

1. 2成分懸濁系の凝集とフロック成長

北海道大学工学部衛生工学科 丹 保 憲 仁

前諸報において、粒子径のほぼ等しい懸濁系についての凝集（界面動電現象を無視できない小粒径の場合の集塊）とフロックの成長（衝突の機会の大小のみで集塊を論じうる段階）に関する基本的な取り扱いについて論じた。

しかしながら、実際の凝集・フロック成長に当っては、必ずしも懸濁粒子径の分布を一様とのみ見なしえない場合が多くあり、種々の寸法にわたっての粒径分布が、凝集・フロック成長のパターンへ及ぼす影響を考慮に入れなければならない。

本論では多成分の粒度を有するものの中、最も単純なものとして、2種類にその粒径分布が大別できる粒子群からなる系（2成分懸濁系または単に2成分系とここでは述べることにする）の凝集・フロック成長について論じ、このような問題を扱う際の基本的な方法を考えて見たい。また、この2成分系は、水処理においてもしばしば出遇う普通の条件であることから、実際の処理に関連した例について考えを進めて行くことがより理解しやすいと思われるので、ここでは、1. 表面電位（実際に測定可能なのはゼータ電位）の大小を問題としなければならぬ場合で、数ミクロン程度以下の粒子群で、この群がミリミクロンの桁の粒子とミクロンの桁の粒子の2つのグループから成っているような、有機着色コロイド系と粘土系の濁質が共存しているような場合、2. ミクロンの桁の濁質のような粒子と数十ミクロンの寸法を有する高分子フロック形成補助剤（活性シリカ等）の粒子の共存する場合の凝集、3. 接触凝集における数百乃至千ミクロンにも及ぶ、母フロック（スラリーやスラッジブランケットを構成する成長しきったフロック）と数ミク

ロン乃至数十ミクロン程度のマイクロブロックの衝突成長を考える場合の三段階について考察を加えてみたい。

1 色コロイドと粘土系濁質の共存しているような場合

凝集を生ずる条件としてはゼーター電位がほぼ $\pm 12 \sim 13$ mv の範囲内に入っていること（粒径が 3μ 以下の場合）と，負荷電の粒子にサンドウィッチされてクーロン力を発揮してブロックの結合を強固に保つに必要な最少量のアルミニウム加水分解物（通常 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ で10 ppm程度）が存在することが必要である。

図-1に示すようにアルミニウムの加水分解成生物のゼーター単位はpHの増大と共に低下し，pH 8.5 付近で0電位（等電点）に達する。

この測定は顕微鏡電気泳動法によって行なわれたものであるからpH 6.0以下の加水分解成生物がいわゆる溶解性の状態で存在している部分を直接測りえないが，種々の実験からpH 5.0 付近に最大の電位，

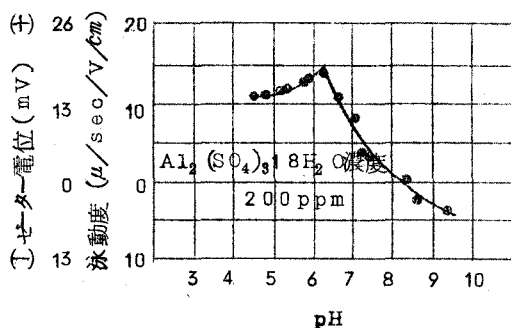


図 - 1

したがって負荷電中和能力を有していることを推定することができる。

色度を構成しているコロイド懸濁系のような粒子径が非常に小さい，したがって界面の負荷電総量の非常に大きなものの場合には，一般に荷電中和のために非常に多くのアルミニウムの添加を要するので，結合アルミは通常十分に存在し，凝集反応の規制条件とはならず，荷電中和を $-12 \sim 13$ mv 以上まで行なうのに必要なアルミ量が幾らかと云ったことが凝集の支配条件となる。このような場合にはアルミニウムの加水分解成生物の荷電中和能力が最大であると考えられるpH 5.0付近が凝集のための最も経済的なpH であることが推定される。このようなパターンの存在は図-2によって証される。

一方粘土系濁質のような粗濁質にあっては
その界面荷電の総量は比較的少なく、凝集を
生ずるに必要なアルミニウム量も比較的少量
(10～100 ppm)である。粘土粒子のゼ
ーター電位を凝集可能な±12～13 mv の
範囲の下限(－12～13 mv)にまで持ち
来たすに必要なアルミニウムの量は $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ として、pH 5.0付近(アルミニ
ウム加水分解物の荷電中和能力の最大の点)で

は通常の濁度に対しては僅々数ppmにしかすぎない。このような場合には界
面動電的には凝集可能であっても、結合アルミニウム量の不足が生じて、フ
ロックの成長は見えない。このようなpHで結合アルミニウムの充分量を与
えるに必要な約10 ppmほどの硫酸アルミニウムを加えるとゼーター電位は
正の側の上限(+12～13 mv)を越えてペプチゼーション現象を生じ、
かえって濁度を増加するような結果をみちびく。そこで結合アルミニウムと
して必要と考えられる $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ で約10 ppm程度を添加し

ゼーター電位を±12～13 mv の
範囲内に持ち来すためにはアルミニ
ウム加水分解物の荷電中和能力のあ
まり高くないようなpHを選ばなく
てはならない。つまり至適pHを7
付近に求めることとなる。

図-3はカオリン懸濁液の凝集の
パターンである。粘土系濁質では注
薬量の増大と共に凝集可能なpH領

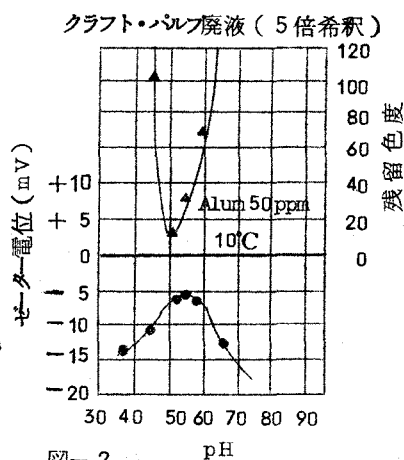


図-2

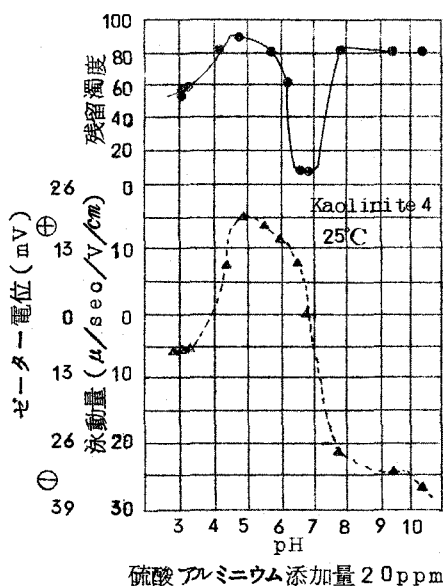


図-3

域が図-4のように拡大して来る。これは注入量の増大と共に界面に集中するアルミニウム濃度が大となり、したがって加水分解速度も速くなり、低荷電の粒子を生ずるに至るのではないかと考えられる。しかしながら色コロイドのような微小コロイドの懸濁系にあっては、粒子数が多く、注入薬品の界面への集中がさほど大とならないため、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ で100~200 ppm程度まで加えてもいちじるしい加水分解の進行は生じないようである。

このような荷電中和を主体に考えるべき色コロイド微粒子と、むしろ結合アルミニウム量の不足を問題としなければならぬような粘土粒子のような粗濁質の同時に存在するような系の凝集処理を完全に行なうことは一般に非常に難しい。しかし、この両者のもっている特異な性質を互いにかみ合わせることでできる点として、凝集剤の添加量の増大をある程度がまですれば、粘土が凝集剤の添加量の増大によって凝集される実用上最低のpHであるpH 5.5付近に処理条件を持って来ることによってどうにか両者を同時に除きうる。

このような方式によって成功裡に処理を行なっている例として釧路市における泥炭地表流水をpH 6.0付近で凝集させているもの、また、パルプ廃液を混入した石狩川水をpH 5.5~6.0で処理しているものなどがある。このような場合フロックのできはあまり良好でないのでフロック形成補助剤の併用が時としては必要となって来る。洪水時、融雪時に濁度が増大し、アルカリ度が非常に不足して来ると、一般には在来のアルカリ度とアルミニウム注入量の等量関係での注入と云った誤った考え方に基いた計算量の石灰等をアルカ

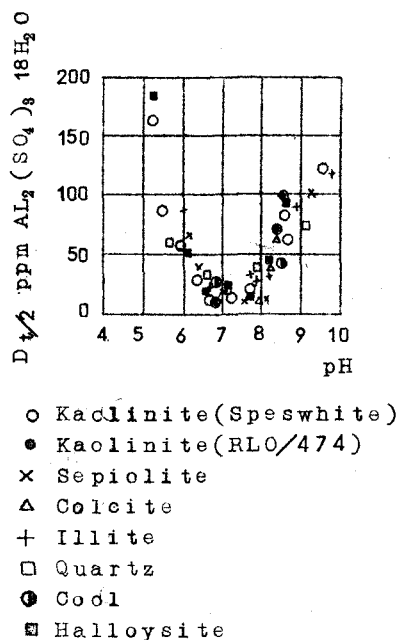


図-4

り助剤として多量に加え pH を中性付近に保って処理する結果濁度はかなり良く除かれるのに色度が残留すると云った場合が非常に多い。このような場合はアルカリの注入をひかえて pH を低目にして処理することによって良好な結果が期待できる。

2. フロック形成段階に入った時マイクロフロックが径の明らかに異なる2群を構成している場合

界面電氣的現象の存在を無視しうるような大きさに成長して来たマイクロフロック群もその初期寸法の大きさが明らかに異っていると一般には別れた群を構成している（色コロイド粘土系、粘土系とフロック形成補助剤系等）。このような場合には著者が前報で述べたフロック吸合攪拌の段階をフロック形成段階の前半にとることが必要になって来る。この段階で必要なことはフロックを成長させることではなくて、小さな方のフロックを大きなフロックに吸合させ、できるだけ一様なフロック群にし、以後のフロック成長を一様な粒子径の懸濁系として行ない、沈降性を良くすることにある。このような段階を無視してはフロック形成補助剤の使用は効果を半減してしまうこととなる。

乱流条件下におけるフロック成長（粒子の衝突減少）の基本式は次のようである。

$$\frac{dn_{ij}}{dt} = -3\pi\beta\sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu}}(d_i+d_j)^3 n_i n_j \quad (1)$$

ここで

n_{ij} : i 粒子と j 粒子の単位体積中の衝突回数

t : 攪拌時間

β : 係数 $\div 1$

ϵ_0 : 単位時間に単位体積中で生ずるエネルギー消費量

μ : 水の粘性係数

d_i, d_j : i 粒子, j 粒子の径

n_i, n_j : i 粒子, j 粒子の単位体積中の個数

今 $d_i \gg d_j$ であるとすれば式-1は近似的に次のように書き直される。

$$\frac{dn_{ij}}{dt} \div -3\pi \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu}} d_i^3 n_i n_j \dots\dots\dots (2)$$

ここで d_i を増大させること（沈降性の改善）を目的とせず，フロック群の一様化を目ざすような高い ϵ_0 を与えると dn_{ij} は小さな方のマイクロフロックの減小 dn_j を示すこととなる。攪拌を止めてある時間静止すると j 粒子と j 粒子はその沈降速度の違いで分離するので，その時の上澄水濁度を測つてやると i 粒子に吸合されなかった j 粒子の量が推定できる。このような考え方で上澄水濁度を指標として式-2を変形してやると濁度低下（小さい方のマイクロフロック吸合）の式は次のようになる。

$$-3\pi \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu}} d_i^3 t$$

$$T/T_0 \div e \dots\dots\dots (3)$$

ここで，

T : 上澄水濁度

T_0 : 初期上澄水濁度

パイロットプラントを用いて行なった実験の例は次の図-5のようである。ここでは大きい方の粒子としては活性シリカを 5 ppm 用いカオリンのマイクロフロックと共存させた。 ϵ_0 は回転翼のみについて Camp の式で計算したもので，定性的な結果を与えるのみであることに留意されたい。 $\sqrt{\epsilon_0/\mu} = G$ とした。

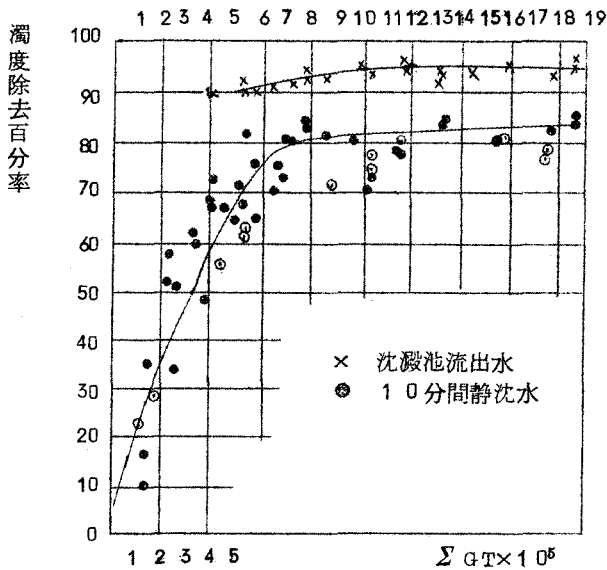


図-5 G. F. Value 濁度除去率図

3. 高速接触フロック形成

いわゆる高速接触沈澱池のフロック形成に対しては式-2および3の関係が非常に良く適用される。その場合には次式のように考えることができる。

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &\doteq -3\pi \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu}} D^3 N n \\ &\doteq -18V \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu}} n \end{aligned} \quad (4)$$

ここで

n : 原水に凝集剤を注入してできたマイクロフロックの単位体積中の数

D : 母フロックの径

N : 母フロックの単位体積中の数

V : フロックの体積総計, 但しマイクロフロックの体積は無視してある。

$$-3\pi \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu}} D^3 N t$$

$$n \doteq n_0 e^{-18V\sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu}}t} \doteq n_0 e \dots \dots \dots (5)$$

ここで

n_0 : 初期のマイクロブロックの単位体積中の数

もし n を濁度 T で示すことができると式-3 と同様にして,

$$-3\pi\sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu}}D^3N$$

$$T/T_0 \doteq e^{-18V\sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu}}t} \doteq e \dots \dots \dots (6)$$

これらの式から明らかな様に接触ブロック形成の速度はブロック形成帯の攪拌強度 ϵ_0 とブロック濃度 (単位体積中のブロック容積) で決まることとなる。一般に行なわれているブロック容積を30分間沈降%で示した場合の空隙率を知りうれば式-6を用いて簡単にこれら装置の除濁効率を推定する。

これらの詳細については講演の際明らかにしたい。