(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）

東京大学　松尾　友矩
東北大学　大垣眞一郎

I「金属塩および石灰によるリンの凝集沈殿除去」について

1)　本論文のテーマの一つは，「凝集剤の定量添加を行なったときとモル比制御を行なったときとで，いづれの場合が処理場からのリンの流出負荷を小さくしていく上において有効であるのか？」ということにあると考えられる。　とすれば，モル比に対する除去率の関係が（図－4）に示されるような単調増加の傾向が確認されている範囲においては，「年間で最も高い流入リン濃度に対するモル比を設定してやり，それによって決まってくる凝集剤添加量を年間通して定量添加してやること」が，操作の上からは最も簡単でかつリン除去においても最も有効な方法になるであろうことが想像される。　リン除去だけについていえば，けちった定量添加よりはたっぷりしたモル比制御がすぐれるであろうし，たっぷりした定量添加はけちったモル比制御よりはるかにすぐれていることになるであろう。最適薬注量，あるいはモル比に対する除去率の関係に一種の飽和値が存在するかどうかといった点がまず検討されるべきではないだろうか。

2)　夏期には凝集剤としてバンドを使い冬期には塩化第二鉄と異なった凝集剤を使いながら，解析においてはモル比という形で同質のものとして整理してしまっている。　凝集条件としての凝集剤の種類の差は検討しておられるのだろうか。

II「凝集沈降に関する基礎的研究」，「フロックの沈降速度，密度および構造に関する研究」について

この二論文はそれぞれ異なるねらいを持ったものではあるが，討議者の個人的興味を優先させることをお許しいただき，ここでは両論文に関係あるものとして「フロックの密度」についての考え方を整理してみたいと思う。「フロックの密度」の問題は「フロックの問題」の中でもまだ多くが残されている問題だと思えるからである。

1)　フロック密度の算定法について

フロックの粒径を測り，重量を（直接）測定することからフロック密度を直接求めようとする試みは松本等[1]による報告があるが，しかしその測定値のバラツキは大きくまだ実質的な数値を与えるところまではいたっていないようである。

そういう時，通常用いられる方法は，粒径と沈降速度を測定することから間接的に密度を求める方法である。定性的には　$w=\sqrt{\frac{4}{3}\frac{g}{C_D}\frac{\rho_s-\rho}{\rho}\cdot d}$ --------(1)　　で整理される。抵抗係数(C_D)は粒子の形状，Re数($d\cdot w/\nu$)によって変化していくが，形状を仮定し，またあるRe数範囲では一定のRe数の関数として表示されることを仮定することによって，その条件下での粒子の沈降速度(w)と粒径(d)の関係が求められる。

C_DをRe数の指数関数（$C_D=K/Re^n$）と表示するとき，(1)式は(2)式のように変形される。

$w=\left(\frac{4}{3}gK^{-1}\right)^{\frac{1}{2-n}}\cdot\nu^{\frac{n}{2-n}}\left(\frac{\rho_s-\rho}{\rho}\right)^{\frac{1}{2-n}}\cdot d^{\frac{1}{2-n}}$ --------(2)　　K，nはRe数によって変化していくが，その関係を考慮しつつwとdの関係を定性的に示せば（このときは，粒子密度(ρ_s)は一定と考えている）図－1のように示される。一般に粒径が大きくなるにつれて$w\propto d^2$（ストークスの領域であり，$C_D=K/Re$の関係を想定している）から次第にづれて勾配が小さくなる傾向となっていく。

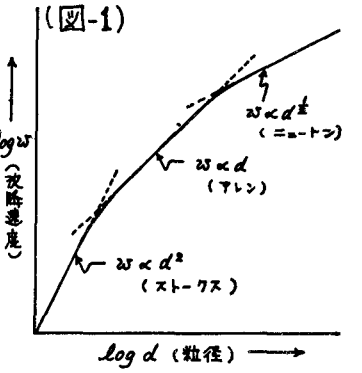
このような関係において，粟谷・堀田論文は抵抗係数に$C_D=K/Re$の形を想定して，実測データーが示す$w\propto d^2$からのずれの原因をρ_sの変化として説明しようとするものになっている。しかし，(2)式における指数nの性質を考えるとき，両対数軸にとった粒径と沈降速度の勾配が2より小さくなっていく原因をρ_sの変化としてではなくて，指数nの変化として

解析することもまた可能であることが想像されよう。

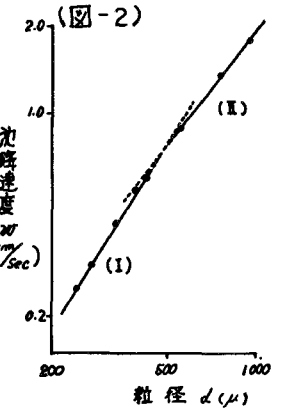
ρ_pが変化すると考えるべきか，指数nが変化していると考えるべきなのかの判定は非常に難かしい問題を含むと思われる。一つの目安は対象としている現象のRe数の範囲，あるいは形状といったものとの相対的な形で議論されていくことになると思われる。

この事情に関して，討議者等が経験している一定密度の球形・スチレン粒子(比重1.07)を使っての沈降実験の結果を参考として示せば(図-2)のようになる。ここに示されるプロットを2つのグループに分け，それぞれのグループ内では$C_D=K/Re^n$の形は変わらないものとして各プロットを直線近似して実測値よりnを求め，Kを(2)式から逆算して求めれば，それぞれのグループに対して(表-1)のように求められる。この表には参考としてRe数の範囲を示してあるが，これらのことより定性的にいってかなり小さいRe数の領域においてさえ，すでにストークス型の関係($w \propto d^2$)からはずれてきていることを検証するものになっている。

(図-1)



(図-2)



このように考えるとき，今回報告されているようなブロックの領域においては，$w \propto d^2$の関係は成立しなくなってきており，指数nが1よりも小さくなっている可能性も大きいといえる。そこで，$w \propto d^2$からのずれをnの変化だけに起因するものと仮定してしまえば，今回報告されている全てのデーターをρ_p一定として計算してしまうことも可能であるといえる。

以上のような観点に立ち栗谷・楠田論文における(図-3,4,5,9,10,11,20,21,22,23)に得られているdとwの関係を示すプロットに代表的(平均的)な直線関係を想定し，(2)式における指数nの値を求め，(表-1)に紹介したnとKの関係からKを内挿法により求め，(2)式に必要な数値(グラフから読み取った)を代入すれば，それぞれのケース(凝集条件)に対応する$\rho_p-\rho$が逆算されて求められることになる。計算上の条件としては，$\nu=\frac{1}{100}$，$\rho=1.0 gr/cm^3$を使用した。試算に用いた点は上述した直線に近いいくつかの点を任意に選んである。結果は(表-2)に整理される。

(表-1)

n	K	Re数の範囲	備考
1.0	24	Re<1	ストークス
0.85	21.7	0.62<Re<2.49	グループI
0.68	15.4	3.79<Re<13.2	グループII
0.5	12.65	1 <Re<1000	アレン

2) 結果の検討

(表-2)にまとめられた結果を検討するとき，フロックの密度について次のような定性的な解析が可能となる。

① (図-20),(図-21),(図-22),(図-3),(図-23)のシリーズで示される傾向よりALT比はフロック密度に非常に大きな影響をもっていること，実際にはALT比が大きくなるとρ_pは小さくなっていく傾向が確認される。

(表-2)

図	n	K	w (cm/s)	d (cm)	$\rho_p-\rho$ (gr/cm³)	Re数
3	0.75	17.7	0.700	0.112	0.013	7.84
			0.340	0.074	0.011	∫
			0.240	0.058	0.011	
			0.205	0.051	0.011	
			0.125	0.035	0.011	0.44
4	0.66	15.0	0.255	0.082	0.006	2.09
			0.220	0.067	0.006	∫
			0.155	0.052	0.006	
			0.120	0.042	0.006	
			0.105	0.036	0.007	0.38
5	0.55	13.5	0.240	0.076	0.006	1.82
			0.192	0.064	0.005	∫
			0.170	0.057	0.005	
			0.126	0.042	0.006	
			0.067	0.029	0.004	0.19
9	0.76	18.3	0.170	0.051	0.009	0.87
			0.150	0.042	0.011	∫
			0.139	0.040	0.011	
			0.117	0.035	0.011	
			0.062	0.026	0.008	0.16
10	0.75	17.9	0.100	0.027	0.014	0.27
			0.083	0.025	0.013	∫
			0.066	0.021	0.013	0.14
11	0.49	12.4	0.193	0.083	0.003	1.60
			0.125	0.053	0.003	∫
			0.082	0.034	0.003	0.28
20	0.57	13.7	0.132	0.057	0.004	0.75
			0.108	0.052	0.003	
			0.092	0.044	0.003	∫
			0.083	0.039	0.004	
			0.066	0.036	0.003	0.24
21	0.68	15.4	0.157	0.072	0.004	1.13
			0.110	0.057	0.003	
			0.088	0.048	0.003	∫
			0.077	0.044	0.003	
			0.066	0.038	0.004	0.25
22	0.62	14.5	0.250	0.088	0.005	2.20
			0.220	0.073	0.005	
			0.170	0.061	0.005	∫
			0.122	0.048	0.005	
			0.110	0.040	0.006	0.44
23	0.79	19.4	0.450	0.083	0.013	3.74
			0.280	0.059	0.013	
			0.230	0.053	0.013	∫
			0.174	0.045	0.012	
			0.118	0.034	0.013	0.40

② (図-3),(図-9),(図-10),を比較することにより，ALT比が一定だと，初期に形成される基本粒子の密度は，撹拌強度に影響されないことあるいはむしろ，強度が大きくなる方がフロックがコンパクトにされなっていくことがわかる。

③ しかし，一度強い撹拌を受けた基本粒子同士が再結合して形成されるフロックは，基本粒子が過去に受けた撹拌強度が大きいほど（それはフロックを構成する基本粒子の大きさが小さくなっていることに対応しているが）軽いフロックになっている。実験条件としては，G200→G200，G200→G100，G200→G50 といったように過去における最大の撹拌強度をそろえるといった配慮も必要なのではないだろうか。

④ 結局，フロック密度は，ALT比，撹拌強度，撹拌強度の変化といった凝集条件によって大きく影響されるが，「一定の凝集条件下においては，フロック密度は粒径によらない」といった栗谷・楠田論文とは全く異なった結論にも達し得ることになる。

⑤ 沈降速度式として結果的にせよ $w \propto d^2$ を仮定するストークス型を考えていく限り，井伊，渡辺等が先に求めた「密度函数」を越えていくことは難かしいように思えるが，どのようなものであろうか。

3) 問題点について

フロック密度にかかわる問題点は次のような点にあると思われる。

① 粒径と沈降速度の関係をめぐって，K，nを固定して考えるのか，ρ_pを固定して考えるのかによって，全く逆の結果が求められることになる。しかし，実際にはフロックの持つ透水性や形状特性などの要因が複雑に作用しあっているものと想像され，それらの関係を含めて定量化していかないと「フロックの密度」はなかなか決めにくいと思われる。

② 粒径の大きさ一つとってみても，写真などから測定される粒径と実際に沈降速度に影響を与える有効な粒径とは必ずしも一致しないであろうことが予想される。

③ フロック密度が，粒径が大きくなるにつれて小さくなっていくとすれば，それに対するフロック構造としては，外に向かって粗になるか，内に向かって粗になるかのいずれかを仮定しなければならないが，大きなフロックを構成する基本粒子一つ一つには，上述のような構造が考えられるとしてもそういった基本粒子同士が順次結合して大きなフロックが形成されていくとすれば，その大型の粒子に対しても内にいくほど粗になる，といった構造は考えにくいように思われる。フロックの構造としては，平均的にいって均質なものと考える方が自然のようにも思える。この点についても今後の検討が必要とされよう。

4) おわりに

フロックの密度，粒径，沈降速度の関係については，一度整理してみたいと思っていたところ，今回，大大グループの大労作である実験報告をみせていただくことになり，最近考えていたいくつかの点を検討させていただけたことはひじょうに幸せであったと思っています。私たちの考え方も一つの試論であり諸賢のご検討をお願いできればこれにすぐるものはありません。

5) 参考文献

1) 松本幹治・森芳郎，フロックの沈降速度式 ―フロック密度の測定法― 「化学工学」第11回秋合シンポジューム，1973

6) 追補

栗谷・楠田・古賀論文における(図-4),(図-5),(図-6),(図-7)についても同様な検討を加えた結果を(表-3)に示す。(表-2)の結果と比較して密度がひじょうに小さいことが注目される実験条件などから何かコメントは？

(表－3)

図	n	K	w (cm/s)	d (cm)	$\rho_p-\rho$ (gf/cm³)	Re数	図	n	K	w (cm/s)	d (cm)	$\rho_p-\rho$ (gf/cm³)	Re数
4	0.57	13.7	0.140	0.154	0.0009	2.16	6	0.59	14.0	0.105	0.120	0.0008	1.26
			0.092	0.107	0.0009					0.056	0.090	0.0005	
			0.044	0.058	0.0007	∫				0.033	0.056	0.0006	∫
			0.034	0.044	0.0008					0.020	0.032	0.0006	
			0.026	0.035	0.0008	0.09				0.009	0.021	0.0004	0.02
5	0.76	18.4	0.170	0.112	0.0023	1.90	7	0.69	15.6	0.119	0.145	0.0005	1.73
			0.103	0.087	0.0019					0.075	0.104	0.0004	
			0.058	0.062	0.0017	∫				0.047	0.068	0.0005	∫
			0.038	0.043	0.0019					0.019	0.037	0.0004	
			0.022	0.029	0.0019	0.06				0.011	0.025	0.0004	0.03