

九州大学工学部〇学生員 木島宗直

正 員 栗谷陽一

正 員 楠田哲也

正 員 古賀憲一

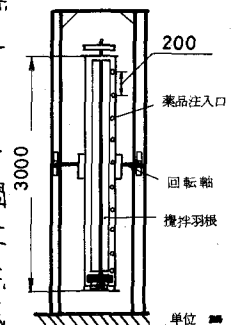
1. まえがき——水処理における沈降池での凝集沈降特性を明らかにする事は、沈降池での汚質除去率を予測し、最適運転管理を行なう上で重要な事であり、又さらに沈降池に流入する汚質の性状を知り、沈降池の管理指針の一助にもなり得るであろう。従来から凝集沈降¹⁾についての研究は極めて少なく、わずかに工学的適用を目的とした検討が円筒によってなされている程度である。従って、現象を本質的に解明しようとした例は、著者らの知る限りにおいては皆無に等しい。本研究は、沈降池における処理効率の向上、あるいは最適運転管理法の確立を最終目的として、凝集沈降現象に関する数値シミュレーションを、今回は等濃度領域における成長について行なったものである。著者らは、同様の検討を既に行なっているが、前回においては実験結果とシミュレーション結果との比較にまでは達しておらず、上述の目的を達してするには至っていない。今回は更に若干の検討を加え、知見を得たので以下に報告する。

2. 実験装置、及び方法——実験に用いた沈降筒は、10 cm × 10 cm × 3 m のアクリル製の直筒で、筒の中央部を支えている回転軸を中心として水平から鉛直まで回転可能となっている。又、沈降筒内部でフロック形成が行なえる様に筒内に攪拌羽根を設けている。実験方法としては、まず汚質が筒全体に均一になるように、筒を水平に保ち、筒側壁に等間隔に設けている薬品注入口より、汚質(カオリン)、アルギン酸ソーダ、硫酸バンドを各々、30 ppm, 1 ppm, 6 ppm, となるように、又 pH を 7.0 に調整するために炭酸水素ナトリウムを所要量注入し、一定の攪拌速度のもとで所定時間攪拌を行なう。今回の実験は、 G_t 値(sec⁻¹) が 50, 100, 200 の 3 種について行ない、すべて G_t 値が 60,000 となるように攪拌時間を設定している。フロック形成後、すばやく沈降筒を鉛直にした後攪拌を停止する。この時点と凝集沈降実験開始時刻とし、所定の時間間隔で、フロックの粒度分布、及び沈降速度を求めるために沈降筒底部で近接撮影を行なう。装置概略を(図-1)に示す。

3. 計算方法 フロック粒子相互の干渉作用が無視できる程度に粒子体積濃度が希薄な場合、フロック粒子の凝集沈降成長に関する個数濃度保存式は、次式により与えられる。

$$\frac{dn_i}{dt} + u_i \frac{dn_i}{dz} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{\infty} \alpha n_j n_i \frac{\pi}{4} (d_{ij} + d_i)^2 |u_j - u_i| - \sum_{k=1}^{\infty} \alpha n_i n_k \frac{\pi}{4} (d_i + d_k)^2 |u_i - u_k| \quad (1)$$

ただし、 t : 時間、 z : 水深、 d_i : 粒径、 n_i, u_i : 粒径 d_i なる粒子の個数濃度、及び沈降速度、 α : 衝突付着効率、である。上式を計算する際に差分法を用いると、時間・粒径を差分化するために著しい誤差を生じる。そこで今回の数値シミュレーションには、上式の計算に乱数を用い、現象の再現を試みた。シミュレーションの方法を以下に述べる。まず、 A なる断面積をもつ円筒を考え、この円筒内に存在する全粒子の座標は、水深方向についてのみ与える。水平面内の位置は、衝突の判定を行なう時にのみ確率的に与えられる。これにより、粒子の位置を三次元的に与える必要がなく、単に 1 個の乱数により衝突するか否かの判定をすることでシミュレーションができ、記憶容量も少なくて済む。又、今回は、考える円筒においては、深さ方向に粒子群の粒度分布が一樣である場合、すなわち等濃度領域における成長のみについて考えた。従って本研究では、円筒底部を通過した粒子を円筒上部から再投入する方法を採用した。以上を考慮し、(1) 式を単位深さ当りの代表粒子の個数 m_i 、沈降速度 u_i で無次元化すると、その時の無次元化時間は、 $\tau = \frac{\pi}{4} \alpha \cdot m_i \cdot u_i \cdot t$ で表わせる。又、衝突合体により成長してゆく粒子については、成長に伴う密度変化を考慮しており、フロック密度は、ストークス則が成立するものとして



(図-1)

実験から得られる沈降速度と粒径との関係式から求めている。以上の前提の下に、一次元的に配置した粒子を沈降させてゆく。そして沈降により粒子同士が衝突し、並んだ時点で乱数を用い、並んだ粒子に対し衝突の判定をする。すなわち、(2)式における「みかけの衝突確率」 $S = (d_k + d_j)^2 / A$ ($0 < S < 1$) に対し、乱数 r ($0 < r < 1$) を用いて、 $S \geq r$ の判定を行ない、 $S > r$ ならば衝突合一させ、 $S \leq r$ ならば通過させる、という操作により現象を再現させるものである。

4. 結果、及び考察——数値計算を行なうにあたって用いた初期個数分布、及び粒子の沈降速度 u と粒径 d との関係は、実験により得られた結果を使用し、それぞれ(図-2)、(図-3)に示す。ただし(図-2)の横軸には粒径を最大径で正規化したもの、縦軸には累加個数を総個数で正規化したものを用いた。 $u \sim d$ の関係は、全ての G_c 値においてほぼ一致しており、数値計算に用いる $u \sim d$ の関係式は、図中に示している一本の共通な直線を与えている。次に、以上の初期条件から得られる計算結果について述べる。(図-4)に $G_c = 50$ (sec⁻¹)における粒度分布の時間変化を示す。ただし横軸には、粒径を初期条件下の最大粒径で正規化したもの、縦軸には粒子累加体積を総粒子体積で正規化したものを用いている。これとみると、無次元化時間の長い場合(本例では $\tau = 512$)を除いては、ほぼ相似性が認められる。次に計算結果と同様にして、実験結果について $G_c = 50$ (sec⁻¹)での粒度分布の時間変化を(図-5)に示す。実験においても粒度分布形にほぼ相似性が認められ、さらに数値計算による分布形とも差程の違いはないように思われる。

$G_c = 100, 200$ (sec⁻¹)の場合にも同様な傾向が認められる。分布形を表わす一つの指標として、最大粒径 d_m と体積メディアン径 d_{50} との比をとって考えると、計算結果においてはどの G_c 値に対しても、 $\tau = 512$ において $d_m/d_{50} = 1.5$ 程度になる事を除けば、 $d_m/d_{50} = 1.9 \sim 2.0$ 程度ではほぼ一定値となる。 $\tau = 512$ でこのように分布形の相似性が崩れる原因としては、無次元化時間が長くなると、衝突合一により粒子個数が減少し、現象を正確に表現するに十分な個数がなくなってしまうからではないかと思われる。実験における d_m/d_{50} の値は $1.7 \sim 2.0$ 程度で、ややばらつきがあり計算結果における値よりわずかに小さな値はあるが、それらはほぼ等しいとみなせよう。従って本報においては、平均径 d_{50} により計算結果と実験結果との比較検討を行なう事にした。

実験結果、及び計算結果における d_{50} の時間変化を(図-6, 7, 8)に示す。横軸には実時間、縦軸には、 d_{50} を初期条件における d_{50} で正規化したものを用いた。ただし、衝突付着初率 α は、計算結果と実験結果がよく合うように、無次元化時間の定義式、 $\tau = \frac{\pi}{2} \alpha M_0 u_0 t$ から逆算した値を用いている。このようにして求めた α は、 G_c 値、 τ に依らずほぼ 0.15 、となっている。ここで、衝突効率を α_s 、付着初率を α_c とすると、 $\alpha = \alpha_s \cdot \alpha_c$ で表わすことができるが、フロック粒子に若干の透水性を考慮すれば、 α_s はほぼ一定値となる事がわかっている^{3), 4)}ので、 α_c もほぼ一定の値になるものと思われる。これは実験において、 $G_c \cdot \tau$ 値を揃えているためにどの実験においても α がほぼ等しくなったからではないかと思われる。今後、薬注量、あるいは $G_c \cdot \tau$ 値を変える事などにより、 α の値を変化させた実験を行ない、残留濁度濃度の予測にまで拡張し得る数値シミュレーションを確立してゆきたい。

5. 参考文献

- 1) 丹保聖仁；凝集沈降に関する研究，水辺協会雑誌・335号（S.42, 3）
- 2) 奥金，楠田古堂；凝集沈降に関する基礎的研究，第11回衛生工学討論会講演要録
- 3) 奥金，楠田；フロックの衝突初率について，九州大学工学集報，第42巻第6号（S.45, 1）
- 4) 楠田；フロックの透水性と衝突初率に及ぼす影響，水辺協会雑誌・462号（S.48, 1）

