

# V-32 フロッキュレーターの運転と凝集粒子の成長について

北海道大学工学部

正員

たん ぼ のりひと  
丹 保 憲 仁

急速混和の操作を経てフロック形成池に流入して来た micro flocs はゆるい攪拌による流体的な力によって強制的に変動させられ衝突し、合一して沈降性の良好な大塊となって行く。これらフロックに相互衝突の機会を与える水流状態及び水流状態を与える外力とフロックの形成の関係を論ずるものとして、Camp の G 値、G-T 値説<sup>1)</sup>、Beans の Displacement Velocity 説<sup>2)</sup>、合田の拡散量に基づく説等種々述べられて来ているが、未だ正鵠をいっていない。そこで筆者は一般水理量との関係でこれらの機構を明きらかにする目的で研究を行いつつあり二三の知見をえたのでここに報告する。

**基本的理論** 粒子群は流体中に一様に分布して居り、流体の乱流変動等によって振動させられ衝突合一して行く。フロック形成池の起点断面において、 $x$ (流下方向)、 $y$ (幅方向)、 $z$ (鉛直上向き)の直交 3 軸をとり各軸に直交する平面で囲まれた微小体積要素  $dV=dx \cdot dy \cdot dz$  について出入する粒子の個数  $n$  の増減を示す基本式は次の様である。

$$\frac{\partial n}{\partial t} = - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial n}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial n}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_z \frac{\partial n}{\partial z}) \right\} + \frac{\partial}{\partial x} (un) - F(n) \quad \text{----- (1)}$$

ここで  $n$ ; 単位体積中の粒子数,  $D_x, D_y, D_z$ ;  $x, y, z$  方向の拡散係数,  $u$ ;  $x$  方向への流速,  $F(n)$ ; 衝突減少を与える関数。

合田<sup>3)</sup>は粒子の衝突減少率を示す関数として拡散量に着目して次式を与えた。

$$F(n) = -k \left\{ D_x \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 n}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} \right\} \quad \text{----- (2)} \quad \text{この式によると濃度勾配は衝突を生ずる原動力となっているが、池内の濃度が一定で拡散の考えられない場合} \left( \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 n}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} = 0 \right)$$

においても水流に微小変動を生ずるような攪拌、振動を加えることによって衝突合一は進む事からこの仮説は受け入れ難い。

衝突を生ぜしめる主要因は浮遊している粒子を動かす微小水塊の乱流変動と考えるのが至当であり、微小水塊の random な変動さえあれば、これに随伴した粒子も random な運動を起し、相互会合の機会をうるものと考えられる。

$$\text{今単位体積中の粒子の個数を } n \text{ とすると粒子間の平均の距離は } l = \frac{1}{\sqrt[3]{n}} \quad \text{(3)}$$

$$\text{この距離を粒子が走って隣りの粒子と会うに必要な時間は } t = k' (l/v_*) (1/p) \quad \text{(4)}$$

ここで  $v_*$ ; 微小水塊の変動速度,  $p$ ; 隣りあった粒子と会う確率,  $k'$ ; 微小水塊に対する粒子の随伴性を表わす係数 [無次元]

$p$  を求める際簡単の為に両粒子が一定の半径内に近づいた時に合一するものとする  
 $p = k'' (1/l^2) \quad \text{(5)} \quad \text{ここで } k''; \text{合一半径によって変る係数 [次元は } L^2]$

$$\therefore t = \frac{k'}{k''} \frac{l^3}{v_*} = k \frac{l^3}{v_*} \quad \text{----- (6)}$$

ここで  $k = k'/k''$  次元は  $L^2$ ,  $v_*$ ; 微小水塊の変動速度

そこで単位時間内に単位体積中で生ずる粒子衝突減少を与える関数は

$$F(n) = \text{const} \times \frac{n}{\rho^3} (u' + v' + w') = K n^2 (u' + v' + w') \text{----- (7)}$$

ここで  $u', v', w'$ ; それぞれ  $x, y, z$  方向への微小水塊の変動速度,  $K$ ; 合一半径と水分子とフロックの随伴性等に因係して来る綜合的係数で次元は  $[L^2]$

機械攪拌型フロッキュレーター内でのフロックの衝突 粒子群は攪拌機による強制攪拌によって  $xy$  平面に一様に分布しており  $x$  方向への拡散分をも無視し、等方性乱流を仮定して、連続流下によって生ずる定常現象をバッチ式の不定常問題に考えると、次の式をうる。

$$dn/dt = -K v' n^2 \text{----- (8)}$$

急速混和直後の micro flocs の大きさは一様と考えられる (この粒子を原粒子と稱する)。衝突合一次進むにつれて原粒子の 2 倍大, 3 倍大の粒子が生じて来、小さいものは減じ、大きなものの数々除々に増して来る。

$i$  倍粒子と  $j$  倍粒子の衝突によって生ずる  $R$  倍粒子 ( $R=i+j$ ) の増加と他の粒子との衝突で減少して行く  $R$  倍粒子の数  $n_R$  は次式で表わされる。

$$\frac{dn_R}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{\substack{i=R-1 \\ j=1}}^{i=R-1} v' K_{ij} n_i n_j - \sum_{i=1}^{\infty} K_{iR} v' n_i n_R \text{--- (9)} \quad \text{ここで } n_i, n_j, n_R \text{ は } i, j, R \text{ 倍粒子の数}$$

衝突半径  $r$  は粒子の大きなほど大であるが水流に対する随伴性は粒子の大きなほど小さいと言った定性的性質に着目して簡単の為に、考える範囲内で  $K_{ij} = K = \text{Const.}$  とする。

全粒子数の増減は

$$\frac{d \sum_{R=1}^{\infty} n_R}{dt} = \frac{1}{2} K v' \left\{ \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} n_i n_j - 2 \sum_{R=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} n_R n_i \right\} = -\frac{1}{2} K v' \left( \sum_{R=1}^{\infty} n_R \right)^2 \text{--- (10)}$$

$$\sum_{R=1}^{\infty} n_R = \frac{n_0}{1 + \frac{1}{2} K v' n_0 t} \text{--- (11)} \quad \text{ここで } n_0 \text{ は初期の原粒子の全数}$$

$$R \text{ 倍粒子の消長については } n_R = \frac{n_0 \left( \frac{1}{2} K v' n_0 t \right)^{R-1}}{\left( 1 + \frac{1}{2} K v' n_0 t \right)^{R+1}} \text{--- (12)}$$

各数値の実験による決定 この式を用いて実際の減少率を推定する場合、初期の粒子数  $n_0$ , 減少係数  $K$ , 変動速度  $v'$  等についての数値を知らねばならない。これらの数値を筆者が先に報告した時間-沈降累積量曲線を用いて推定する方法について、講演の際に資料を用いて詳述する。以下略。

## 参考文献

- 1) T.R.Camp, Flocculation and Flocculation Basins, Proc.A.S.C.E. vol.79, Sep.No.283, Sept.1953
- 2) E.L.Bean, Study of Physical Factors Affecting Flocculation,
- 3) 合田健・植松邦彦, 薬品混和の水理学的研究, 土木学会誌 41巻3号
- 4) 丹保憲仁, 凝集操作における攪拌の研究, 水道協会雑誌 301号
- 5) 丹保憲仁・森貞雄, 沈澱処理における粒子の沈降性に関する研究(1), 水道協会雑誌 313号
- 6) 丹保憲仁・森貞雄, 沈澱処理における粒子の沈降性に関する研究(2), 水道協会雑誌 314号