

振動下における高濃度の微粒子懸濁液の挙動について

On the Behavior of Dense Suspension under Vibration

○小林幹佳*, 杉本卓也*, 佐藤駿介**, 石橋諒一**

○ Motoyoshi KOBAYASHI*, Takuya SUGIMOTO*,
Shunsuke SATO, Ryouichi ISHIBASHI**

1. はじめに

土粒子やセメントのような乾燥状態にある微細粒子の粉に水を加えてできる混合系を考える。混合系の状態は、含水量の増加や分散剤の添加にともない、粉状からボロボロとした半固体状や粒状、固体状、塑性体状、さらに液体状へと大きく変化する。このような微粒子と液体の混合系の性質を理解し制御することは、土壌やコンクリート、食品など、様々な分野で重要となる。

微粒子と水の混合系の状態は、粘性土やコンクリートを扱う分野では、コンシステンシー試験と呼ばれる方法で評価される。そこでは、ペーストの入った容器を繰り返し落下させて振動を与えたり、モルタルに振動を与えて流動させたりする方法が利用される。また、レオロジーの分野では、固体状か液体状かを判定する際には、試料に対して周期的な剪断変形を与える動的粘弾性測定が行われる。試料が固体的であるか液体的であるかは、粒子濃度に加えて、振動の周波数や振幅に依存することが知られている。

最近、我々は、固体状と液体状の境界に近い、液体量の少ない微粒子と水の懸濁系の振る舞いを振動条件下において観察していたところ、懸濁液状の混合系が容器壁面に沿って上昇したり、振動の強さに応じて液体状から固体状に転移したりする現象を見出した。本発表では微粒子と水の混合系が示す興味深い挙動を紹介する。

2. 実験

2.1 材料

微粒子として球状のシリカ粒子を採用した。粉末状のシリカ粒子をポリエチレン容器に量りとり、脱イオン水を加えて自転公転ミキサーで混合し、シリカ微粒子と水の混合系を調製した。実験では、様々な含水量と粒子径において混合系を調製した。なお、混合系のpHは6付近であった。このpHでは、水中のシリカ粒子の表面は負に帯電し、粒子間には

* 筑波大学生命環境系、** 筑波大学理工情報生命学術院/ キーワード：分散系、固体、液体、サスペンション、レオロジー

電気二重層斥力が作用するため、系は分散状態にあると推定される。

2.2 混合系の挙動観察とレオロジー

調製した混合系を振動下におき、混合系の挙動を観察した。粒子の径と濃度を変えて用意した混合系の挙動観察から、振動下での状態を分類した。さらに、いくつかの条件において、懸濁液状であった混合系の粘度を剪断速度の関数として測定した。

3. 実験結果

70 wt.%付近の固体質量分率を持つシリカ粒子と水の混合系は、静止状態では流動性のある懸濁液状であった。この懸濁液にある程度の振動を与えると、懸濁液が容器壁面を鉛直方向に登る様子が確認された(図1) [1]。振動を与えている間、混合懸濁液は上昇を続け、懸濁液全体が容器底面から離れた状態が維持されるまでになった。しかし、一旦、振動を停止すると、懸濁液は重力に沿って流れ落ちた。振動の加速度を大きくすると、懸濁液は固体状の塊になり、容器内を跳ね回るような様子を示した。高速振動下で固体状になった塊は、振動を停止するとすぐに融けるように液状化する場合と塊の状態を維持する場合があった。固体状に維持された塊は、比較的弱い振動を与えることで、速やかに流動化した。

粘度測定から、壁に登る懸濁液は、低剪断速度では剪断速度とともに粘度が減少するシェアシンニングを示し、さらに剪断速度を上げると、ある臨界剪断速度を超えた領域で粘度が上昇するシェアシッキングを示すことがわかった。シェアシッキングが発生する時、粒子を介したフォースチェインネットワークが懸濁液全体に発達することが指摘されている。そのため、登る懸濁液や固体状の塊の発現には、振動下でのフォースチェインネットワークの形成と消滅が関与していると考えられる。



図1 静止状態で液状である懸濁液(左)が振動下で壁面に沿って登る様子(中, 右) [1].

4. おわりに

高濃度のシリカ微粒子の懸濁液が、振動により、壁に登ったり固体状の塊になったりする挙動を示すことがわかった。今後、現象の普遍性を確認するとともに、微視力学的なメカニズムの解明と挙動を再現するモデルの構築を進める必要がある。

謝辞：本研究は科研費(19H03070)による支援を受けた。引用文献：[1] Kobayashi, M. *et al.*, *Liquids*, 3, 40, 2023.