろ過現象とヘテロ凝集理論とある程度説明できるという知見を得た¹⁾。本報告は、その理論を一步進めたもので近似な適切な凝集条件の提示とろ過方向の懸濁物濃度分布について示したものである。

2. ポテンシャル障壁と粒子径の効果

非対称電気二重層による相互作用と Van der Waals の合力 エネルギー V の極大値 V_{max} は次式のように求まる。

$$V_{max} = \frac{\epsilon a_1 a_2}{4(a_1 + a_2)} (4\epsilon_1^2 + 4\epsilon_2^2) \left\{ \frac{2\epsilon_1 \epsilon_2}{4\epsilon_1^2 + 4\epsilon_2^2} \left\{ \ln \frac{1 + \exp(-\kappa H_0)}{1 - \exp(-\kappa H_0)} - \frac{2\kappa H_0 \exp(-\kappa H_0)}{1 - \exp(-2\kappa H_0)} \right\} + \ln \left[1 - \exp(-2\kappa H_0) \right] + \frac{2\kappa H_0 \exp(-\kappa H_0)}{1 - \exp(-2\kappa H_0)} \right\} \quad (1)$$

ϵ : 誘電率 a_1, a_2 : 粒子1, 2の半径 ϵ_1, ϵ_2 : 粒子1, 2の Stern-Gouy 境界層の電位

κ : イオン雰囲気の厚さの逆数 H_0 : 粒子間距離

この V_{max} は粒子が凝集する際のポテンシャル障壁に相当するもので小さければ凝集にとっては効果的である。先の報告¹⁾ ではろ材と懸濁粒子の凝集条件として $V_{max} = 0$ と設定したためその時点で粒子径の効果は存在しなかった。この条件は理論の展開に妥当か否かと考えているが式(1)から粒子径の効果を考えてみると1, 2の粒子とも粒子径が小さい程 V_{max} は小さくなることわかる。この知見をろ過現象に適用すると、

- (1) ろ材径が小さい程懸濁物の捕集効率が良いという結論はろ材によるストレーニング効果の他に界面電氣的な効果も使いたことによる。
- (2) 懸濁粒子径が小さい程ろ材による捕集効率が低いという現象²⁾ からすると矛盾するが、マイクロフロックの方がろ材表面に滞留しやすいという多くの実験結果から判断するとある程度ポテンシャル障壁が低くは、た段階では懸濁粒子径が小さい方が効果的であると考えられる。

ほどという定性的な判断が可能であると思われる。

3. ろ材粒子と懸濁粒子の凝集の条件

$V_{max} = 0$ と凝集の条件と設定して κH_0 と $4\epsilon_1, 4\epsilon_2$ の関係と整理すると式(2)のようになる。

$$\beta = \frac{\frac{\alpha^2}{1-\alpha^2} \ln \alpha - \frac{1}{2} \ln(1-\alpha^2)}{\frac{1}{2} \ln \frac{1+\alpha}{1-\alpha} + \frac{\alpha}{1-\alpha^2} \ln \alpha}, \quad \alpha = \exp(-\kappa H_0), \quad \beta = \frac{2\epsilon_1 \epsilon_2}{4\epsilon_1^2 + 4\epsilon_2^2} \quad (2)$$

図-1は電位比が1で、 $\kappa = 10^{5.5} \sim 10^{6.5} [L^{-1}]$ の場合について式(2)を用い、凝集作用の働く粒子間距離を推算して示したものである。この結果から、凝集作用の働く粒子間距離は κ に大きく依存し、水処理で扱う水質では $40 \text{ \AA} \sim 400 \text{ \AA}$ 程度にあると思われる。したがってこの長さ以上の膜をもった高分子電解質などが存在した場合、もはや粒子間のヘテロ凝集の考え方は適用できず、併存現象を合わせて考慮する必要がある。

次に、Stern-Gouy 境界層における電位 ψ と Debye-Hückel 関数と適用して ψ -電位に換算し、凝集条件と整理すると式(3)のようになる。

$$\Theta = \frac{1}{2\epsilon \kappa H_0} \frac{1 + (\psi_1/\psi_2)^2}{\psi_1/\psi_2} + \frac{A}{6\epsilon} \frac{e^{2\kappa H_0} - 1}{(\kappa H_0)^2 e^{\kappa H_0}} - \frac{1}{\epsilon \kappa H_0} \frac{\kappa}{\psi_1 \psi_2} \quad (3)$$

A: Hamaker 定数 b : ψ のよびろの電位が定義される面間の距離

この Θ は先の報告¹⁾ における界面電氣的指標に対応するもので、より厳密な式の誘導によって得られたものである。ただし、 ψ_1/ψ_2 と κH_0 は互いに独立ではなく、式(2)で与えられる関係にあるがやや複雑なので電位比1以内で近似す

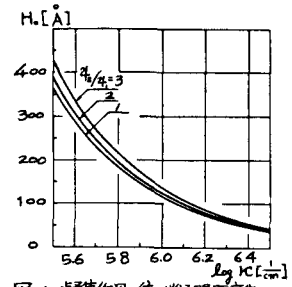


図-1 凝集作用の働く粒子間距離

ると、 $KH_0 = 0.02235 (S_1/S_2)^{1/2} + 0.00534 (S_1/S_2) + 1.11 \times 10^{-4}$ (4)
 となる。④=1.0は凝集の条件を示すもの、 $b=65 \text{ \AA}$ (3) として凝集の境界
 界面電位を図示したのが図-2である。対称電気二重層の場合、いわゆる
 $S_1=S_2$ の条件を付加すると境界 ζ -電位が $\log K$ に対して図-3のように変
 化するこになるがこの図は四保が導いたもの³⁾とほぼ同一である。また、
 図-4は凝集剤として添加した硫酸アルミニウムが Al^{3+} と SO_4^{2-} に分離すると
 仮定した場合の K の変化状況を示したものであり、 K が大きいほど硫酸
 アルミニウム添加による K の変化への寄与が小さくなることとわかる。し
 かし、この結果はpHによるアルミニウムイオン種の変化を考慮に入れこら
 ずにお検討の余地がある。

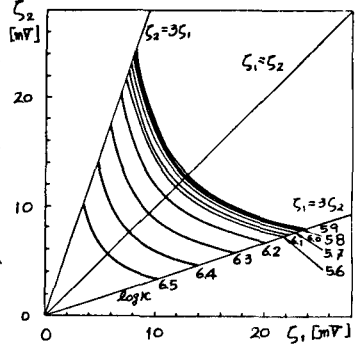


図-2 凝集の境界 ζ -電位

4. 3層系方向の懸濁粒子の濃度変化

④ ≥ 1.0 でろ材と懸濁粒子は凝集することになる
 がろ過現象への適用のため前報¹⁾と同じ仮定をおく。
 今、3層への流入原水濃度を100とし、そのうち x_0
 (%)が凝集条件を満足している場合、単粒子の層数
 n を通過後の粒子濃度は

$$C = x_0 (1 - \tau\eta)^n + (100 - x_0) \quad (5)$$

となる。ただし、

$$x_0 = \frac{100}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\zeta_c} \exp\left[-\frac{(\zeta - \zeta_m)^2}{2\sigma^2}\right] d\zeta$$

σ : ζ -電位分布の標準偏差
 ζ_c : 境界 ζ -電位
 ζ_m : ζ -電位の平均値
 τ : 付着効率
 η : 接觸効率

図-5に3層系方向の

粒子濃度分布の計算結果を示した(他条件の図略)。これより、

- 1) いずれの条件においてもある n で一定値をとる。
- 2) その収束値を支配するものは σ , S_1/S_2 , ④で卓越因子は④と σ 。
- 3) σ が異なっても④を操作すれば同じろ過効率を得る。このこ
 とは σ を小さくできれば少ない凝集剤量で良いろ過効率を得
 られることを示している。

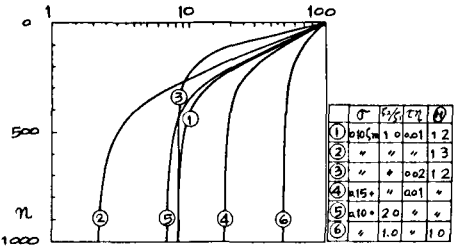


図-5 3層系方向の懸濁粒子濃度分布の計算結果

4) S_1/S_2 を大きくすることは σ を小さくすると同効果をもつ。

5) 収束値に至るまでの3層方向の濃度の変化率を支配するのは τ と η である。

こにわかる。図-6は理論値と実験値を比較した一例を示したものである。
 他条件の図は省いたがこれから得られた結果をまとめる次のようになる。

- 1) 理論値は大幅実験値を追随する。
- 2) 単粒子の層数 n を整理することによりろ材径、3層系および空ゲキ率を
 合わせて無次元表示ができる。
- 3) ろ材の増大に伴って $\tau\eta$ が若干減少するがこのことは十分に予想できる。

また、この減少割合はろ材径が大きくなるほど顕著である。

5. おわりに 今後、さらにこの理論を発展させたい。

参考文献

- 1) 佐藤久・今野弘: 急速ろ過における付着過程の機構に関する研究, 第15回水質学会論文集, pp.158-163, 1971.
- 2) 今野弘・佐藤久・佐藤孝: 初期ろ過係数に影響を与える因子の考察, 第3回水質学会講演要録, pp.363-364, 1973.
- 3) 四保憲二: 水処理における凝集機構の基礎的研究(I), 水道協会雑誌, 第36号, pp.20-22, 昭和39.10

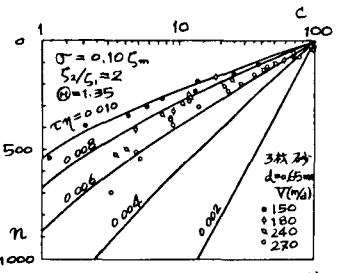


図-6 理論値(実線)と実験値(点)の比較