

螺旋型粘度計の開発とそれを用いた粘土懸濁液の流動特性
Rheological properties of dilute clay suspension analyzed using home-made spiral-viscometer

小林俊也*
Kobayashi Shunya

足立泰久**
Adachi Yasuhisa

坂入信之***
Sakairi Nobuyuki

1. はじめに

粘土懸濁液は特異な流動特性を示すため様々な分野で利用されている。特異な流動特性の理由は粘土の大きな比表面積、粒子形状、およびそれらによって出現する粘土粒子間の表面化学的な作用に帰着される。しかし、個々の作用力は非常に弱く、通常利用に供せられる濃厚な状態では様々な現象が複雑に絡み合っており、その内部機構の解析は容易ではない。解析を推し進めるには個々の現象が単純に現れ、また物理化学的な条件を適格に制御できる希薄な懸濁液を用い、懸濁液内に発生する応力をできるだけ小さくして行うことが望まれる。本研究ではこれらを満たす方法として、低圧力勾配下での実験が可能となる螺旋型粘度計を開発し、希薄な状態における pH と塩濃度をパラメーターとする測定値から、粘土粒子間の表面化学的相互作用と流動特性との関係を解析する。

2. 理論

螺旋型粘度計は2つのメスリンダーを螺旋状の毛細管でつなぎ、懸濁液の水位差 $h(t)$ の経時変化を測定する。微細管内の流動が Poiseuille 流れであることを仮定すれば、流量 q は

$$q = \frac{C_1}{L \mu} h(t) \quad C_1 \text{ は定数} \quad L \text{ は毛細管の長さ} \quad (1)$$

一方、流量の保存則より q と dh の間には

$$q = -C_2 \frac{dh}{dt} \quad C_2 \text{ は定数} \quad (2)$$

が成り立つ。これを h について解くと、

$$\ln \left[\frac{h(t)}{h_0} \right] = -C_3 \left[\frac{1}{\mu} \right] t \quad C_3 \text{ は定数} \quad (3)$$

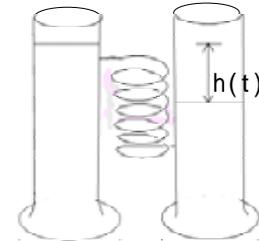


Fig.1 spiral-viscometer

を得る。片対数グラフ上にプロットした $h(t) \sim t$ の傾きの逆数から流体の粘度 μ を得る。L を大きくし、 $h(t)$ を小さくすることにより市販されているオストワルド粘度計の 1/10000 の圧力勾配下での実験が可能となった。

3. 実験

まず、1M の NaCl の粘度と蒸留水の粘度を螺旋型粘度計より求めた。データの再現性、及び精度を、相対粘度を化学便覧の値と比較することで確認した。実験に際しては、クニミネ工業株式会

* 筑波大学環境科学研究科 Graduate School of Environmental Science, University of Tsukuba

** 筑波大学農林工学系 Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba

*** 筑波大学理工学研究科 Graduate School of Science and Engineering, University of Tsukuba

キーワード：螺旋型粘度計、低圧力勾配、粘土懸濁液、モンモリロナイト、表面端面結合

社から購入したクニピア F を用い、イオン交換、透析を行い、不純物を除去した純粋な Na モンモリロナイト分散系を用いた。流動実験においてはモンモリロナイト懸濁液の体積分率 を一定にして、塩濃度と pH を変化させ、 $h(t)$ の経時変化を測定した。実験条件による粘度の系統的な変化から、流動特性の解析を行った。

4 . 結果と考察

Fig.2 は蒸留水及び NaCl 溶液の結果である。低圧力勾配においてもグラフの傾きが一定であることからニュートン流体であることが確認される。またグラフから求められる NaCl 溶液の相対粘度は 1.0982 となるが、この値は文献値 1.0973 に小数第二位まで一致した。

Fig.3-5 は粘土懸濁液の測定結果である。塩濃度が $10^{-4}, 10^{-3} M$ では pH に対する変化は見られないが、塩濃度が $10^{-2} M$ では pH が低いとき粘度が著しく増加している。またいずれの場合においても低圧力勾配においてグラフの傾きは徐々にゆるくなっており、非ニュートン性が示された。固体体積分率 $=0.0005$ の希薄な状態での非ニュートン性はこの実験によって初めて検出されたものである。モンモリロナイトは低 pH で静電的な面端結合を生じやすいことが知られているが、塩濃度によって出現の仕方の pH 依存性が大きく異なることが示されている。

Fig.6 は低 pH で塩濃度を变化させた測定結果である。ある塩濃度を超えると面端結合によって凝集状態になること、また、その状態は塩濃度をさらに増加させても変化しないことが示されており興味深い。

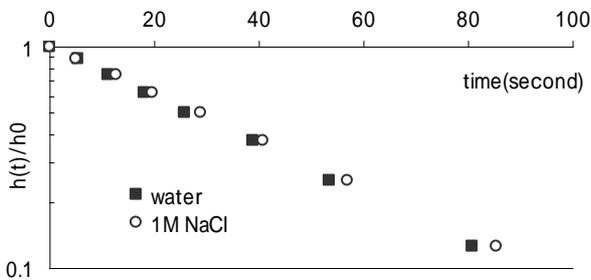


Fig.2 $h(t)/h_0$ vs time $h_0=1.28cm$
water and 1M NaCl

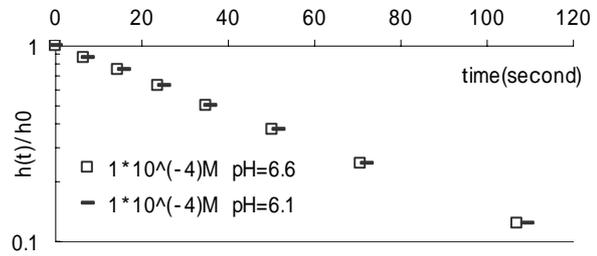


Fig.3 $h(t)/h_0$ vs time $h_0=1.28cm$
 $=0.5 \cdot 10^{-3}, 10^{-4} M$

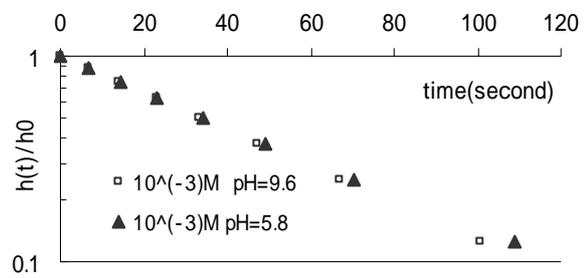


Fig.4 $h(t)/h_0$ vs time $h_0=1.28cm$
 $=0.5 \cdot 10^{-3}, 10^{-3} M$

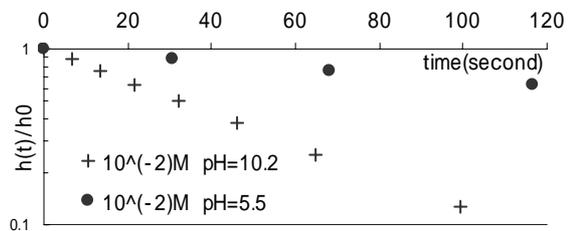


Fig.5 $h(t)/h_0$ vs time $h_0=1.28cm$
 $=0.5 \cdot 10^{-3}, 10^{-2} M$

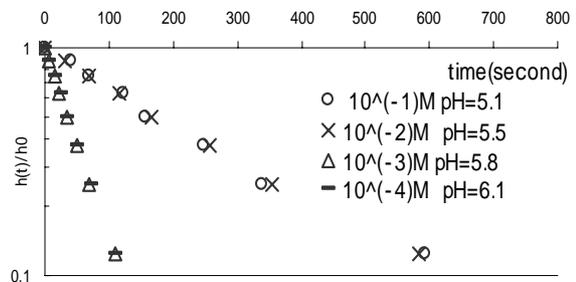


Fig.6 $h(t)/h_0$ vs time $h_0=1.28cm$
 $=0.5 \cdot 10^{-3}, low-pH$