

九州大学 工学部 学生員 ○ 萬 久光
 正 員 栗谷 陽一
 正 員 楠田 哲也
 正 員 古賀 恵一

1. はじめに フロックの形成過程に関して数値計算を行った例は数多くある。しかしながら、フロックの形成過程における成長現象を論じる時に重要なパラメーターとなるフロックの物性をも考慮し、詳細に数値計算を行った例は少なく、未だ検討の余地が残されている。本研究では、まずモンテカルロ法によって数値計算を行い、実験との対応を行うことによって、フロックの成長現象を左右する衝突付着総合効率について検討を加えた。

2. 計算方法 容積 V_0 の中に N 個の粒子があるものとする。それらの中から特定の2個に注目し、これらが Δt 時間内に衝突合する確率を、

$$P = \alpha \cdot \frac{N(N-1)}{2} \cdot \frac{R_{ij}}{V_0} \cdot G \cdot \Delta t$$

α : 衝突付着総合効率

$R_{ij} = (d_i + d_j)^3 / 6$ G : 攪拌強度

で与えた。これと一様乱数との比較によって、衝突合するか否かの判定を行う。ここで、上式における $N(N-1)/2$ は、特定の2個に着目することによって生じる補正係数であり、確率論的に導びかれる係数である。以後、この操作を繰り返し行う。衝突合した後の新しい粒子の粒径は、成長に伴う密度変化を考慮し、質量保存を満足するように求めた。なお、計算を行う際に必要な初期条件としての粒径は、実験との対応を取る必要上、後述のように、実験によって得られた個数濃度分布に基いて決定し、基本粒子の整数倍とはせず、それぞれ異ったものを与え、計算機には個々の粒径を直接記憶させている。

3. 実験方法 フロックを形成するための薬注条件は、濁質(筑豊カオリン)=50ppm, pH調整のための NaHCO_3 , アルギン酸ソーダ(S.A.)=3ppm, 硫酸バンド=10ppmである。まず、急速攪拌を行いつつ上述の薬品を順次投入する。急速攪拌で所定時間攪拌した後、緩速攪拌(今回は $G_0=60\text{sec}^{-1}$ とした)でフロック形成を行った。緩速攪拌に移る直前の個数濃度分布を初期条件として、緩速攪拌下での成長について実験値と計算値との比較を行った。同様の実験を急速攪拌強度(以下 G_0 と称する)及びその攪拌時間(以下 t_0 と称する)を変えて行った。

4. 結果及び考察 フロックの衝突合に関する基礎式を数値計算する場合、差分法を用いると時間及び粒径の量子化を行う必要が生じ、この量子化による誤差の影響を無視できなくなり、実験との対応を行うことが困難となる。一方、モンテカルロ法ではある程度のばらつきは生じるが、差分法で生じるような量子化による誤差は避けることができ、実験との対応を容易に行えるなどの利点がある。

図-1に差分法及びモンテカルロ法での計算結果を示す。初期分布は一倍粒子のみとし、成長は50倍粒子までとし、成長に伴う密度変化は考慮していない。この図から、双方の計算結果にはほとんど差は認められず、モンテカルロ法によるモデルの妥当性が示される。なお、最大成長粒子が50倍粒子というのは、実際の現象からすると小さい値である。最大成長粒子を大きくすると、差分法では、電算の記憶容量の制限上粒径の量子化をかなり粗く行なわねばならず、成長に伴う粒子径の「ふり分け」操作が必要となり、実験との対応ができなくなる。以上の様な理由により、計算手法としてはモンテカルロ法の方が有効なものと考えられる。以下の結果はモンテカルロ法によるものである。

図-2に、実験における平均径の時間変化の一例を示す。この図において、今回行

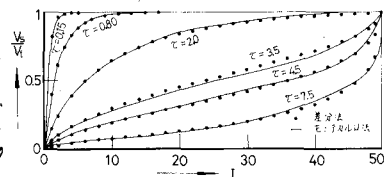


図-1

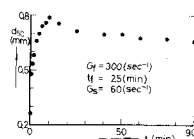


図-2

った実験についても、フロックは成長段階から、破壊及び「もまれ」の段階へと変化しているようである。今回の計算は、前述の成長段階に注目して行ったものである。図-3に、実験及び計算で得られた平均径の時間変化の一例を示す。この図における計算結果は、 α = 一定として行ったものであり、実線が計算値で黒丸が実験値である。 α の値を変えて計算した場合に、成長の極初期で双方の成長速度が一致するような α を求めると、この例では、 $\alpha = 0.065$ 程度の値となる。急攪の条件が異なるものについても数値計算を行い、 α の結果を図-4に示す。横軸は、急速攪拌時間をその強度で無次元化したものである。この図から、 $G_T = 300 \text{ sec}^{-1}$, 140 sec^{-1} 共に、攪拌時間を増せば α は低下することが解る。また、同一 G_T ・ t_f 値で比較すると、 $G_T = 300 \text{ sec}^{-1}$ とした方が、 $G_T = 140 \text{ sec}^{-1}$ としたものより α は若干大きくなっている。これらのことは、著者らがさきに行った濁質除去法による実験結果と同様の傾向を示している。

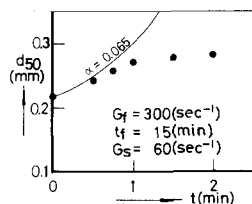


図-3

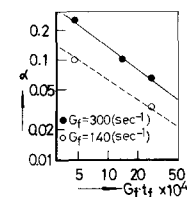


図-4

図-5及び6に粒径分布の時間変化を示す。図-5が実験値で図-6が計算値である。これらの図から、計算値の方が実験値よりも粒径の大きい方へ分布型が広がっている。さらに、平均径の時間変化に関しても、ある時間(この例では30秒付近)から、計算での成長が速くなっている。このように、計算での成長が速くなる現象、特に大きな粒子の成長が実験に比べ速くなることは、他の条件のものにも認められるものである。このことは、仮に計算での成長を実験のものに近づけようとすると、計算での大きい粒子の成長を押さえる必要が生じる。それで、 α を、 $\alpha = \alpha_0 \cdot \alpha(d_i) \cdot \alpha(d_j)$ と仮定し、 $\alpha(d)$ として、粒径が大きくなる程 α が小さくなるような関数型、即ち図-7に示す関数型を考えた。その結果を図-8~10に示す。図-8には平均径

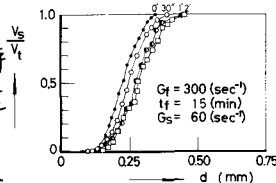


図-5

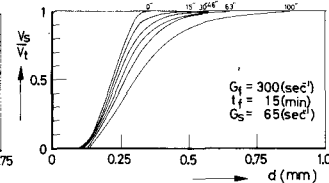


図-6

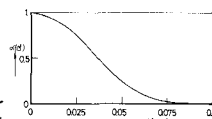


図-7

の時間変化、図-9, 10に粒径分布の時間変化を示す。図-9は実験値で図-10は計算値である。図-8に示す平均径の時間変化に関しては、計算値と実験値とがかなり一致している。一方、粒径分布に関しては、成長の初期で、双方にはほとんど差は認められないが、時間がたつにつれて、特に平均径が最大成長に達する付近では、大きい粒子の成長が抑制され、分布型が若干立ち上りの傾向を示す。このことは、大きい粒子の成長を抑制しすぎたために生じたものと考えられる。以上の如く、 α を粒径の関数としただけでも、かなりの一致が認められ、 α は粒径に対して大きく変わっているものと考えられる。この原因としては、成長に伴うフロックの付着能力の低下が考えられよう。さらに、フロック形成における実際の現象においては、「もまれ」などにより攪拌時間が増す程 α は低下すること、あるいは、前述したように破壊も存在することが解っている^{1), 2)}。したがって、これらのことを考慮した数値モデルによる解析が今後必要であると思われる。

＜参考文献＞

- 1) 栗谷, 棚田, 古賀, 田中: フロックの付着強度に関する研究, S51年度西部支部 245~266
- 2) 栗谷, 棚田, 古賀: 攪拌時間及びフロック濃度がフロックの性質に及ぼす影響, 第12回 衛生工学討論会 1976年1月

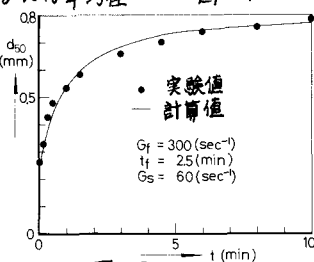


図-8

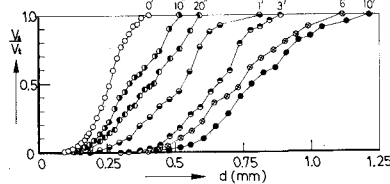


図-9

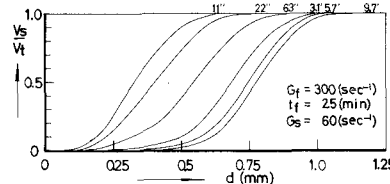


図-10