

寒冷地の流域における有機泥の沈降挙動に関する研究

Setting Behavior of Organic Mud in Watershed in Cold Region

北見工業大学 ○学生員 撫養 雄太(Yuta Muya)

北見工業大学 正会員 駒井 克昭(Katsuaki Komai)

広島大学 正会員 中下 慎也(Shinya Nakashita)

1. はじめに

流域における細粒土砂は汚染物質や栄養物質を吸着・輸送するため生態系における物質循環に重要な役割を果たしている。また、陸域から沿岸域への流入時には凝集、沈降が促進され、有機物を多量に含む有機泥の水底への堆積が水域の生態系への内部負荷の長期化などの悪影響を及ぼす要因の一つとなっている。しかし、後背地に森林域や農地、湿原、湖を有する道東地方においては、有機泥に含まれる有機物質は多様で、その凝集、沈降特性は明らかではない。本研究では、流域における有機泥を対象として、粒径毎の沈降速度分布および沈降速度モデルの適用性の比較を行う。また、沈降粒子の顕微鏡観察によって粒度分布データから読み取れる有機泥粒子の沈降挙動に基づいて沈降速度データの考察を行う。

2. 研究手法

(1) 実験試料と沈降実験、および解析手法

沈降実験には2012年7月17日に釧路流域のヨシ群落(Case 1)とハンノキ群落(Case 2)において表層土から深さ10 cmで採取され、冷凍保存しておいた有機泥を用いた。有機微量元素分析装置(Perkin Elmer 製, 2400II)によって測定された各試料のILとC/N比はそれぞれCase1は56.43, 13.72, Case2では40.93, 13.53である。試料は解凍後、純水を用いて500 μmふるいに通したものをビーカーに入れ、2日間静置して得た沈殿物を純水に溶かした。この実験試料をレーザー回折式粒度分布計(島津製作所製, SALD-2100)で静置した測定セル内での粒度分布と各粒径の濃度の経時変化を連続測定することで沈降速度を求めた。既往の研究^{1),2)}では沈降によって生じる粒度分布の変化から有機泥フロックのもつ沈降速度分布を推定できることが示されている。

(2) 沈降速度モデル

フロック構造をフラクタル次元で表現することでフロックの沈降速度や有効密度が定式化されている。西村ら¹⁾は瀬戸内海沿岸域の有機泥を用いた実験によってフロック構造を決める要因としてフロックを構成する有機物の質(IL, C/N比)に依存する沈降速度モデルを定式化している。フロック粒子の平均有効密度 $\Delta\rho$ はフラクタル次元Dに依存するが、ある粒径を境にフロック径 D_f とともに有効密度が減少する。

$$\Delta\rho = 2.83 \cdot e^{1.66D} \times 10^{-3} \text{ (g/cm}^3\text{)} \text{ for } D_f \leq D_{fb} \quad (1)$$

$$\Delta\rho = 2.83 \cdot e^{1.66D} \left(\frac{D_f}{D_{fb}}\right)^{D-3} \times 10^{-3} \text{ (g/cm}^3\text{)} \text{ for } D_f \geq D_{fb} \quad (2)$$

$$D_{fb} = 59.1 \cdot e^{-0.30D} \text{ (}\mu\text{m)} \quad (3)$$

ここに、フラクタル次元は強熱減量(IL)とC/N比(モル比CN_{ratio})によって変化する。

$$D = 3 - 2 \left(\frac{IL}{IL + K} \right) \quad (4)$$

$$K = 0.847 \{CN_{ratio} - 6.625\} \quad (5)$$

このようにして求められた有効密度からフロックの沈降速度 w_f が求められる。

$$w_f = \frac{g}{18\mu} \Delta\rho \cdot D_f^2 \quad (6)$$

式(6)はフラクタル次元とフロックを形成する個々の粒子の粒径 d_0 を用いると次のように表せる。

$$w_f = \frac{g}{18\mu} (\rho_s - \rho_w) \left(\frac{D_f}{d_0}\right)^{D-3} \cdot D_f^2 \quad (7)$$

ここに、IL: 強熱減量, CN_{ratio}: C/N比, $\Delta\rho$: 平均有効密度, D_{fb} : 有効密度の減少開始粒径, D: フラクタル次元, g: 重力加速度, μ : 溶媒の粘性係数, ρ_s : 溶質の密度, ρ_w : 溶媒の密度, d_0 : フロックを形成する個々の粒子の粒径, D_f : フロック径, w_f : 沈降速度である。

(3) 沈降粒子の連続観察

沈降実験で使用したのと同じ測定セルと実験試料を使用して、沈降実験と同様の状況で静置した測定セル内部を連続撮影した。連続観察にはデジタルマイクロスコープ(HIROX 製, KH-8700)を使用し、顕微鏡を水平方向に固定して沈降実験を同じ測定間隔で攪拌直後からt=0 min~122 minの間、撮影を行った。撮影倍率は35倍と100倍であり、画素数は211万画素である。撮影した各時刻の画像は画像解析ソフト(MITANI CORPORATION 製, WinROOF ver.7.4)に取り込み、画像処理を施してから、各時刻の画像内における各粒子の面積あるいは絶対最大長から粒径を算出し、粒度分布の経時変化を考察した。

3. 結果と考察

(1) 平均光強度

Case 1, Case 2の試料を用いてSSを人為的に調製した試料の測定値からレーザー回折式粒度分布計で得られる平均光強度とSSの関係を求めた。各CaseのR²はそれぞれ0.91と0.89であり、良好な関係が得られたことから、時々刻々の平均光強度からSSを推定した。

(2) 沈降速度分布の推定

図-1, 図-2はCase 1, Case 2の沈降速度分布を示している。なお、図中にはストークス則に基づいて求められた理論値(粒子比重を2.65と仮定)と沈降速度モデルによる推定値をあわせて示している。Case 1では沈降速度は粒径が大きいほど沈降速度が理論値から外れている。一方、Case 2では45 μm未満での実験値はモデル値に近い沈降速度を示し、82 μm以上での沈降速度の変化傾向はモデルよりむしろ小粒径のそれに近い。Case 1(図-1)

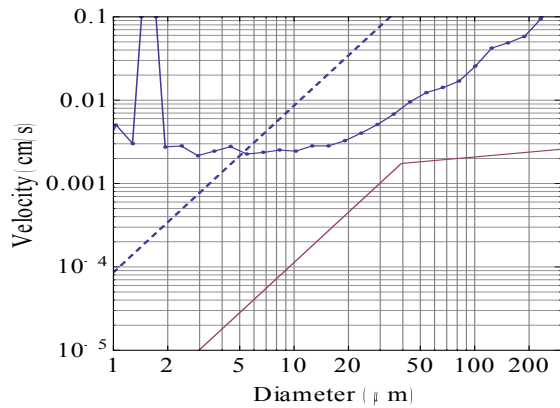


図-1 沈降速度分布の推定結果 (Case 1). 太実線：モデル値、点線：理論値

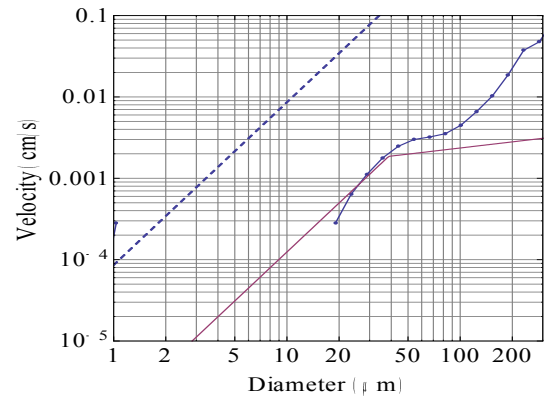


図-2 沈降速度分布の推定結果 (Case 2). 太実線：モデル値、点線：理論値

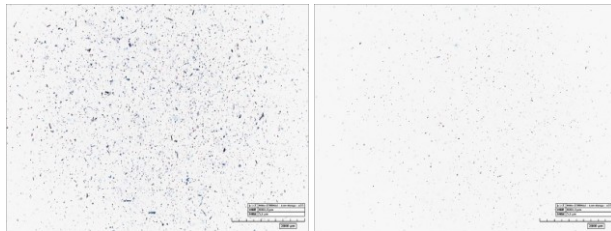


図-3 沈降粒子の画像(35倍, Case 2). 左: $t=0$ min, 右: $t=122$ min

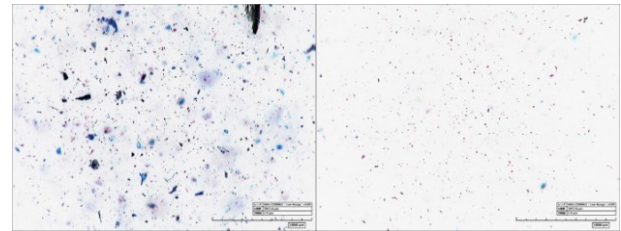


図-4 沈降粒子の画像(100倍, Case 2). 左: $t=0$ min, 右: $t=122$ min

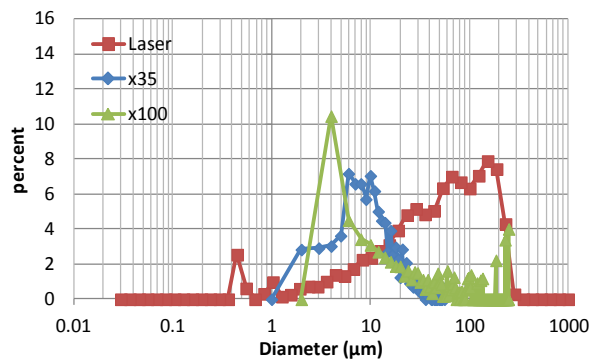


図-5 粒度分布の比較(Case 2, Laser, 35倍, および 100倍, $t=0$ min)

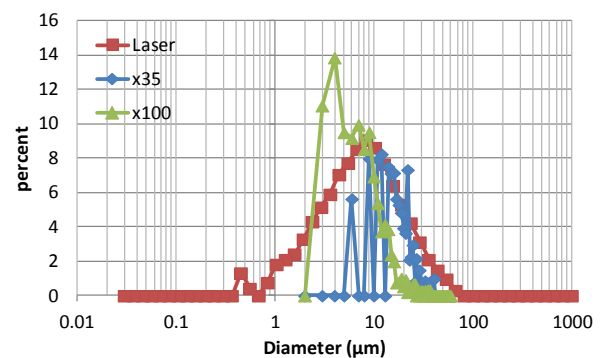


図-6 粒度分布の比較(Case 2, Laser, 35倍, および 100倍, $t=122$ min)

では、大粒径の範囲において低密度なブロックを形成していることが考えられる。Case 2 (図-2)では、大粒径においても沈降速度の変化傾向は小さいことから、密度の変化はわずかで、ブロック構造に変化が少なかったことが推測される。

(3) 沈降粒子の挙動観察

図-3、図-4はCase 2における沈降粒子の顕微鏡画像を示す。 $t=0$ minに比べて、 $t=122$ minでは粒子の数が減少している様子がわかる。画像解析結果より絶対最大長 $249\mu\text{m}$ のものが最大で、画像を見ると細長い形状のものが多くことが分かった。図-5、図-6は沈降時におけるレーザー回折式粒度分布計(図中、Laser)と顕微鏡観察の画像解析(35倍、100倍)による粒度分布の結果を示す。大粒径の粒子が多い $t=0$ min(図-5)では焦点が合わない粒子の存在が画像解析の問題と考えられた。一方、全体

的に低濃度で小粒径の粒子が多い $t=122$ min(図-6)においては粒子の沈降によって小さい粒子の割合が増加していることが顕微鏡観察によって検出され、同画素数の35倍のほうで粒度分布はレーザー回折式粒度分布計に近い結果が得られた。

参考文献

- 1) 西村尚哉, TOUCH NARONG, 駒井克昭, 日比野忠史: 有機性状を考慮した有機懸濁物質の沈降速度のモデル化, 海岸工学論文集, 第56巻, pp.1151-1155, 2009.
- 2) 小林豪志, 中下慎也, 駒井克昭, 日比野忠史: 有機懸濁物質の沈降過程に及ぼす塩分の影響, 海岸工学論文集, 第57巻, pp.1156-1160, 2010.