

固体粒子を含む粘性流体の周期的な変形に対するレオロジーの測定

Rheology measurements of viscous fluid with solid suspensions under oscillatory shear

隅田 育郎 [1]; Manga Michael[2]
Ikuro Sumita[1]; Michael Manga[2]

[1] 金大・理・地球; [2] パークレー
[1] Earth Sci., Kanazawa Univ.; [2] UC Berkeley

<http://hakusan.s.kanazawa-u.ac.jp/~sumita/>

固体粒子を含む粘性流体の例は自然界に多くある。例えば、結晶を含むマグマ、泥、水に飽和した砂などである。粘性流体に固体粒子が含まれると、実効的な粘性率が大きくなるばかりでなく、降伏応力、非ニュートン粘性、粘弾性など、複雑なレオロジーが現れてくる。この系の研究はこれまで主として2つの観点からなされてきた。1つは化学工学などの分野においてであり、主として、粒のサイズが小さい(粒子ペクレ数が小さい)場合である。もう一つは、土壌力学の分野で、主として液状化の条件を求めるために、砂と水の系で多くの実験がなされてきた。しかし、後者の系で、粘性率や粒子サイズを変えた系統的な測定は、不十分である。本発表では、レオメータを用い、粒子の体積分率、流体の粘性率、そして粒径を変えたときのレオロジーの測定結果を示す。

測定は、HAAKE レオスコープで、コーン・プレート型のスピンドルを用いて行った。用いた粒子は、粒径が8及び40ミクロンのポリスチレンビーズで、粘性流体としてはシリコンオイルを用いた。このサンプルに対して、応力振幅制御の正弦的な変形を行い、歪と応力に対する位相差を測定した。変形のパラメータは、応力の振幅とその周波数である。周波数は、0.01 から 10Hz の間で行った。

一定の周波数で、小振幅から大振幅にかけて、段階的に振幅を大きくさせていき、貯蔵剛性率 G' 、損失剛性率 G'' を測定した。その結果、振幅が大きくなるにつれて、以下の3つのレジームが存在することが分かった。(I) 振幅の大きさに依存しない線形粘弾性領域、(II) 振幅が大きくなるにつれて柔らかくなる shear thinning の領域、(III) 振幅が大きくなるにつれて硬くなる shear thickening の領域、である。この結果は、Hymann et al. (2002) などの結果と整合的である。また、応力振幅を上げてから下げるといふ、ループ測定をすると、(I) の領域では可逆であるのに対し、(II)、(III) の領域では G' 、 G'' が小さくなるという不可逆性が見られた。(I)-(II)、及び (II)-(III) を区別する閾値は、応力値でなく、歪値で良く定義され、(I)-(II)、及び (II)-(III) の間を遷移する歪をそれぞれ、 g_1 、 g_2 と定義する。測定パラメータを変えた結果、 g_1 、 g_2 は振動させる周波数と間隙流体の粘性率には依存しなかった。一方、体積分率を 0.2 から 0.6 へと増やすと、 g_1 は 1 から 0.1 のオーダーへと、そして g_2 は 0.001 から 0.0001 のオーダーへと減少した。以上のことから、 g_1 、 g_2 は粒同士の間隔が関係していることが推察される。定性的には、 g_1 は粒同士の間隔の滑りが開始するような臨界歪、 g_2 は粒同士の間隔の衝突が開始する臨界歪といえよう。実際、 g_2 の値は、粒の間隔を粒径でスケールした歪と同程度のオーダーであることが分かった。

本実験で用いた周波数領域は地震波の特徴的な周波数領域と同程度であり、液状化現象の理解の一助になると考えられる。即ち、 g_1 が液状化が起きる臨界歪、 g_2 がダイラタンシーが起きる臨界歪と対応付けられる。また、本結果は、臨界歪に達することができれば、水より粘性率の高いマグマだまりでの液状化の可能性を示唆する。

Hymann et al., Investigation of the solid-liquid transition of highly concentrated suspensions in oscillatory amplitude sweeps, J.Rheol., 46, 93-112, 2002.