

高濃度浮遊砂含有時の流体の粘度に関する一考察

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 鈴木 愛美

名古屋大学大学院工学研究科 正会員 中村 友昭

名古屋大学大学院工学研究科 フェロー 水谷 法美

1. はじめに：日本では、多くの地震が発生しており、それに伴う津波による災害も数多く報告されている。津波による被害として、航路埋没や取水口の閉塞、洗掘など土砂移動に関するものも確認されている。しかし、津波による土砂移動に関する研究は少なく、津波によって発生する浮遊砂の特性とそれが津波の挙動に与える影響については未解明な部分が多い。本研究では、浮遊砂を含む津波の挙動を明らかにするための基礎的な研究として水と粘土の混合液を用いた粘度測定を行い、その特性について考究することを目的とする。

2. 粘度のモデル化：浮遊砂を高濃度に含む流れは、非ニュートン流体として取り扱われ、通常、以下に示す粘度の粒子濃度依存性に対する実験式(1.1)と、粘度のせん断応力依存性に対して提案された式(1.2)でモデル化される（粉体工学会，2010）。

$$\mu = \mu_f \exp\left(1 - \frac{\phi}{k}\right)^{-2} \quad (1.1)$$

$$\frac{\mu - \mu_H}{\mu_L - \mu_H} = \left[1 + \left(\frac{\tau}{\tau_c}\right)^n\right]^{-1} \quad (1.2)$$

ここで、 μ は懸濁液の粘度、 μ_f は媒体となる水の粘度、 ϕ は粒子体積分率、 k は定数、 μ_H は高せん断ニュートン粘度、 μ_L は低せん断ニュートン粘度、 τ はせん断応力、 τ_c は降伏応力である。ただし、Dougherty-Krieger (1959) のモデルでは $n=1$ である。本研究では、式(1.1)と式(1.2)のパラメータの同定を目指して、水と粘土の混合液の粘度を測定した。

3. 粘度測定の概要：粘度の計測には TVB-10 形粘度計（東機産業製）と低温循環恒温槽ビスコメイト VM-150F（東機産業製）を用いた。測定液には、溶媒に水、溶質に粘土（カオリン）を用いて、体積濃度を 10% にした溶液を 20 cc 用意した。溶液の温度は、低温循環恒温槽を用いて 20℃ の一定とした。粘度計の回転速度は、6 rpm, 12 rpm, 30 rpm, 60 rpm とし、各回転速度において 3 回ずつ、5 秒間隔で計測を行った。

4. 測定結果及び考察：図-1 に 30 rpm, 60 rpm での粘度 μ の時間変化を示す。ただし、粘度 μ が安定した時間まで計測を行った。図-1 より、両ケースにおいて時間が経つと粘度 μ は 1 mPa・s に収束していくことがわかる。これは、時間の経過とともに、粘土が沈降し、溶液の粘度が水の粘度 (1.00 mPa・s) に近づいたためと考えられる。

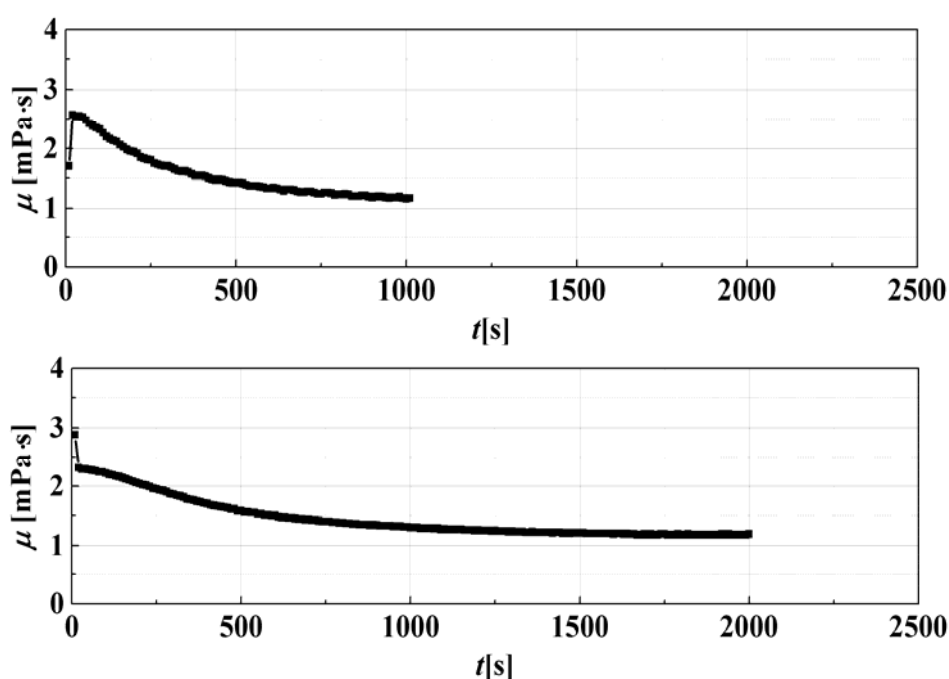


図-1 粘度 μ の時間変化（上段：30 rpm，下段：60 rpm）

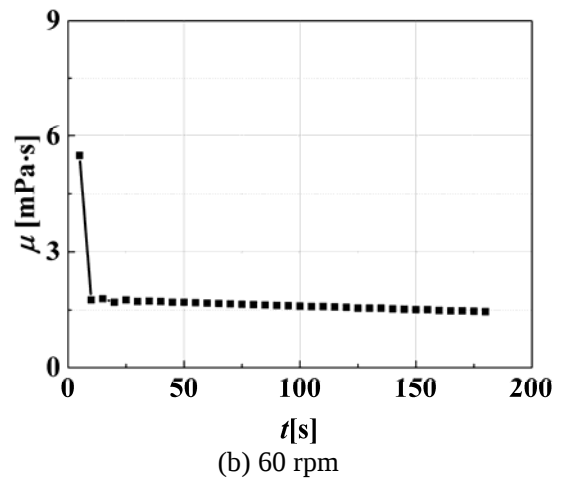
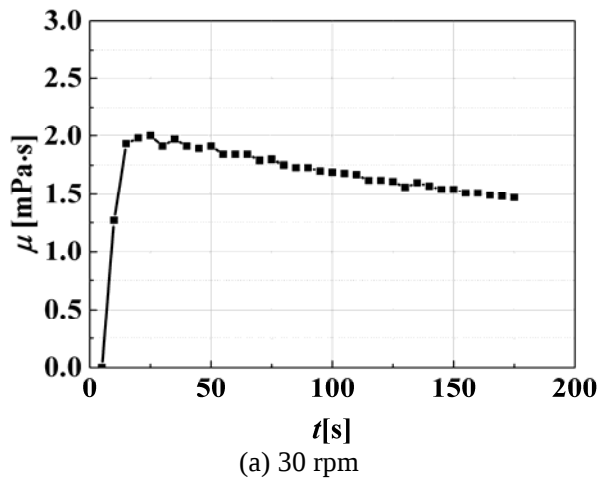


図-2 粘度 μ の時間変化

そこで、粘土の沈降の影響を考慮して、計測時間を 180 秒とした測定を行った。図-2 に回転速度が 30 rpm, 60 rpm での粘度 μ の時間変化を示す。図-2 (a)より、回転速度が 30 rpm のとき、粘度 μ は測定開始直後からおよそ 10 秒間かけて上昇した後、緩やかに下降していることがわかる。回転速度が 6 rpm, 12 rpm のケースにおいても同様の傾向が得られた。しかし、図-2 (b)に示す回転速度が 60 rpm のときは、測定開始 5 秒後に最大粘度が観察された後、粘度 μ は大きく低下するという傾向が得られた。これは、測定開始直後は測定前に行ったかき混ぜにより粘度 μ の数値にばらつきがあったためと考えられる。そこで、30 rpm, 12 rpm, 6 rpm では増加開始 5~10 s でのプロットを、60

rpm では最初のプロットを異常値と判断し、それを除いた最大粘度付近の 15 秒平均を行った。表-1 に粘度 μ 及びその平均値 μ_{Ave} 、図-3 に粘度の平均値 μ_{Ave} を元にした粘度曲線を示す。ただし、 μ_{Ave} は 3 回の測定値を平均した値である。表-1 と図-3 より、回転速度が大きくなるほど粘度 μ は小さくなることがわかる。また、回転速度が 6 rpm と 12 rpm の粘度の平均値 μ_{Ave} は他の回転速度に比べて誤差が大きいことがわかる。これは回転速度が小さくなるほど、測定開始直後の粘度 μ のばらつきが大きかったためであると考えられる。今回の測定の範囲内では、粘度 μ が一定となる第 1 ニュートン領域や第 2 ニュートン領域での μ_L や μ_H を測定することができなかったものの、すべての測定結果が水の粘度(1.00 mPa·s)に比べて大きな値であることから、浮遊砂を含む津波の検討を行う際には、粘度の増加の影響を考慮することが不可欠であると言える。

表-1 粘度 μ 及び平均値 μ_{Ave}

回転速度[rpm]	粘度 μ			平均粘度 μ_{Ave}
	1 回目	2 回目	3 回目	
6	2.63	2.50	2.40	2.51
12	2.17	2.12	2.40	2.23
30	1.89	1.95	1.96	1.93
60	1.71	1.79	1.75	1.75

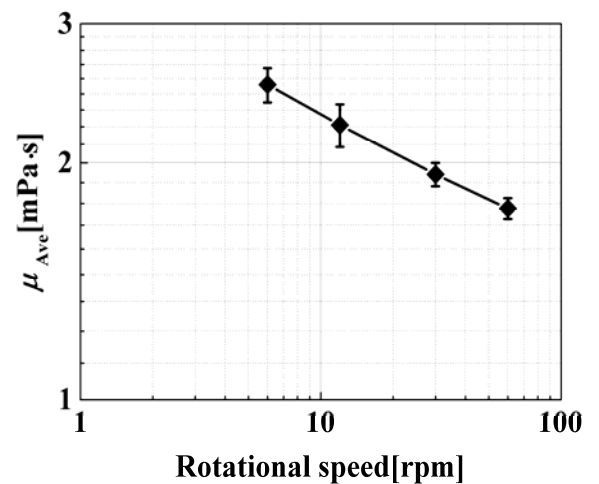


図-3 粘度曲線

5. おわりに： 今後は、回転速度を小さくした場合や体積分率 ϕ を大きくした場合の粘度測定を行い、浮遊砂を含む水の粘度についてさらなる検討を行っていく所存である。

謝辞： 本研究は、科学研究費補助金若手研究(B) (代表者：中村友昭；課題番号：26820200) の補助を受けたことを付記し、謝意を表する。

参考文献： [1] 粉体工学会(2010)：液相中の粒子分散・凝集と分離操作，日刊工業新聞社，pp. 115-116. [2] Krieger, I. M. and T. J. Dougherty (1959): A mechanism for non-Newtonian flow in suspensions of rigid spheres, Trans. Soc. Rheology, Vol. 3, pp. 137-152.