

九州大学 工学部 学生員。 葛 久光
 “ “ “ “ 正 員 古賀 憲一
 “ “ “ “ “ 栗谷 陽一
 “ “ “ “ “ 榎田 哲也

I. まえがき フロックの形成過程に関する数値計算を行った例は数多くあり、例えば、成長過程に注目して行ったもの、破壊を考慮して、微小粒子（初期粒子）の挙動に注目したもの等がある。しかし、フロック形成過程における、フロックの成長現象は、フロックの物性に大きく支配されることは周知にもかかわらず、フロック形成過程とそれらの物性とを関連づけて詳細に数値計算を行った例は、著者らの知る限りにおいては、見受けられない。本報告では、フロック形成の現象解明を終極の目的とし、まずフロック形成に関する数値計算をモンテカルロ法によって行い、モデルの妥当性を検証した。そして、極めて初期におけるフロックの成長を実験と計算とで比較し、フロックの成長現象を大きく左右する衝突・付着総合効率についても検討を加えた。

II. 計算方法 以下に、フロックの成長の数値計算をモンテカルロ法で行う場合の計算方法を示す。容積 V_0 の中に N 個の粒子があるものとする。特定の2個の粒子に着目して、衝突合体する衝突確率を、

$$P = \frac{N(N-1)}{2} \cdot \frac{R_{ij}}{V_0} \cdot G \cdot \Delta t \quad \text{ただし } G: \text{攪拌強度} \quad R_{ij} = (d_i + d_j)^3 / 6$$

で与えた。これと一様乱数との比較によって、衝突合体するかの判定を行う。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、この操作を繰り返す。衝突合体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、計算を行う際の初期の粒径は、実験との対応を取る必要上、実験によって得られた個数濃度分布に基づいて決定した。今回の計算は、衝突・付着総合効率 α は一定とみなし、計算上では、 $\alpha = 1.0$ として行った。実験との対比をとることにより、 α の値は求のられる。

III. 実験方法 フロックを形成するための薬注条件は、濁質 = 50ppm、pH調整のための NaHCO_3 、プルギン酸ソーダ (S.A.) = 3ppm、硫酸バンド = 10ppm とした。フロックの形成条件は、急速攪拌を経た後、緩速攪拌によりフロック形成を行ない、緩速攪拌に移る直前の個数濃度分布を初期条件とし、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、急速攪拌強度及び急速攪拌継続時間を変えて行った。

IV. 結果及び考察 破壊を考慮しない場合の、フロック形成式は、次の如く表わされる。

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{i-1} \alpha G n_j n_{i-j} \left[\left(\frac{4}{3} \pi a_j^3 \right)^{1/3} + \left(\frac{4}{3} \pi a_{i-j}^3 \right)^{1/3} \right]^3 - n_i \sum_{j=1}^{\infty} \alpha G n_j \left[\left(\frac{4}{3} \pi a_j^3 \right)^{1/3} + \left(\frac{4}{3} \pi a_i^3 \right)^{1/3} \right]^3$$

ただし a_i, a_j, a_{i-j} : $i, j, (i-j)$ 倍粒子の半径 α : 衝突・付着総合効率

n_i, n_j, n_{i-j} : $i, j, (i-j)$ 倍粒子の流体単位体積中の個数

上式を差分法で計算したものとモンテカルロ法で計算した場合の比較を、図-1及び図-2に示す。成長は50倍粒子までとし、成長に伴う密度変化を考慮していない。図中でのでは、無次元化時間で、 $\tau = \tau_0 \cdot \nu_0 \cdot G \tau$ (τ_0 :

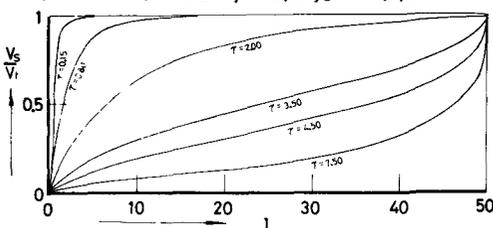


図-1 (差分法)

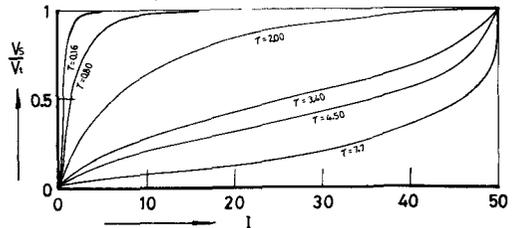


図-2 (モンテカルロ法)

初期粒子の個数濃度 (ρ_0 : 初期粒子の体積) で示される。これらの図より、差分法とモンテカルロ法では、ほとんど差は認められず、モンテカルロ法での計算方法の妥当性が示される。さらに、差分法で計算を行なう場合には、時間及び粒径の量子化を行なう必要が生じ、量子化による誤差の吟味を詳しく行なわねばならず、特に、粒径の量子化は、電算の記憶容量の制限上かなり粗くとらねばならず、成長に伴う粒子径の「ふるい分け」操作が必要となり、その事が計算結果に与える影響を無視できなくなり、実験値との対応を行な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、差分法では無視できないような量子化による誤差はさけることができ、実験との対応が容易にできるなどの利点があることから、計算方法としては、モンテカルロ法の方が適当であるといえる。以下に示す計算結果は、モンテカルロ法によって計算したものである。

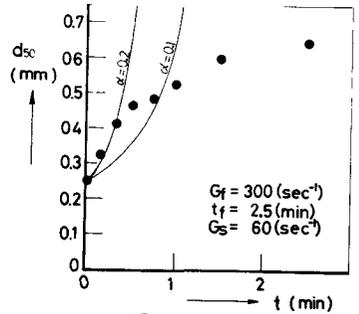


図-3

急速攪拌強度(以下 G_T と称する)を $G_T = 300 \text{ sec}^{-1}$ とし、その攪拌時間(以下 t_T と称する)を、 $t_T = 2.5$ 分、15分として、緩速攪拌下でフロック形成したときの平均径の時間変化を、図-3及び図-4に示す。実線が計算で、黒丸印が実験値である。 $t_T = 15$ 分の場合をみると、 $\alpha = 0.05$ 付近で、実験値と計算値がより長く合致している。他の条件において、このようにして求めた α と急速攪拌継続時間との関係を示したのが、図-5である。横軸は急速攪拌強度 G_T で無次元化したものである。この図から、攪拌時間が増せば、 $G_T = 300 \text{ sec}^{-1}$ 、 140 sec^{-1} と α は低下している。又、急速攪拌強度を $G_T = 300 \text{ sec}^{-1}$ とした方が、 $G_T = 140 \text{ sec}^{-1}$ としたもののよ

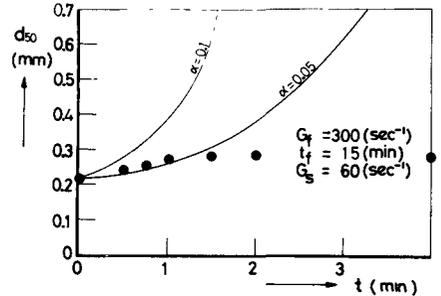


図-4

りも、同じ $G_T t_T$ 値に対して、 α は若干大きくなっている。つまり、同じ $G_T t_T$ 値では、攪拌強度が高い程 α は大きくなっている。これらの傾向は、着者が行った濁質除去の実験で求めた α と同様の傾向を示している。一方、ある時間から計算の方が実験値より成長が速くなっている。即ち、 $t_T = 2.5$ 分では $\alpha = 0.2$ として 20 秒付近から、 $t_T = 15$ 分で $\alpha = 0.05$ として 1 分付近から計算値の方が成長が速くなっている。従って、計算値を実験に合わせようとするれば、計算での成長を押さえてやる必要がある。つまり、成長するに従い α を小さくする必要が生じる。図-6~図-9に図-3, 4に対応する粒径分布の時間変化を示す。図-6, 8が計算値で、図-7, 9が実験値である。これらの図から、平均径が同じくらいであっても、計算値の方が粒径の大きい方へ分布型が広がっている。このことは、計算の方で、大きい粒子の成長が押さえられるような方向、つまり、粒径が大きい程 α を小さくすると、両者は一致する方向に向かうものと思われる。以上のことから、 $\alpha = \text{一定}$ として考えると、大きい粒子が速く成長することとなるため、粒径が大きい程 α が低下するような α の関数型を考えるか、あるいは破壊及び何らかの付着効率の変化を考慮してやる必要があるものと思われる。

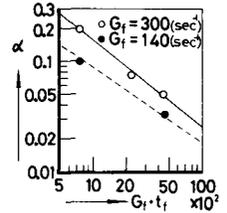


図-5

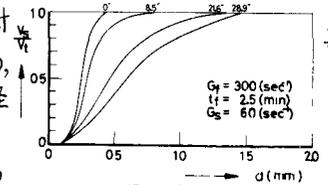


図-6

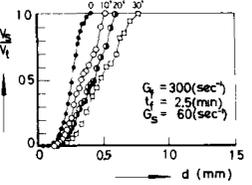


図-7

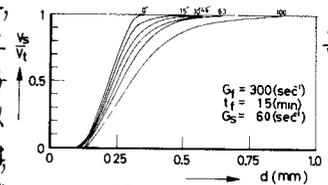


図-8

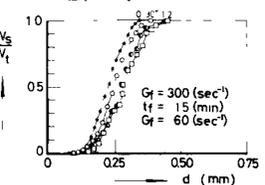


図-9

要があるものと思われる。 <参考文献> 1) 粟谷・榎田・石原・田中; S51年 土木学会西部支部