III — 4　　　　フロック形成の数値解析について

九州大学工学部　正　員　粟谷陽一
〃　　　　〃　　楠田哲也
〃　　　　学生員○江副章之介

1、まえがき

乱流中のフロック粒子は、あらゆるフロック粒径において、成長及び破壊を生じており、ある時間経過後、定常状態となり、ほぼ一定の粒度分布を示す。この定常状態におけるフロックの形成と破壊を表わす反応式は、スモルコフスキー、カンプ、丹保等が提唱しているが、破壊を考慮に入れた反応式は、現在ほとんど見られない。筆者等は、フロック粒子の破壊が、乱流中の剪断力に大きく起因しているという考えのもとに、時間変化のある一様剪断流場において、フロックの形成と破壊の近似式を求めた。

2、フロックの形成と破壊の近似式

フロックの剪断強度は、フロック形成層の設計や沪過について考える際に重要な因子となる。しかしこれを直接求めることはかなり困難であり、現在のところまったく行なわれていない。そこで、フロック形成を示す式として、C·G·T を求めるときと同じ考え方で、フロックの破壊を示す式をもとめる。

フロック直径は通常攪拌槽内の乱れのミクロスケールの数分の一なのでフロックは粘性力で破壊されることになる。したがって、C·G·T の考え方に対応する破壊の式は、

$$(\mu G-\tau_0)\cdot T \qquad (1)$$

となり、τ_0は、フロックに緩和時間以上作用しうる剪断応力の最大値に近いと考えられる。この式はフロックがビンガム体であることを示している。

フロックの形成と破壊を厳密に表現しようとすると、フロック粒子各々の履歴に着目しなければならず、現在のところこれは不可能に近い。そこで、近似的に同じ体積をもつフロックの履歴を平均化して考えるとすれば、次式の様になる。

$$\begin{aligned}\frac{\partial n(v)}{\partial t}=&\int_0^{v}\alpha_s\cdot\alpha_c\cdot G\cdot n(\hat{v})\cdot n(v-\hat{v})\left[\hat{v}^{1/3}+(v-\hat{v})^{1/3}\right]^3 d\hat{v}\\&-n(v)\int_0^{\infty}\alpha_s\cdot\alpha_c\cdot n(\hat{v})\cdot\left[\hat{v}^{1/3}+v^{1/3}\right]^3 d\hat{v}\\&-f(\mu G-\tau_0)\cdot n(v)\\&+\int_v^{\infty}f(\mu G-\tau_0)\cdot g(v,\hat{v})\cdot n(\hat{v})\,d\hat{v}\end{aligned} \qquad (2)$$

ここで、$n(v), n(\hat{v})$：$v, \hat{v}$なる体積をもつフロックの単位体積当りの個数。　$v, \hat{v}$：フロック体積。　α_s：sticking ratio で、v，G値，フロックの履歴，薬品の注入量，粘土の種類等の関

数。 α_c：衝突確率関数で、v と v' の関数。 τ_0：フロックの剪断強度。 μ：流体の粘性係数。 $f(\mu G-\tau_0)$：破壊を表わす関数で、$\mu G \leqq \tau_0$ のときは0で、その他の場合は正の値をもつ。$g(v, v')$：$v'(>v)$ なる体積をもつフロックが破壊して，v なる体積をもつフロックが生じる確率である。

今、式（2）を変形する。

$$\frac{\partial n(v)}{\partial t} = \alpha_s \cdot \alpha_c \cdot G \sum_{j=1}^{i} n_j \cdot n_{(i-j)} \left[\left(\tfrac{4}{3}\pi a^3 j\right)^{1/3} + \left(\tfrac{4}{3}\pi a^3 (i-j)\right)^{1/3} \right]^3$$

$$- \alpha_s \cdot \alpha_c \cdot G \cdot n_i \sum_{j=1}^{\infty} n_j \left[\left(\tfrac{4}{3}\pi a^3 j\right)^{1/3} + \left(\tfrac{4}{3}\pi a^3 i\right)^{1/3} \right]^3$$

$$- f(\mu G-\tau_0) \cdot n_i + f(\mu G - \tau_0) \cdot g(n_i, n_j) \sum_{j=i+1}^{\infty} n_j \quad \text{——(3)}$$

$$t=0 \text{ で} \quad \sum_{i=1}^{\infty} i \times n_i = 1 \times n_0 \quad \text{———(4)}$$

こゝで、$n_i, n_j, n_{(i-j)}$：各々 i，j，$(i-j)$ 倍粒子の単位体積中の個数。 a：初期粒子の直径。 $i, j, (i-j)$：i，j，$(i-j)$ 倍粒子中の初期粒子の個数。 n_0：$t=0$ における初期粒子の単位体積中の個数。

更に、フロックの組成を比率で示し、フロック全量を1とし、変数変換を行ない、式（3）を変形する。

$$N_i = \frac{n_i}{n_0}, \quad \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot N_i = 1 \quad (5)$$

$$T = n_0 \cdot V_0 \cdot G \cdot t \qquad \text{ただし} \quad V_0 = \tfrac{4}{3}\pi a^3 \quad (6)$$

$$\frac{\partial N_i}{\partial T} = \alpha_s \cdot \alpha_c \cdot \sum_{j=1}^{i} N_j \cdot N_{(i-j)} \left[j^{1/3} + (i-j)^{1/3} \right]^3$$

$$- \alpha_s \cdot \alpha_c \cdot N_i \sum_{j=1}^{\infty} N_j \left[j^{1/3} + i^{1/3} \right]^3$$

$$- P \cdot N_i + P \cdot g \cdot \sum_{j=i+1}^{\infty} N_j \quad (7)$$

$$\text{ただし} \quad P = \frac{f(\mu G - \tau_0)}{n_0 \cdot V_0 \cdot G}$$

3、むすび

乱流中のフロック粒子が，あらゆる粒径において、形成と破壊を生じており、ある時間経過後定常状態となり、ほぼ一定の粒度分布を示すことを、式（7）を用いてsimulationを行なうことによって知り、更に攪拌槽内でのG値の分布が空間に一様でないため、空間的分布の影響をも考慮に入れてsimulationを行なう予定である。

参考文献：
粟谷陽一，楠田哲也，江副章之介 "平衡状態におけるフロックの粒度分布について" 第24回土木学会年次学術講演概要集 (S.44)
楠田哲也 "高分子凝集補助剤を用いたフロッキュレーションに関する基礎的研究" 第9回衛生工学研究討論会講演論文集 (S.48)
丹保憲仁 "フロック形成過程の基礎的研究(I),(II),(III)" 水道協会雑誌 372号，381号，382号
丹保憲仁，穂積準，渡辺義公 "フロッキュレーターの合理的設計(I)" 水道協会雑誌 431号