

九州大学 工学部 正員 ○古賀憲一
同 上 栗谷陽一
同 上 楠田哲也

1. まえがき 沈殿池内における凝集沈降特性を明らかにすることは、沈殿池における濁質除去率の予測ひいては浄水システムの最適運転を行う意味で、重要であろう。現在まで、沈降特性を取扱った研究は数々なく、残留濁度の予測を目的とし、除去率を簡便な方法で求める手法を提案している丹保らの研究を除けば皆無に等しい。本研究の目的は、凝集沈降現象を解明し、沈殿池における除去率の予測、最適運転法を確立することである。以上の観点に基づき、今回は前報に引続き、凝集沈降に関する数値シミュレーションを試みたものである。

2. 計算方法 数値シミュレーションを行うにあたっての主な仮定は①前述の衝突付着総合効率 α は粒径に依らないものとする、②フロックの体積濃度は充分小さく、したがって沈降に伴う干渉作用は無視されるものとする、③フロックは球体とする、である。これらの仮定により、凝集沈降に関する個数濃度保存式は、次式の如く表される。

$$\frac{\partial m_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial m_i}{\partial z} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{\infty} \alpha \cdot m_{i-j} \cdot m_j \cdot \frac{\pi}{4} (d_{i-j} + d_j)^2 |u_{i-j} - u_j| - m_i \sum_{j=1}^{\infty} \alpha \cdot m_j \cdot \frac{\pi}{4} (d_i + d_j)^2 |u_i - u_j|$$

ただし、 d_i : 粒径、 m_i 、 u_i : 粒径 d_i なる粒子の個数濃度及び沈降速度、 α : 衝突付着総合効率、である。

上式を数値計算する際に、差分法を用いると粒径や時間、位置の量子化による誤差が生じるため、本報では前回と同様に乱数を用いて、現象の再現を試み、上式の数値シミュレーションを行った。シミュレーションの方法を以下に簡単に記す。まず、電算の記憶容量を極力減らし、計算法の簡便化を計る意味で3次元の現象を1次元化する。すなわち、底面積 A なる円柱を考慮(粒子はその円柱内に3次元に分布するのであるが)、計算上では各粒子の鉛直座標のみを与える。水平面内の位置はランダムであるので、衝突合一の判定を行う時のみ確率的に与える。これにより、粒子の位置を3次元的に与える必要がなく、相異なる2個の粒子が同一レベルに並んだ時点で、衝突合一の判定をその確率と乱数とを比較により行えば良い。また、今回は以下に示す2通りの計算を行った。

1番目は、考えている円筒内において深さ方向に濃度及び粒度分布が変化した場合、すなわち等濃度領域における粒子の成長についての計算である。したがって、この領域における粒子の成長は、沈降の経過時間のみによって進行する。2番目として、実際の沈殿池等を想定する意味で、深さ方向に濃度及び粒度分布が存在する場合についての計算を行った。等濃度領域における成長については、考えている筒の底を通過した粒子を再度筒の上面から投入させる方法により、濃度を保存させている。したがって、等濃度領域における計算では、沈降時間の経過に伴い、衝突合一による粒子個数のみが減少し、質量濃度は一定である。2番目の、空間的に濃度(粒度)分布が存在する時の計算では、前述の底面を通過した粒子の再投入を行わずに、計算を続行する。計算を行うにあたって、いづれの場合でも成長に伴う密度変化を考慮し、沈降速度式はストークス式に従うものとした。

3. 実験装置及び方法 図-1に、実験に用いた沈降筒(10 cm × 10 cm × 3 m)を示す。この筒はフロック形成のための槽も兼ねており、筒内には十字型の攪拌翼(3 cm × 3 cm)を設けている。フロック形成条件は、濁質濃度 30 ppm, アルギン酸ソーダ 1 ppm, 硫酸バ

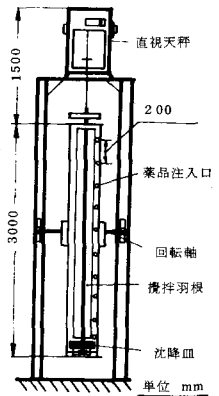


図-1

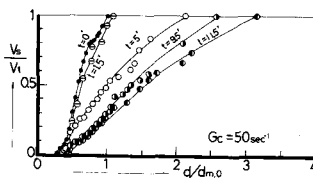


図-2

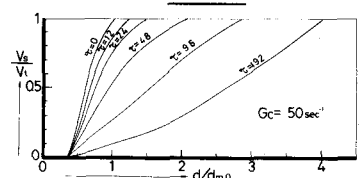


図-3

ンド6ppmとした。攪拌は、一定の強度(G と称する)で行ない、攪拌時間は、 $G_c \cdot T = 6 \times 10^4$ となるように設定した。フロック形成は攪降筒を水平にして行い、形成終了後、攪降筒を鉛直に立てる。以後、所定の時間間隔で粒径分布、沈降速度を求めるための近接撮影を、筒下部において行う。また、沈降天秤により、沈降重量を測定し、平均残留濃度と沈降時間との関係を求める。

4. 結果及び考察 等濃度領域におけるフロックの成長の時間変化を、 $G_c=50$ sec⁻¹を例にとり、図-2, 3に示す。図-2, 3は各々実験、シミュレーションにおける結果である。縦軸はフロック累加体積を総体積で正規化したもの、横軸は粒径を初期分布下の最大径(攪降開始直後の最大径)で無次元化したものである。図-3における τ は無次元化時間であり、 $\tau = \frac{t}{\tau_0} \cdot \alpha \cdot n_0 \cdot d_0^2 \cdot u_0$ (n_0 : 代表粒子個数濃度、 d_0 : 初期条件下での最大径、 u_0 : 粒径 d_0 なる粒子の沈降速度)として与えられる。これらの図においては、近似的にはあるが双方とも粒径分布の相似性が存在しているようである。粒径分布の形状を示すものとして d_m/d_{50} (d_m, d_{50} は各々任意の時間における最大粒径及び体積メディアン径)を求め、その時間変化を図-4, 5に示す。図-4, 5は各々シミュレーション、実験における結果である。図-4において、無次元化時間の最も長い例($\tau=192$)を除けば、 $d_m/d_{50}=1.9 \sim 2.0$ と一定している。 $\tau=192$ の場合 d_m/d_{50} がやや小さくなるのは、成長の進行に伴い粒子の総個数が不足したため、現象の再現が正確に表現できにくくなったものと考えられる。また、実験における d_m/d_{50} はばらつきはあるものの1.6~2.0程度となっている。いずれにしても、実験、シミュレーション結果における d_m/d_{50} の差は僅かであり、双方を比較する場合に、 d_{50} を採用してもさほどの支障は生じないであろう。図-6, 7に、 d_{50} の時間変化について、双方の比較を行った結果を示している。縦軸は d_{50} を初期条件下での $d_{50,t=0}$ で無次元化したものである。実線で表した計算結果は、実験結果に合うように定数 α を決定し、無次元化時間を実時間に変換して示したものである。本例の場合、 α の値は G_c の値によらずほぼ0.5程度となっている。ここで、衝突効率を α_c 、付着効率を α_a とすると前述の α は、 $\alpha = \alpha_c \cdot \alpha_a$ で表されるものである。フロックに若干の透水性を考慮されば α_c はほぼ一定となることが解っている⁴⁾ので、 α_a も G_c によらずほぼ一定の値になっているものと考えられる。このことは、初期フロックの形成条件として $G_c \cdot T$ = 一定としているため、 G_c が大きくても短い T によって付着効率がさほど低下しなかったためと思われる。図-8, 9に、平均残留濃度の時間変化を示す(縦軸は初期濃度で正規化している)。黒丸印が実験結果であり、シミュレーションによる結果(前述の、空間的に濃度及び粒度分布が存在する場合に相当)を実線で示している。図-8, 9のシミュレーションを行うにあたっての α は、前述で得られた値を採用している。図-8, 9において、等濃度成長期までは($G_c=200$ sec⁻¹で約20分、 $G_c=50$ sec⁻¹で約10分程度)双方にさほどの違いは見受けられないが、濃度減衰期に入ると双方に違いが生じるようである。このような差が生じる原因については、現在検討中である。

参考文献 1) 丹保寛仁; "凝集沈降に関する研究" 水道協会雑誌 第335号, P.2-31, 昭和42年3月

2) 栗谷, 桶田, 古賀; "凝集沈降に関する基礎的研究" 第11回 衛生工学研究討論会, P.7~12, 1975/1

3) 栗谷, 桶田, 古賀, 木原; "凝集沈降に関する数値シミュレーション" 昭和53年度 西部支部研究発表会, P.167~169

4) 栗谷, 桶田; "フロックの衝突効率について" 九州大学工学集報 第42巻 第6号 昭和45/1

