

九州大学工学部 学生員 〇吉塚 靖浩

九州大学工学部 正 員 古賀 憲一

九州大学工学部 正 員 栗谷 陽一

九州大学工学部 正 員 楠田 哲也

1. まえがき 著者らは、水域における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。本研究は、前報に引き続き、粒子の粒度分布形に相似性を仮定することによって、静水中の残留濁質量の計算式を導出し、静止海水中における微粒子の沈降特性について実験的検討を加え、計算式の適用性を検討したものである。

2. 残留濃度の算定式 粒子の分布形に相似性を仮定し、凝集成長を考慮した粒子の保存に関する基礎式は、以下のごとく表される。

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial \Xi}{\partial z} = 0 \quad \text{-----(1)}$$

$$\frac{\partial \Xi}{\partial t} + K_1 \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\Xi^2}{\psi} \right) = K_2 \Xi^{1+\frac{1}{m}} \psi^{1-\frac{1}{m}} \quad \text{-----(2)}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし、} \psi(z,t) &= \int_0^\infty \Gamma(\omega, z, t) d\omega \\ \Xi(z,t) &= \int_0^\infty \psi(\omega) \Gamma(\omega, z, t) d\omega \end{aligned} \right\} \text{-----(3)}$$

で、 ψ は粒子質量濃度、 Ξ は粒子沈降流束密度である。

$$K_1 = \frac{\int_0^\infty \varphi(\xi) \xi^{2P} d\xi}{\left(\int_0^\infty \varphi(\xi) \xi^P d\xi \right)^2} \quad (\geq 1) \quad \text{-----(4)}$$

$$K_2 = \left(\frac{\omega_0}{\psi_0} \right)^{\frac{1}{1+m}} \times \left(\int_0^\infty g(\xi) \xi^P d\xi \right) \times \left(\int_0^\infty \varphi(\xi) \xi^P d\xi \right)^{-1-\frac{1}{m}} \quad \text{-----(5)}$$

$\Gamma(\omega, z, t)$: 時間 t 、場所 z における質量 ω なる粒子の質量濃度、 $\psi(\omega)$: 沈降速度、 ξ : 無次元化粒子質量で、

$\xi = \omega / \bar{\omega}(z, t)$, $\bar{\omega}$: 任意時間、任意水深における代表粒子の質量、 φ : 無次元化粒子質量の分布関数、 m : 粒子の沈降速度 v と粒径 d の関係式、 $v \propto d^m$ の指数、 P : 粒子の沈降速度 v と質量 ω の関係式、 $v \propto \omega^P$ の指数、ただし、 $P = m / (1+m)$, $\bar{v}_0$: $\omega = \omega_0$ なる粒子の沈降速度、

$$g: g(\xi) = \frac{r}{2\xi} \int_0^\xi \frac{f(\xi_1, \xi_2 - \xi)}{\xi_1(\xi_2 - \xi)} \varphi(\xi_1) \varphi(\xi_2 - \xi) d\xi_1 - r \varphi(\xi) \int_0^\xi \frac{f(\xi_1, \xi) \varphi(\xi_1)}{\xi_1} d\xi_1$$

$$\text{ただし、} f(\xi_1, \xi_2) = \left(\xi_1^{\frac{1}{1+m}} + \xi_2^{\frac{1}{1+m}} \right)^2 \cdot \left| \xi_1 - \xi_2 \right|$$

なる、衝突頻度を与える式、

$$r: r = d \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{g \cdot d_0^m}{3\pi\mu\bar{v}_0} \cdot \frac{\rho_c - \rho_w}{\rho_c} \right)^{\frac{1}{1+m}} \times \frac{\bar{v}_0}{\omega_0^{\frac{1}{1+m}}}$$

d : 沈降による衝突付着総合効率、 g : 重力加速度、

μ : 流体の粘性係数、 ρ_w : 流体の密度、 ρ_c : 粒子を構成

している固相分の密度、 $\bar{v}_0$: $d = d_0$ なる粒子の沈降速度、である。

質量平均沈降速度 U_c は、式(3)より次式で得られる。

$$U_c(z,t) = \Xi(z,t) / \psi(z,t) \quad \text{-----(6)}$$

(4), (5)式で示される K_1, K_2 については各々、粒度分布形状、粒子の衝突付着総合効率を巨視的に示すパラメーターである。

K_1, K_2 , 初期条件, 境界条件を与えれば形式的には(1), (2), (4), (5)式により任意時間における濃度分布が得られ、残留濁質量 W_r は H を水深として、

$$W_r = \int_0^H \psi(z,t) dz \quad \text{-----(7)}$$

で求められる。

3. 実験装置と方法

実験に用いた沈降筒は、図-1に示す高さ1m, 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

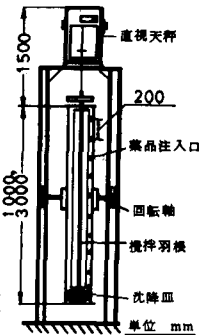


図-1. 実験装置

天秤を連結する白金線は、攪拌軸のパイプ中を通してある。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に、粒状活性炭および0.45μmのガラスフィルターで濾過した。濁質としては市販カオリンASP600(比重2.66, 平均径0.6μm)及び、筑後川河口部底泥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、予め室温と液温の温度差が生じないようにしておく。つぎに、筒を水平にし、所定の攪拌強度($G=100 \text{ sec}^{-1}$)で攪拌を行いつつ注入口より濁質を注入する。攪拌終了後、筒を鉛直にし(この時を沈降開始時刻とする。)以後、所定の時間間隔で側壁に設けた

採水口より採水を行ない、残留濁度分布の測定を行なう。
以上の操作を初濃度を変えて行なう。

4. 結果と考察 (1), (2)式を解析的に解くのは困難であるため、数値積分により解を得た。数値解の結果を整理するため、次の無次元化を行った。

$$\Phi^* = \Phi / \Phi_0, \quad \Psi^* = \Psi / \Psi_0, \quad \eta = Z / H$$

$$T = U_{co} \cdot t / H = \Phi_0 / \Psi_0 \cdot t / H \quad \dots (8)$$

ここに Φ_0 , Ψ_0 , U_{co} は各々 $t=0$ での Φ , Ψ , U_c の値
 H は総水深である。無次元化時間 T の算定には、実測値の U_{co} を用いている。

K_1 , K_2 の決定方法として、①、濃度減少期における W_r と T との勾配(両対数紙上)が、 K_2 によらず K_1 のみの関数となるので、実測値の勾配と比較し K_1 を決定する。②、 K_1 決定後、実測値と合うように K_2 を求める。(K_2 の値は濃度減少期において、 W_r/W_{r0} と T の関係曲線と両対数紙上で、上下方向に平行移動させるのみである。)

図-2に示すように、正規化残留濁度質量の時間変化についての計算値と実測値との合致性は、成長期、濃度減少期ともに良好のようである。図-3、図-4にはASP600の濁度分布の時間変化を、図-5には筑後底泥の濁度分布の時間変化を示している。これらの図から、計算結果と実測値との残留濃度分布の合致性も良好のようである。初濃度の高い場合($C_0=0.2\%$)、下層部において粒子の捕捉(成長)が実験で認められているが、数値計算もその傾向を良く表している。一方、初濃度が低い場合($C_0=0.05\%$)には凝集効果が顕著には現われない通常の沈降現象に近いような濃度分布となっており、計算結果もその傾向を良く表している。詳細にみれば初濃度の高い場合、若干、計算結果の分布に濃度の反転層が認められる(図-3 $T=0.163$, 図-5 $T=0.19$)。なお、反転層が生じた場合の密度流による物質輸送は、本計算式では考慮していない。また、上層部付近の濃度は、実測値の方が計算値よりやや高くなる傾向が認められ、特に、筑後底泥においてはその傾向が強く表れている。このことは、付着効率の悪い軽い微粒子が表層部に残されているためとも考えられる。いずれにしても本研究で行なった範囲内では、 K_1 , K_2 を定数としても残留濃度の算定はある程度可能と考えられる。図-2に示す $K_2 H \Phi_0$ の値が、ASP600, $C_0=0.05\%$ の K_2 の値は、ASP600, $C_0=0.2\%$ の K_2 の値の約2倍となる。 K_2 に及ぼす初濃度の影響については不明な点もあるが、今後の検討課題としたい。さらに、実際の海

域の微粒子について濃度分布の計算手法を検討することも今後の重要課題である。

なお、本研究は総合研究A(代表 中西弘 山口大学教授)の補助を受けたことを記し、謝意を表す。

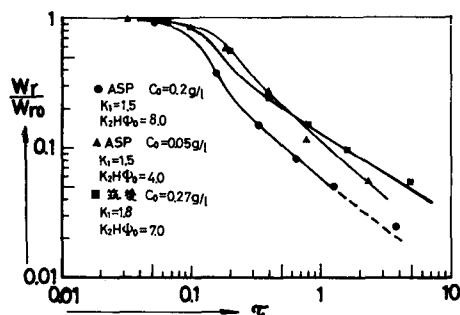


図-2. 正規化残留濁度質量の時間変化

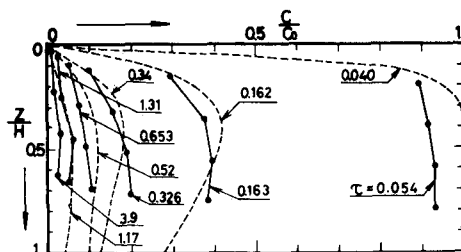


図-3. 残留濃度分布の時間変化 (ASP $C_0=0.2\%$)

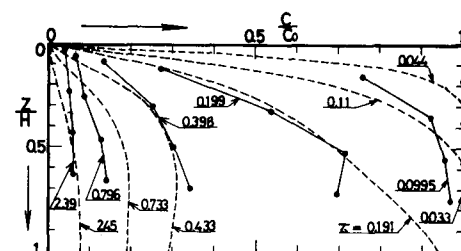


図-4. 残留濃度分布の時間変化 (ASP $C_0=0.05\%$)

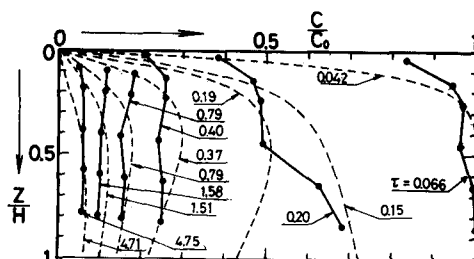


図-5. 残留濃度分布の時間変化 (筑後 $C_0=0.27\%$)

<参考文献> 1) 古賀、栗谷、楠田、島岡; 静水中における微粒子の沈降特性と残留濁度算定手法に関する研究 衛生工学会第19回 衛生工学研究討論会, P43~P48, 1983年