

- (1) 金属塩および石灰によるリンの凝集沈殿除去
- (2) 凝集沈降に関する基礎的研究
- (3) フロックの沈降速度、密度および構造に関する研究(討議)

宮崎大 渡辺 義公

(1)京才氏の論文について 窒素、リン等のいわゆる富栄養塩類の除去を目的とした研究および装置の開発が増々盛んとなっており、本論文は金属塩および石灰によるリン除去についてのパイロットプラントの実験報告である。討議内容を(4)本法を採用する意義、(b)本論文の内容そのものとに區別して論じ、著者の御見解を伺いたい。

(a)下水中には約5ppmの全リンが含まれており、その約50%は合成洗剤に由来すると云われている。この下水中のリンは活性汚泥法によつて、 $BOD \cdot total P = 100 : (1.5 \sim 2)$ の割合で除去され30~50%の除去率を得られる。したがつて、生下水のBODを200ppmとすると二次処理水中には2ppm程度の全リンが残存する。この2ppm程度の全リンを富栄養化の防止のために除去するのが脱リンの目的である。本研究においても表-6に示されているように原水(二次処理水)中に1.554ppmあった全リンが最終的には0.352ppmとなっている。討議者はまず、必ず2ppm程度のリンの除去のためにlime 300ppm Alum 200ppmと云つた大量の薬剤を用い、しかも、再炭酸化を含む複雑なシステムを採用する事の意義について質問したい。石灰を用いるメリットとして、再生可能な事、アンモニアストリッピングの可能性等が挙げられているが、アンモニアストリッピングのためには有機態-Nを NH_4-N に変換するための生物処理が必要であり、さらに、本研究のように処理水に対して6700倍もの空気を吹き込み、しかも、只単に NH_3 ガスとして放散させるのみで、Nに対する根本的対策とは云えない事を考えるとlimeシステムのメリットはそれほど大きくは考えにくい。したがつてこのようなシステムの開発以前の向題として、合成洗剤の使用の可否ならびにその中にヒルゲールとして含まれるリン量の減少、あるいは、生物学的二次処理方法の改善等によつて自然水系中のリン量を富栄養化の誘発レベル以下に保つ事についての検討が残されているのではなかろうか。

(b)凝集剤使用量の算定にP-Dを用いる事については、図-1や表-6を見ても原水中では $P \approx P-D$ であり妥当であろう。しかし、本法は溶解性のリンを不溶解性とし沈殿、浮遊と云つた固液分離操作によつてリンの除去を行なおうとするものであるから、適切な凝集剤の添加と共に固液分離操作が処理効率を支配する。流量一定の条件で行なわれた本研究においてさえ、図-1のようにバント沈殿池と石灰沈殿池の両方とも原水中のPの濃度変動の影響を強く受けている。これは不溶解性リンの量は原水中のリン量に比例するので原水中のリン量の増加に比例して不溶解性リンが沈殿池から流出するためであり、この流出した不溶解性リンはpHの低下によつて再び溶解性となる。表-6を見てもpHが6.92となっている浮遊池では不溶解性リンは全く存在せず浮遊池を設置した意味は全くない。しかも、実プラントとして本法を採用した場合には、通常の下水処理で経験するような流量変動を受ける事となり沈殿池における固液分離は増々むずかしくなる。著者はこれらの対策としてポリマーの使用、沈殿池の改善、石灰沈殿池流出水をただちに浮遊すると云ふ事を挙げておられるが、はたして上述の諸向題に対しての根本的対策となると考えておられるのかどうか御教示願いたい。

(2)栗谷・楠田・古賀氏の論文について フロック形成に続く固液分離操作である沈殿池内での凝集沈降現象を工学的精度から脱して、粒度分布、見かけの衝突係数などを考慮して解明しようとするのが本研究の目的である。その方法としてモンテカルロ法を導入したSimulationを用い、実験により検証しようと試みている。凝集沈降と云ふ複雑な現象へのアプローチに対して敬意を表すると共に今後の御発展を期待し以下の如き討議を行いたい。

(a)凝集沈降のような複雑な現象を解明しようとする場合には、実験とSimulationを並行して行なうよりも、

図-17, 19に見られるような粒度分布の相似性、平均径の増加率などの興味ある事実の再現性の確認が先ではなからうか。本研究では、実験とSimulationのいづれも不確定の要素が多いため、どちらの結果にウエイトを置いて相方の整合を計るかがはっきりせず、解析をより困難にしていると思われる。

(b) Simulationの方法としてモンテカルロ法を導入された事について次の点をお伺いしたい。(i)初期粒度分布を重み関数としておられるがどのような関数をお考えか。(ii)一様乱数値によって $(R+D_0)^3/A$ 以下の判定を行なう事についての根拠。(iii)Campの衝突効率 α は単なる係数ではなく粒径をも考慮した関数となるのではなからうか。(c)モンテカルロ法の採用理由として、式-(1)を差分法により解くと時間、空間を差分化するために著しい誤差が生ずる事を挙げておられる。討議者は式-(1)の左辺を dn/dt と常微分化して数値積分し、 $\Delta t = \Delta x \cdot \Delta t$ を用いて粒度分布の時間変化を沈降距離に伴う変化に変換する方法を考えられているか、着者らの方法と比較御検討頂ければ幸いである。この場合には、図-4, 5, 6, 7の結果より沈降速度差によってフロック形成が行なわれる場合でもフロック密度関数の成立が示唆されているので、沈降速度をストークスの式で示しフロック密度関数を導入すると、数値積分のための基礎式は次式のようなになる。

$$\frac{dn_R}{dt} = -\frac{1}{2} A \sum_{i=0}^{R-i_0} \alpha_{R-i} \left\{ \left(i^{\frac{1}{3-K_F}} + (R-i)^{\frac{1}{3-K_F}} \right)^2 |i^\beta - (R-i)^\beta| \right\} n_i n_{R-i} \\ - A \sum_{i=i_0}^R \alpha_{R+i} \left\{ \left(i^{\frac{1}{3-K_F}} + R^{\frac{1}{3-K_F}} \right)^2 |i^\beta - R^\beta| \right\} n_i n_R, \text{ but } \sum_{i=0}^S \frac{i n_i}{n_0} = 1$$

ここで、 n_R, n_i ; フロック形成開始時のPrimary Particleを R, i を含むフロックの単位体積中の数($1/\text{cm}^3$)
 n_0 ; フロック形成開始時のPrimary Particleの単位体積中の数($1/\text{cm}^3$), S ; 凝集沈降時に存在する最大フロック中のPrimary Particleの数, i_0 ; 凝集沈降開始時に存在する最小フロック内のPrimary Particleの数,
 α_R, α_{R+i} ; $R, (R+i)$ 倍粒子形成の際の衝突効率, α, K_F ; フロック密度関数中の係数と指数(g/cm^3) $\cdot (-)$
 A ; $\frac{\pi}{6} \cdot \frac{3a}{18u} \cdot d_i^{4-K_F}$, β ; $(2-K_F)/(3-K_F)$, d_i ; Primary Particleの直径(cm)

(3)栗谷・楠田氏の論文について 本論文はフロック形成時の攪拌条件がフロックの沈降速度、密度および内部構造に及ぼす影響について論じたものであり、精密な実験から幾つかの興味ある事実が導かれている。楠田氏らは一連の研究において攪拌強度、特に、フロックの受けた最大のG値がフロックの物性に影響すると云った形でフロックの履歴性を提示された。また、その原因として、フロックの履歴性に由来する基本粒子の存在、フロックが乱流中でもまれて形状を変える事等を挙げられている。討議者はALT比と共に攪拌強度比がフロック物性に影響すると云う結論には異論はないが、この現象の解釈について着者らと若干異なる見解を持っているので、以下に列挙しそへに対する御教示をたまわりたい。

(a)攪拌強度比のみがフロック物性に影響し、攪拌強度そのものはほとんど影響しないと結論されているが、果たしてそうであろうか。フロックの履歴性をフロックが受けた最大のG値に求めるとすれば、攪拌強度の異なる図-3, 9, 10においてUとFloc dia.の間の関係には差が生ずるはずである。今回のデータからのみでは着者らの云われる結論を導き出すのは早計に思える。もっとALT比の大きい条件でも実験する必要があると思う。

(b)Coagulation終了時のPrimary particle(カオリンに凝集剤が吸着された粒子)ではなく、新たに基本粒子と云う概念を導入された事は注目すべき事ではあるが、基本粒子の定義が少し不明確ではなからうか。攪拌時間10分で攪拌強度を変化させているが、この基本粒子はG値のみでなくGCT値および付着率にも関係する。Cと葉注率の等しい今回の実験では攪拌時間Tによって基本粒子群の寸法や密度も異なってしまう。

(c)着者らはフロックが乱流下でもまれて構造がcompactになると云われるが、もしそうだとすると攪拌強度比の大きいフロックほど同一寸法のフロックの沈降速度が小さいと云う事実とは矛盾する。これを造水性の導入によって説明する事ができるであろうか。フロックの変形性を導入されるが故に、図-14a左側の「freshな

フロックは乱流下でも小さい団子状になる」と言う表現と図-26左側の「アルミニウムへの付着性のためにフロックが乱流下でも小さいにも形状が余り変化しない」と言う表現とが矛盾してくるのではなからうか。

(d)本研究ではG値に余りにもウェイトが置かれフロック形成を支配するGCT値、特に、Tについての配慮が不足しているように思われる。討議者は攪拌継続時間Tを重視する事によって以下のように本研究で明らかにされた実験的事実を解釈してみた。この解釈について著者らの御意見をたまわれば幸いである。

$G=400, 200, 100$ ($1/sec$) のように攪拌強度が大きい場合には、 $T=10$ 分もあればGCT値はフロック群が成長平衡分布になるに必要な値に近付くと考えられる。フロック形成速度はフロック同志の衝突速度とその際の付着率により決まるが、今回の実験のようにALT比が小さく(言い換えると付着率の小さい)攪拌強度が大きい場合には衝突回数によって付着率の減少を補う事がフロック化の進行には必要である。そのため、攪拌強度の違いがフロック形成速度に及ぼす影響は大きい。しかも、強い攪拌を行なって形成されたフロック群はその分布の中が狭くシャープであり(分布の相似性は保たれるか)、オーダー的にはほぼ等しい方法のフロック同志が衝突合する *Ortho flocculation* が卓越し、構造の粗い基本粒子群が形成される。一方、 $G=50$ のような比較的弱い攪拌強度下でフロック形成を行なうとフロック群の分布の中は広くなり大フロックへ小フロックが吸合される型の *peripheral flocculation* も無視し得なくなり、この効果により密な基本粒子群が形成される。したがって、著者らの云われるフロックの履歴性なる現象を認めるとすれば、それはフロックの受けた最大のG値のみではなくGCT値にも関係すると考えた方が妥当ではなからうか。フロックは *primary particle* の段階で主としてALT比によってその基本物性が決められ、攪拌の仕方(強度と強度比)によるフロック形成過程の違いによって本研究のような現象が現れられるとは考えられないであろうか。

以上、貴重なデータをお借りして討議者の考えを述べさせて頂いた。今後の御発展を期待します。