

九州大学 正員 古賀 憲一
同上 正員 栗谷 陽一
同上 正員 楠田 哲也
同上 学生員 島岡 隆行

1. はじめに.

凝集性粒子群の沈降過程は粒子の性状(凝集性), 粒度分布形状などの影響を受けるために複雑な現象と言える。著者らは, 先に沈降過程における凝集性粒子の粒度分布に相似形を仮定し, 残留濁質量や濃度分布を算定するための計算式を求め, その適用性について検討を加えてきた。^{1,2)} 粒度分布の相似性を仮定し, 粒子の成長状態が巨視的な量(質量濃度, 粒子沈降流速密度)で表現されればその工学的な適用性は高いと云えよう。本研究は, ①粒度分布形に相似の仮定を用いた残留濃度算定法と②相似の仮定を用いずに凝集沈降に関する基礎式を直接数値積分(モンテカルロ法)した結果との比較を行い, 著者らが先に提案した残留濃度算定法の適用性について考察を加えたものである。

2. 計算方法

静水中に存在する粒子の成長を考慮した物質収支に関する基礎式は次式で表される。

$$\frac{\partial n(\omega, z, t)}{\partial t} + \frac{\partial (n(\omega, z, t) \cdot v(\omega))}{\partial z} = \frac{1}{2} \int_0^\infty F(\tilde{\omega}, \omega - \tilde{\omega}) n(\tilde{\omega}, z, t) n(\omega - \tilde{\omega}, z, t) d\tilde{\omega} - n(\omega, z, t) \int_0^\infty F(\omega, \tilde{\omega}) n(\tilde{\omega}, z, t) d\tilde{\omega} \dots\dots (1)$$

$n(\omega, z, t)$: 時間 t , 水深 z における質量 ω なる粒子の個数濃度, $v(\omega)$: 粒子の沈降速度, F : 衝突頻度関数

2.1) 粒度分布形に相似の仮定を用いた場合の濃度算定式¹⁾

粒度分布形に相似性を仮定し, (1) 式を2つの巨視的な量で表すと以下の(2), (3) 式の如く表せる。

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + K_1 \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\Phi^2}{\psi} \right) = K_2 \Phi^{1+\frac{1}{\mu}} \psi^{1-\frac{1}{\mu}} \dots\dots\dots (3)$$

$\psi(z, t)$: 質量濃度, $\Phi(z, t)$: 粒子沈降流速密度

m : $v = v_0 (d/d_0)^m$ における指数, v, d は各々,

沈降速度, 粒径である。

P : $v = v_0 (\omega/\omega_0)^P$ における指数, ω は粒子質量 α : 衝突・付着総合効率, ρ_c, ρ_0, μ, g は慣例の表記に従う。

(4), (5) 式の K_1, K_2 は各々粒度分布形状, 粒子の衝突・付着総合効率と巨視的に示すパラメータ。質量平均沈降速度 u_c , 残留濁質量は各々, $u_c = \Phi/\psi$, $w_r = \int_0^\infty \psi dz$ で求められる。

2.2) モンテカルロ法による数値計算³⁾

粒度分布に相似の仮定を用いずに, (1) 式を直接数値計算した。計算方法としてはモンテカルロ法を用いた。計算方法として, まず所定の初期分布(個数基準)に基づき, 所定個数の粒子を1次元の(空間的な配置はランダムなので次元として本質的な違いはない)に配置する。総ての粒子を所定の沈降速度で沈降させ, 最小時間で同一レベルに達した2個の粒子を求め, 所定の衝突・付着効率で合-させるか否かを判定する。以後, この操作を繰返し進めていく。

2.3) 計算条件

前述した2通りの計算を行う際の諸条件は以下の通りである。

①. 初期分布は個数基準で一樣及び指数関数的に減少する2つの分布形を用いた(図-1参照)。②. 衝突・付

着集効率 α は1とした。③. m, d_0, v_0 は各々1, 1cm, 1cm/secとした。

3. 結果及び考察

図-2, 3に残留濁質量の時間変化を示す。無次元化時間では, $\tau = \pi \cdot t / (\psi \cdot H)$, (ψ 中. は $t=0$ における中, 重)である。図-2に初期分布を均一とした時, 図-3には指数関数とした時の計算結果を示す。初期分布などが既知であるために, K_1, K_2 の値は各々,

図-1. 初期分布

(4), (5)式により求めることができ, それらの値を図中に示している。均一初期分布として計算すると, 沈降フラックスの大半を大粒子群が占めるために, 残留濁質量の減少速度は図-3に示すものより速くなる。モンテカルロ法で求めた結果(以下, M-法と略記)と相似の仮定を用いた計算結果(以下, S-法と略記)との差異は全体的に余り見受けられないが, 均一初期分布で計算した方に $\tau=0.8$ 付近に若干の差が認められ, M-法で求めた残存量がS-法より3割程少なくなっている。図-4~7に濃度分布の時間変化を示す。M-法で求めた結果に多少のばらつきが認められることと, 沈降開始初期の下層部において残留濃度が初濃度より高くなるのは, 配置粒子総個数の不足などによるものである。図-4, 5では, 図-2と同様に大粒子の沈降量がなく, 濃度の急速な減少が生じるため, 特に上層部付近の濃度曲線は下に凸の曲線となる。また, 双方の結果を比較すると $\tau=0.78$ におけるM-法の濃度分布の方がS-法のものより速く沈降している。これは, M-法で計算する際には濃度分布形に相似の仮定を必要としないために凝集成長により極めて大きい粒子が生じたことによると考えられる。そのために $\tau=0.78$ 付近では, 図-2でも示したように双方の残留濁質量に違いが生じている。通常のフロク形成や自然界に存在する粒子の粒度分布が均一分布(個数基準)となることは, 初濃度が非常に高い場合を除けば余りないものの, S-法, M-法で求めた双方の結果にさほどの差が生じないことは注目すべきことであろう。初期分布を指数関数として求めた結果を図-6, 7に示す。全体的な傾向の一致は, 図-4, 5で示した例より良好のようである。これは, 大粒子の存在量が少ない初期分布から計算を始めているために凝集沈降により大粒子が生成されても, 分布形の相似性が崩れにくい事によるものと考えられる。分布形の形状を巨視的に示す K_1 値は1.5~2.5となる場合が多いので^{(1),(2)}, 本例で示した $K_2 H \psi$ の値の範囲内では分布形を相似として取り扱っても過大な誤差は生じないものと思われる。

本研究の一部は, 文部省科学研究費(一般研究)の補助を受けて行ったものである。

数値計算には, 本学 大型計算機(FACOM M-190)も使用した。

参考文献

- 1) 古賀, 栗谷, 橋田, 島田, 「静水中における微粒子の沈降特性と残留濃度算定手法に関する研究, 衛生工学研究 論文集, 19巻 1983.1
- 2) 吉坂, 古賀, 栗谷, 橋田, 「同上(II)」, 土木学会 西部支部研究発表会講演集
- 3) 古賀, 島田, 栗谷, 橋田, 「凝集沈降に関する数値計算と計算機着集効率について」, 16回 衛生工学研究 討論会, 1980.1

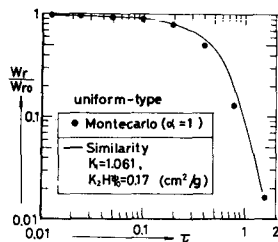
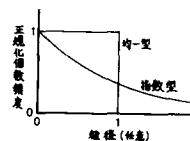


図-2. 残留濁質量の時間変化

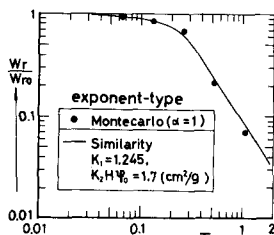


図-3. 残留濁質量の時間変化

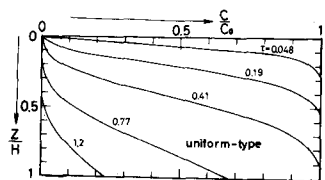


図-4. 濃度分布(S-法)

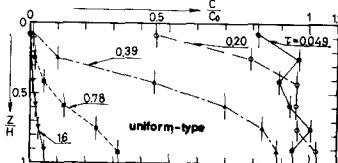


図-5. 濃度分布(M-法)

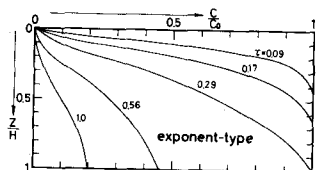


図-6. 濃度分布(S-法)

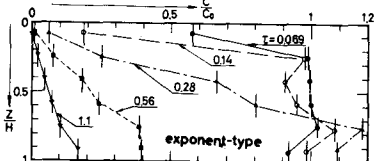


図-7. 濃度分布(M-法)