

凝集状態にあるモンモリロナイト懸濁液の流動特性に対する ビンガム流動の適合性

Applicability of Bingham Model to the Coagulated-Montmorillonite Suspension

○辻本 陽子*

Tsujimoto Yoko

深澤 智典*

Fukasawa Tomonori

足立 泰久*

Adachi Yasuhisa

1. 背景と目的

粘土懸濁液の特異な流動特性は様々な利用がなされているが、土壌溶液の目詰まりや侵食機構とも関係している。小林ら^[1]はマイクロな粒子の相互作用がマクロなレオロジー特性にどのような影響を及ぼすのかを調べる目的で、螺旋状毛細管型粘度計を開発し、懸濁液内に発生する応力をできるだけ小さくした条件で検討を行った。その結果、非常に希薄な懸濁液であっても分散状態および凝集状態のいずれの場合でも、低圧力勾配下では非ニュートン性が顕在化することを確認し、さらにイオン強度1.0 Mの場合、流動が途中で止まる(目詰まり)現象を見出した。後者は懸濁液の降伏値と関係付けることができると考えられるが、その解析は十分になされていない。そこで、本研究では高イオン強度で凝集したモンモリロナイト懸濁液の流動特性に対して、ビンガム流動を仮定した理論式による解析を行い、凝集懸濁液の流動特性と降伏値との関係について検討を行う。

2. 実験

2.1. 螺旋状毛細管型粘度計

実験には、螺旋状毛細管型粘度計(Fig.1)を使用した。この装置は、管路長を長くすることで低圧力勾配下での測定ができ、さらに管径が太いために凝集体を含んだ懸濁液の流動測定が可能である。

ビンガム流動を仮定した場合、管路内の流量 q は、

$$q = \frac{\pi D^3}{8\eta} \left(\frac{D \rho g h(t)}{16 L} - \frac{\tau_y}{3} \right) \quad (1)$$

と導かれる(η :塑性粘度, τ_y :降伏値)。式(1)と流量保存の式

$$q = -\frac{A}{2} \frac{dh}{dt} \quad (2)$$

を連立させることによって、水位差 $h(t)$ の微分方程式が得られ、これを $t=0$ で $h=h_0$ として解くと、

$$\frac{h(t)}{h_0} = \left(1 + \frac{16\tau_y L}{3\rho g D h_0} \right) \exp\left(-\frac{\pi\rho g D^4}{64 A L \eta} t \right) - \frac{16\tau_y L}{3\rho g D h_0} \quad (3)$$

(g :重力加速度, D :管径, A :メスシリンダー断面積(6.25 cm²), L :管路長(100 cm), ρ :密度)

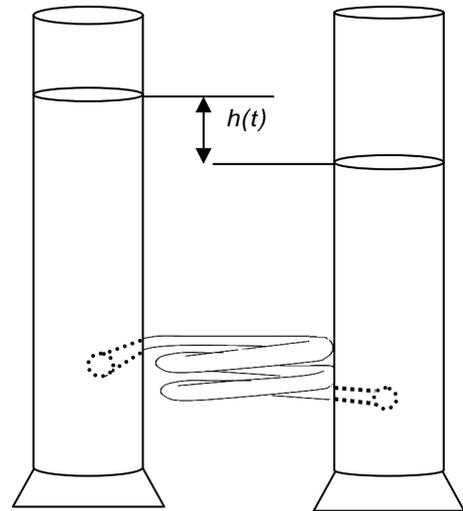


Fig.1 螺旋状毛細管型粘度計模式

The illustration of
Spiral-capillary-viscometer

*筑波大学大学院生命環境科学研究科. Graduate School of Life and Environmental Sciences, Univ. of Tsukuba

キーワード: 凝集, モンモリロナイト懸濁液, ビンガム流動

となる。式(3)に基づいて実測値をフィッティングさせることにより、塑性粘度や降伏値を決定することができる。

2.2. 試料・実験方法

試料には高純度のモンモリロナイトとして市販されているクニピア F(クニミネ工業)を使用した。粘土はあらかじめ飽和 NaCl 溶液に漬け、粘土粒子表面の対イオンを Na⁺イオンで飽和させ、蒸留水で透析した。透析したモンモリロナイトに蒸留水を加え、体積分率の異なる懸濁液を調整し、さらに同量の NaCl 溶液(2.0 M)を混合し、実験に供した。

流動実験においては、初期水位差 $h_0=1.28$ cm として流動を開始させた後、水位差を時間の関数として測定した。

3. 結果と考察

Fig.2 に各体積分率における水位差の経時変化を示した。また、実線は式(3)に基づいた解析結果であり、降伏値の影響から、屈曲点以降の水位差は一定となり、目詰まりのような現象を示している。一方で、実測値でも屈曲点の存在が確認されたことから、この点で凝集体が目詰まりしていると考えられる。しかし、本実験の懸濁液の流動では完全には止まらないこと、さらに体積分率が低くなるにつれ、屈曲点以降の水位差の変化が顕著であることが確認された。目視による観察において、凝集体が静止しているにも関わらず、水位差が変化していることから、凝集体が目詰まりした後も、間隙を溶媒が流動していることが考えられる。

体積分率を 1.02×10^{-3} に固定し、管径を変えた測定結果を Fig.3 に示した。管径が太くなるにつれ、屈曲点以降の水位差の変化が大きくなることが確認された。Fig.2 の結果と同様に、屈曲点以降の流動は凝集体の間隙を流れる溶媒によるものと考えられる。

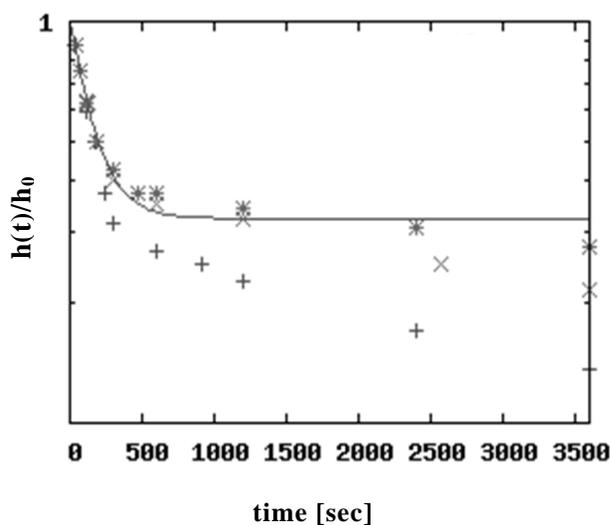


Fig.2 各体積分率における
水位差の経時変化 ($D=0.24$ cm)

Change in characteristic of water level with time at each volume fraction

+ : 5.60×10^{-4} , × : 7.80×10^{-4} , * : 1.02×10^{-3} ,
— : ビンガム流体を仮定した理論値

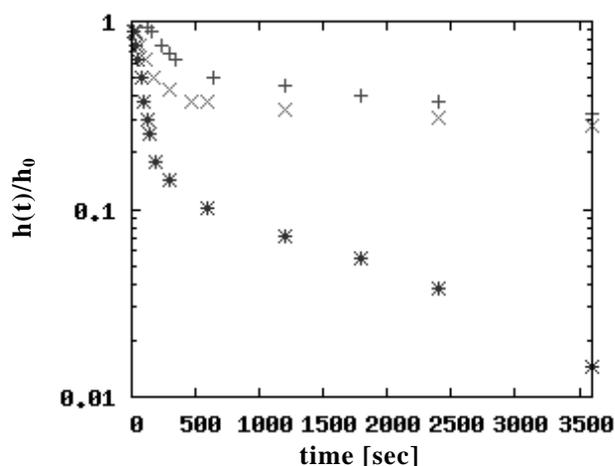


Fig.3 水位差の経時変化 ($\phi=1.02 \times 10^{-3}$)

Change in characteristic of water level with time
+ : $D=0.18$ cm, × : $D=0.24$ cm, * : $D=0.34$ cm

[1]小林俊也, 足立泰久 (2005)「螺旋状毛細管型粘度計の開発とそれを用いたモンモリロナイト懸濁液の流動特性」農土論集, 238, 79-84