

II-9

静水中における微粒子の凝集沈降に関する基礎的研究

九州大学工学部 学〇川崎剛志 正 古賀憲一 学 音塚靖浩

正 栗谷陽一 正 楠田哲也

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を行い、数値計算をし、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. 計算手法 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。

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

ここで、 $n(w, z, t)$: 時間 t , 水深 z における質量 w なる粒子の個数濃度, $v(w)$: 粒子の沈降速度, $F(w, \tilde{w})$: 衝突頻度関数で、粒径を基準として表すならば、

$F = \alpha \cdot \pi (d_i + d_j)^2 |u_i - u_j|$ (α : 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。計算手法として、まず所定の初期濃度(個数基準)に基づき、所定個数の粒子を1次元の鉛直方向(空間的な配置はランダムなもので3次元としても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、一定値とした場合と粒径 d の関数とした場合の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3mのアクリル製の角筒(10cm×10cm)である。沈降筒は回転軸を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。渾濁水

を除去するために、粒状活性炭及び0.45 μ mのガラスフィルタで濾過した。濁質としては市販カオリンASP-600(比重2.66、平均径0.6 μ m)を渾濁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、予め室温と液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($G = 100 \text{ sec}^{-1}$)で攪拌を行いつ注入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、所定時間間隔で沈降重量を読みとり、さらに側壁に設けた排水口より排水を行い、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に排水を行い、顕微鏡撮影を行う。

4. 結果及び考察 図-2に平均粒径 d_{50} の時間変化を、図-3に正規化残留濁質量 W_t/W_0 の時間変化を示す。図-2,3に示す数値計算結果は、衝突・付着総合効率 α を一定値として行、たものである。これらの図において、平均径 d_{50} については双方とも一致するが正規化残留濁質量 W_t/W_0 については一致していないことが解る。即ち計算値の方の残留粒子群が実測に比べ速く沈降している。正規化残留濁質量 W_t/W_0 について合致性を良好にするためには、 α の値を小さくする。即ち計算における粒子の成長を抑制させる必要がある。この場合、平均径 d_{50} の成長は抑制され合致性が失われる。以上のことから、 α の値を一定値として計算を行うと平均径 d_{50} 及び正規化残留濁質量 W_t/W_0 の時間変化について双方の結果を同時に合致させることは困難と考えられる。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。

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \alpha(d_i) \cdot \alpha(d_j) \quad \text{-----} (2)$$

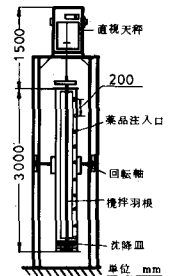


図-1. 実験装置

α はある一定値の定数、 $\alpha(d)$ 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、 $\alpha(d)$ の関数形としては前述の結果から凝集沈降において、粒径が小さくなる程衝突・付着総合効率が小さくなるような関数形を与えれば良いことが解る。このようにすれば、小粒子は粒子の成長(粒径の増加)に余り寄与せず、かつ濃度減少期においては、これら小粒子が未成長のまま残留することになり、残留濁質量の減少速度が小さくなる。従って平均径 d_{50} の合致性を悪くすることなく計算値の残留量が増加すると期待される。本研究では、図-4に示すようにある粒径より小さい所では $\alpha=0$ 、即ち他の粒子と合-しないような関数型を与えた。計算結果を図-5,6に示す。図-5,6から平均径 d_{50} 及び正規化残留濁質量 $W_r/W_{r,0}$ についての計算値と実験値は充分合致することが解る。濃度分布について計算、実験結果の比較例を図7,8に示す。これらの図から、上層部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考えれば残留濃度の算定は可能であると考えられる。なお、ASP-600を海水で凝集沈降させた場合、 $\alpha(d)$ が0となる小粒子の頻度は質量でみて総量の1割から2割程度であることが、図-4から解る。衝突・付着総合効率の低い微細な粒子が存在することは、海水中で微細粒子が凝集沈降する際の一つの特徴とも考えられるが今後の検討課題としたい。数値計算には、本学大型計算機(FACOM M-190)を使用した。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費(一般研究及び総合研究(A))の補助を受けて行ったものである。

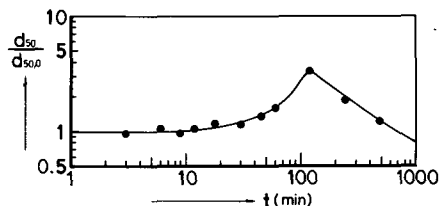


図-2 平均径の時間変化

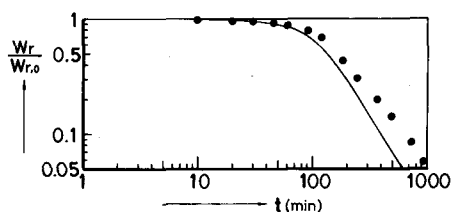


図-3 正規化残留濁質量の時間変化

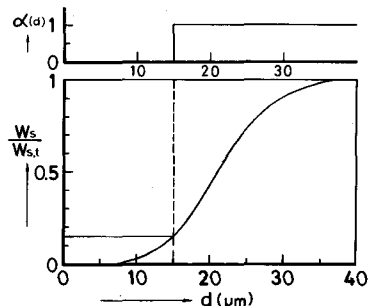


図-4 初期分布及び $\alpha(d)$ の関数型

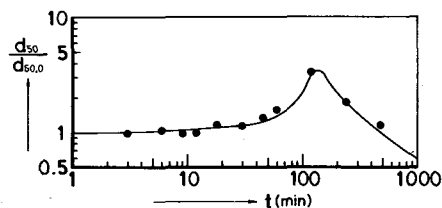


図-5 平均径の時間変化

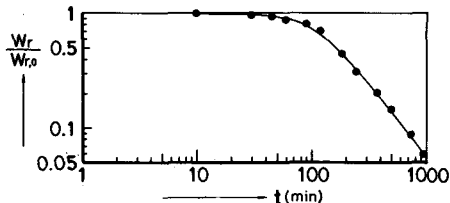


図-6 正規化残留濁質量の時間変化

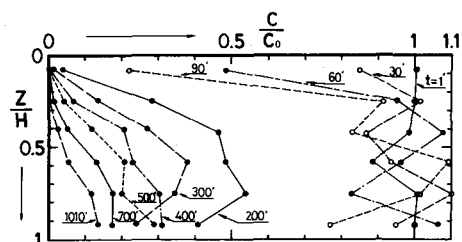


図-7 残留濃度分布の時間変化(計算)

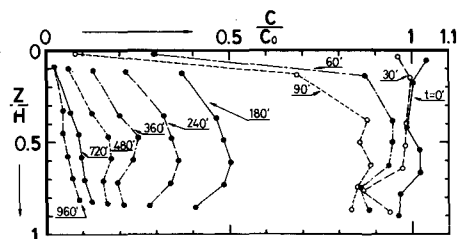


図-8 残留濃度分布の時間変化(実験)

- <参考文献> 1)古賀,栗谷,楠田,島岡,「懸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(1982.1)
2)吉塚,胡,栗谷,楠田,「同上(II)」,土木学会西部支部研究発表会講演集
3)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)
4)古賀栗谷,楠田,島岡,「凝集性粒子の残留濃度算定手法に関する一考察」,第38回土木学会年講(1983.9)
5)丹保憲仁,「70μ形成過程の基礎的研究(Ⅰ)」,水道協会雑誌,372号,1965.9