

静水中における微粒子の凝集沈降に関する基礎的研究(四)

九州大学工学部 学○吉塚靖浩 佐賀大学理工学部 正 古賀憲一

九州大学工学部 正 栗谷陽一 正 楠田哲也 学 川崎剛志

1. まえがき 著者らは、水域における微粒子の凝集沈降現象の解明、微粒子の濃度予測を最終目的として種々の実験的検討や凝集沈降基礎式に対する理論的検討を加えてきた。本研究では、静止海水中における微粒子の凝集沈降特性について実験およびその数値シミュレーションを行ない衝突・付着総合効率の支配的な原因を検討したものである。

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。

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

ここで、 $n(\omega, z, t)$ ：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、 $F(\omega, \tilde{\omega})$ ：衝突頻度関数であり、 $F = d \cdot \frac{\pi}{4} (d_i + d_j)^2 |u_i - u_j|$ (d ：衝突・付着総合効率、 u_i, u_j ：粒子の沈降速度)である。

(1)式を解析的に解くのは困難なため、モンテカルロ法を用いて解いた。計算方法として、まず所定の初期濃度(個数基準)に基づき、所定個数の粒子の粒径と鉛直座標を定める。総ての粒子を所定の沈降速度で沈降させ、最初に同一レベルに達した2個の粒子を求め、所定の確率で合一させるか否かをモンテカルロ法により判定する。以後この操作を繰返し進めていく。数値計算を行う際、凝集沈降現象を左右する重要なパラメータである衝突・付着総合効率 α は、粒径 d の関数とした場合(以後、この方法をM.D法と略す)と、各粒子の衝突に従い効率低下が起こると考えた場合(N.M法と略す)の2通りについて検討した。

3. 実験装置及び方法 実験に用いた沈降筒は図-1に示す高さ m のアクリル製の角筒($10\text{cm} \times 10\text{cm}$)である。沈降筒は回転軸と中心として鉛直状態から水平状態まで回転可能である。沈降筒は攪拌槽も兼ねている。微粒子の沈降重量を得るための沈降皿を最下部に設け沈降皿と直視天秤とを連結する白金線は、攪拌軸のパイプの中を通っている。海水(比重1.025)は、福岡県宗像郡津屋崎沿岸(沖合400mの地点)から採水した。海水から懸濁質を除去するため、粒状活性炭及び $0.45\mu\text{m}$ のガラスフィルタで濾過した。濁質としては佐賀県六ヶ所川下流部

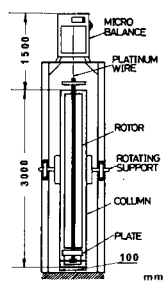


図-1 実験装置

底泥を $74\mu\text{m}$ のフルイでふるい、通過濁質を海水に一週間以上浸したものをを用いた。実験方法としては、まず鉛直に保った沈降筒に海水を満たし一昼夜放置し、予め室温と水温の温度差が生じないようにしておく。次に、筒を水平にし所定の攪拌強度($G=70\text{sec}^{-1}$)で攪拌を行いつつ注水口より濁質を注入する。攪拌終了後すばやく筒を鉛直にし(この時を沈降開始時刻とする)、天秤と沈降皿を連結する。以後、所定の時間間隔で沈降重量を読みとり、さらに側壁に設けた採水口より採水を行い、残留濁度分布の測定を行う。また筒の最下部において粒径分布、沈降速度を得るための採水を行い、顕微鏡撮影を行う。

4. 結果及び考察 衝突・付着総合効率を一定値として計算を行なう場合、正規化残留濁質量 w_t/w_0 が実験に合致するように α の値を選びと粒子の成長が抑制され、平均径を合致させると正規化残留濁質量が小さくなってしまうという矛盾が生じてしまい、双方を同時に実験結果と合致させることは困難である。従って、衝突・付着総合効率を一定値と考えず、何らかの補正を行わなければならない。ここでは従来の成果も踏まえ、粒径 d に依存する関数型を考え次のように置いた。

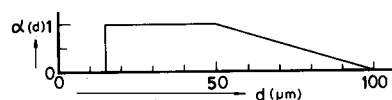
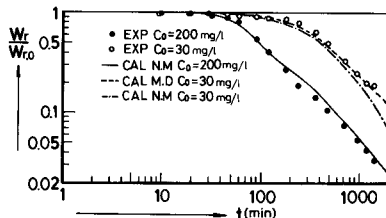
図-2 $\alpha(d)$ の関数型

図-3 正規化残留濁質量の時間変化

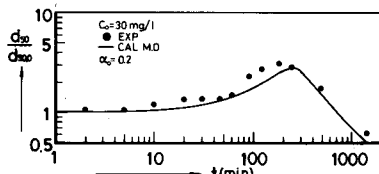


図-4 平均径の時間変化 (M.D法)

$$(M.D法) \quad \alpha = \alpha_0 \cdot d(d_i) \cdot d(d_j) \quad \text{-----} (2)$$

α_0 はある定数、 $d(d)$ は粒径 d の関数で α に対する補正のための係数である。ここで、 $d(d)$ の関数形としては従来の研究成果も踏まえてある粒径より小さい所では他の粒子と合一せず、また、ある粒径より大きい所でも合一しないように図-2のような関数型を与えた。この場合の正規化残留濁質量の時間変化を図-3に、平均径の時間変化を図-4に示す。双方の合致性はほぼ良好のようであるが、粒子の成長は実測の方が多少速くなっている。この計算方式では自然界の微粒子のように性状が複雑なものについては、衝突・付着総合効率 α が複雑に変化し、粒径の関数として表せるといふ確証もない。そこで、衝突・付着総合効率は各粒子別個の値をもち、粒子の衝突非合一作用により低下するという新しいモデル(N.M法)を考えた。このモデルでは異なる粒子とよなる粒子との衝突・付着総合効率を次のように置いた。

$$(N.M法) \quad \alpha = \alpha_0 \cdot f_i \cdot f_j \quad \text{-----} (3)$$

α_0 はある定数、 f_i は異なる粒子のもつ衝突・付着総合効率の補正係数である。粒子の衝突非合一作用により f_i が f_i^* になるとしてその変化を次のように置いた。ただし、 $d_i \geq d_j$ とする。

$$\left. \begin{aligned} f_i^* &= (1 - \beta \cdot \frac{d_j^2}{d_i^2}) \times f_i \\ f_j^* &= (1 - \beta) \times f_j \end{aligned} \right\} \quad \text{-----} (4)$$

β は衝突付着総合効率の低下率、このモデルの計算を行なうに当り、初期の f_i は一定値とした。 $C_0 = 30 \text{ mg/l}$ の場合の計算結果を図-3、図-5、図-8に、 $C_0 = 200 \text{ mg/l}$ の場合の計算結果を図-3、図-9、図-11に示す。正規化残留濁質量の時間変化についての計算値と実験値は充分合致することが解る。特に、図-4と図-5とを比較すると、N.Mの方がM.Dより粒子の成長が多少速くなっており、実験値とよく一致している。濃度分布について計算結果と実験結果を比較すると、上層付近において実験値がわずかに高くなる傾向を除けば全体的に良く合致している。いずれにしても、本研究で行った範囲内では、衝突付着総合効率を粒径の関数型としても、衝突非合一作用により付着効率が低下すると考えても残留濃度をある程度算定することができる。N.M法はパラメーターが少なく、衝突・付着総合効率を粒径の関数とする方法より最適値を見出すのが容易である。なおN.M法における α, β 値が初濃度によりかなり変化する理由は不明であり、今後の検討課題としたい。

<参考文献> 1) 古賀、栗谷、楠田、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) 古賀、栗谷、楠田：「凝集沈降に関する数値計算と衝突・付着総合効率について」16回 衛生工学研究討論会 (1980、1)
3) 丹保憲仁：「フロック形成過程の基礎的研究(I)」水道協会雑誌 372号 1965、9
4) 川崎、古賀、栗谷、楠田、吉塚：「静水中における微粒子の凝集沈降に関する基礎的研究」昭和58年度土木学会西部支部研究発表会 1984、2

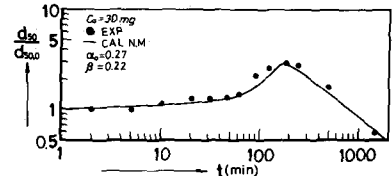


図-5 平均径の時間変化 (N.M法)

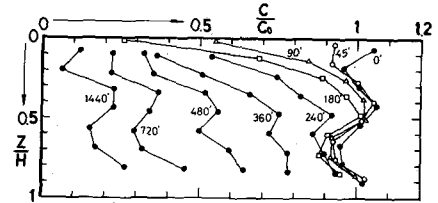


図-6 残留濃度分布の時間変化 ($C_0 = 30 \text{ mg/l}$ 実測)

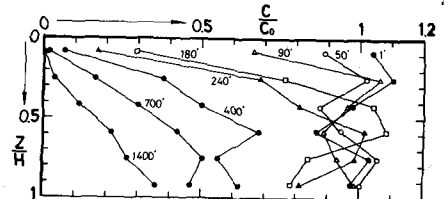


図-7 残留濃度分布の時間変化 ($C_0 = 30 \text{ mg/l}$ M.D法)

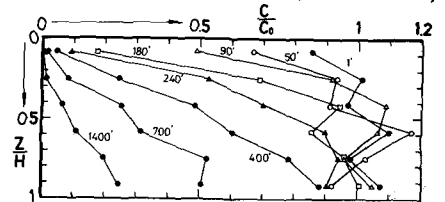


図-8 残留濃度分布の時間変化 ($C_0 = 30 \text{ mg/l}$ N.M法)

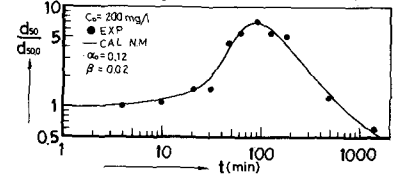


図-9 平均径の時間変化 (N.M法)

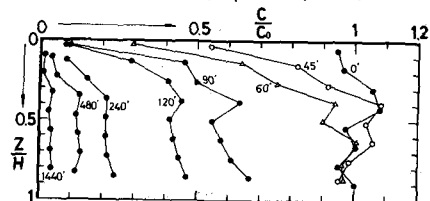


図-10 残留濃度分布の時間変化 ($C_0 = 200 \text{ mg/l}$ 実測)

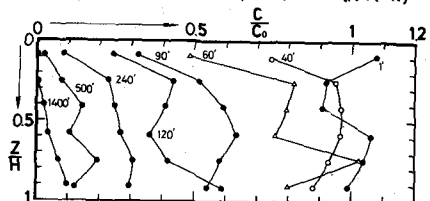


図-11 残留濃度分布の時間変化 ($C_0 = 200 \text{ mg/l}$ N.M法)