

II-179 モデルフロックによるフロック構造の検討

北海道大学工学部衛生工学科 正 員 工博 丹 保 憲 仁
同 学生員 ○ 渡 辺 義 公

1. はじめに

急速ろ過システムにおいて前処理としての凝集-フロック形成操作が処理効率に大きく影響を与える。良好な凝集-フロック形成を行ない、後続の泥でんろ過によって効率良く固液分離を行なうためには、良好なるフロックを形成させることが必要である。しからば良好なるフロックとはどのような性質を持つものであるだろうか。それは少なくとも次の三つの条件を満たすものであるべきである。

(1) 泥でん池で容易に泥でん除去し得る大きな沈降速度を有すること。(2) ろ過池の機能を十分に発揮させ得る性質を有すること。(3) 泥でん池やろ過池で発生する汚泥の処理・処分が容易であること。

(1)の条件を満たすためにはフロックの密度 ρ とその粒径 d を大きくすることが必要である(式-1の如く d の増加は ρ の減少を伴う)。密度の大きなフロックが砂層内に抑留されれば、同一の除去重量に対する砂層内蓄積体積が減少し、その結果、損失水頭の伸びも小さくなりろ過経続時間を長くすることができ(2)の条件も満たし得ることとなる。密度が大きければ当然フロックの含水率は下がり(3)の条件をも満足する。従って、急速ろ過システムの処理効率に及ぼすフロック密度の影響は非常に大なるものとなるであろう。

筆者等は以上の点に着目して、フロック密度についての研究を行ない式-1に示すようなフロック密度関数を実験式として提示した。(水道協会雑誌 397号, 昭42.10 および410号, 昭43.11)

$$\rho_e = \alpha / (ds/4)^{K_p} \quad (1)$$

ここで、 ρ_e : フロックの有効密度=フロックの実密度-水の密度 [g/cm^3], ds : フロックと等体積の球の直径、実用上はフロックの実測径としても大差はない [cm], $\alpha \cdot K_p$: 凝集条件によって決まる定数。図-1に示される如くアルミニウム注入率に対する懸濁質濃度の比(ALT比)によっても、一般的に決まり、通常のフロック形成操作では、 $K_p=1.0 \sim 1.4$ 程度である。

多くの実験データから式-1の妥当性については疑問の余地はないが、その論理的説明は未だなし得なかった。そこで、本論においては電子計算機を用いるシミュレーションによって、モデル的にフロックを形成させフロック構造を明らかにし、式-1の論理的裏付けを行なうことを試みることにする。

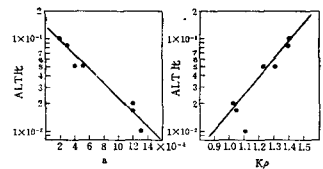


図-1 ALT比と密度関数の定数 $\alpha \cdot K_p$

2. 基礎となる式

フロック構造体を固形物で形成されてゐる実質部分と、水のみが存在してゐる空隙部分に大別して考えることにする。フロックの全体積を $V_f [cm^3]$, 実質部分の体積を $V_s [cm^3]$, 空隙部分の体積を $V_w [cm^3]$ とすると、体積平衡条件より、

$$V_f = V_s + V_w \quad (2)$$

フロックの密度を $\rho_f [g/cm^3]$, 水の密度を $\rho_w [g/cm^3]$, 実質部分を形成してゐる固形物(粘土粒子等)の密度を $\rho_s [g/cm^3]$ とすると、フロック全体と実質部分および空隙部分の質量平衡条件より、

$$\rho_f V_f = \rho_s V_s + \rho_w V_w \text{-----}(3) \quad \text{また式-4のよう関係が成立する。}$$

$V_w = V_f - V_s = \rho_1 d_i^3 - i \rho_2 d_i^3 \text{-----}(4)$ ここで、 d_i :初期粒子を*i*個取り込んだフロックの直径(cm), d_i , i :実質部分を形成している初期粒子の直径(cm)と数(無次元), ρ_1 , ρ_2 :フロックと初期粒子の形状によって決まる係数(本論では $\rho_1 = \rho_2$ である)。

更に、 $\rho_e = \rho_f - \rho_w$ として定義してあるから式-3, 4から、初期粒子を*i*個取込んだフロックでは

$$\rho_e = i(\rho_s - \rho_w) / (d_i/d_1)^3 \text{-----}(5)$$

もし、 i と (d_i/d_1) を式-6のように関係づけることができるならば、式-5は式-7となって式-1で示したフロック密度関数に帰一することができる。

$$i = \alpha (d_i/d_1)^\beta \text{-----}(6)$$

$$\rho_e = \alpha (\rho_s - \rho_w) d_1^{3-\beta} d_i^{\beta-3} = K d_i^{\beta-3} \text{-----}(7)$$

そこで本論ではフロックの衝突合への過程が一種のランダムな現象である点に着目して、乱数を用いたシミュレーションによってモデル的にフロックを形成させてフロックの構造を明らかにし、式-6の関係が成立するか否かも検討することとした。着目している現象がランダムであって方向性を持たないため、三次元での現象を二次元での現象に置き換えてモデル化した。モデルの詳細については別報にゆずる。

3 結果と考察

種々の乱数の組合わせによる計算結果を総括して、フロック相対径 (d_i/d_1) とそこに含まれる初期粒子数(*i*)との関係を示すと図-2となる。図-2から式-6の仮定が成立することが示され、その指数 β と係数 α は回帰直線の勾配と切片を求め、二次元モデルを三次元モデルに変換すると、 $\beta \div 2.1$, $\alpha \div 1.0$ となり、式-7は

$$\rho_e = (\rho_s - \rho_w) d_1^{0.9} d_i^{-0.9} \text{-----}(8)$$

粘土粒子が濁質成分となっている場合には、 $\rho_s \div 2.65 \text{ g/cm}^3$, $\rho_w \div 1.00 \text{ g/cm}^3$, $d_1 \div 3 \sim 4 \mu$ であるから式-8より定数 αK_β の値はそれぞれ、 $\alpha \div (1.1 \sim 1.5) \times 10^{-3}$, $K_\beta \div 0.9$ となる。

尚、実際に形成されるフロックは濁質粒子の表面に加水分解した重合アルミニウム、または高分子凝集剤を吸着した粒子が初期粒子となるので、合してある粒子間の距離が本論のモデルフロックよりも大きく、より膨潤なものととなり K_β の値は粒子間の距離により決まる。本論でのモデルフロックは上述の如く、ALT比=0の場合に相当し、図-1を参照すれば実験とシミュレーションによって求めた α , K_β の値が驚くべき一致を示しており実験値の信頼性の高さが確認された。

本論において示された結果から、今迄は実験によってのみ論じられてきたフロックの密度についてフロック自体の内部構造までも考慮した議論が可能となり、筆者等のフロック形成理論において重要な役割を演じているフロック密度関数も、より厳密かつ定量的に確定することができた。モデルフロックの形状等については発表の際にスライドでお見せしたい。

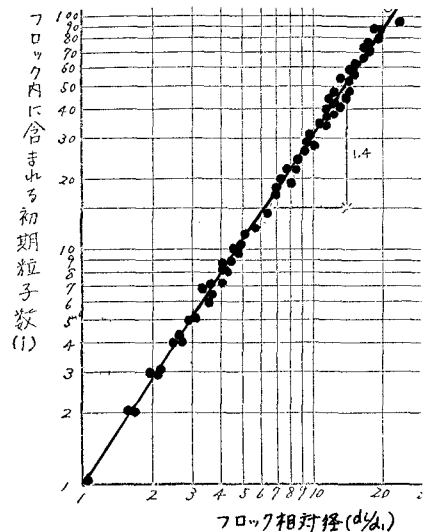


図-2 モデルフロックの特性