

低真空条件下でのダイラタント流体による衝撃吸収率の測定 ～将来のスペースデブリ回収を目指して～

1250169 柳澤 浩子 (宇宙地球探査システム研究室)
(指導教員 山本 真行 教授)

1. 背景と目的

スペースデブリとは、地球軌道上に存在するが運用されていない不要な人工物のことである。現在地球軌道上のスペースデブリは増加し続けており、今後の宇宙開発の大きな妨げになると問題視されている。根本的な解決にはスペースデブリの除去が求められるが、未だに有効な手法は確立されていない。

そこで、スペースデブリの回収の際、軌道上でランデブーしたデブリと接触時の衝撃吸収素材として、せん断速度とともに粘度が増加するというダイラタンシーを示すダイラタント流体を使用する案を考えた。ダイラタント流体が低圧環境下に置かれた場合に衝撃吸収能力がどのように変化するかを調査した先行研究が存在しないことから、研究内容を決定した。

本研究の目的は、先述した案が実現可能であるかの検証として、ダイラタント流体の衝撃吸収能力が周囲の環境圧力の変化でどう変わるのか、および、使用するダイラタント流体の最適な配合を調査することである。

2. 実験方法

本研究では、真空チェンバー内で圧力センサーの上にダイラタント流体を置き、その上からエアシリンダを押すことで圧力計測値を取得し、力積を計算することで実験を行った。実験の模式図を図1に示す。

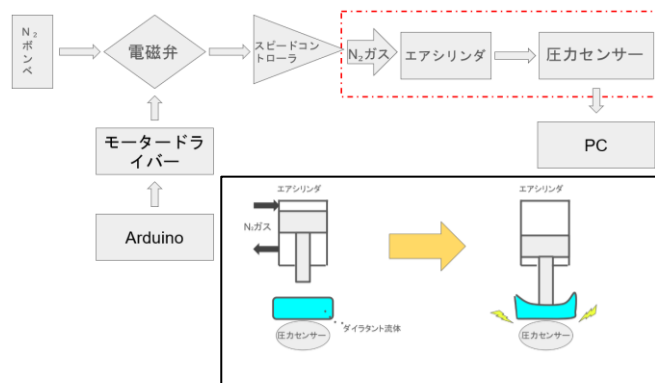


図1 実験概要図(上)と破線内部の詳細図(下)

真空チェンバー内で液体を保持したまま減圧するため、飽和蒸気圧が低い溶媒としてポリエチレングリコール(PEG)を使用し、空気の混入を避けるため脱気装置で脱気して袋に詰めた。本研究では、非極性溶質のシリカゲルを用い、粒径 20-30 μm (細粒)と 45-75 μm (粗粒)の2種類を採用した。

まず、①水と片栗粉で作製したダイラタント流体でダイラタント流体の一般的な反応を確かめる、②PEGとそのダイラタント流体が安全に真空引きできるか確かめる、③液量の影響を確かめる、という予備実験を行った。

次に、予備実験から得られた最適配合のダイラタント流体を用い、常圧、30000 Pa、10000 Pa、3000 Pa、1000 Pa の環境圧力条件で測定を行った。

3. 実験結果

使用した各粒径のシリカゲルに対し最も衝撃が吸収されたのは、細粒では33%、粗粒では5%のサンプルとなった。これらのダイラタント流体と、PEGのみの3種類のサンプルで真空実験を行った結果を図2に示す。

ダイラタント流体でない PEG のみのサンプルでは環境圧力が低くなるほど力積が小さくなり、ダイラタント流体はある圧力までは同様の結果となるが、さらに低圧になると力積が大きくなる傾向がわかる。粗粒では 10000 Pa までは PEG のみと変わらず、ダイラタンシーを示していない一方、細粒では、1000 Pa を除いて PEG のみよりも力積が小さくなっており、3000 Pa 以上の範囲でダイラタント流体として機能している。

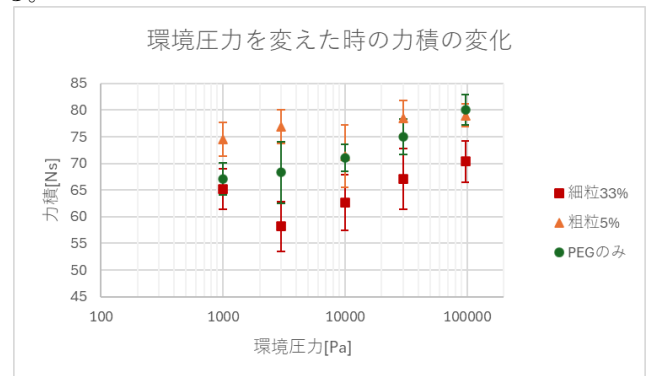


図2 3種類のサンプルにおける力積の平均値の比較

4. 考察と結果

先行研究では、粒径が大きい溶質はダイラタント流体に不適合で衝撃吸収能力が低くなるとの報告があり[1]、粗粒のサンプルの場合は 10000 Pa まで PEG のみのサンプルと変わらない結果になったと考えられる。細粒のサンプルの結果からも、小さい粒径がダイラタント流体の溶質として適切といえる。

さらに、細粒で 33% のサンプルでは環境圧力 3000 Pa までは PEG のみのサンプルより衝撃吸収率が平均 12.38% 高く、低圧環境下のダイラタント流体の衝撃吸収素材としての優位性を見出すことができる。環境圧力にかかわらず、ダイラタント流体自体の組成に衝撃吸収特性が左右されるため、ダイラタント流体を低圧下で使用したい場合、常圧で最適な組成を発見することが重要と考えられる。

また、混合液の衝撃吸収能力が環境圧力を減圧する途中で低下する原因は、減圧するたびに生じる気泡の影響と推測できる。スペースデブリが存在する環境気圧まで減圧し実験をするためには、業務用の脱気装置、粒子の乾燥機といった機材などによる対策が必須となるだろう。

5. 結論

ダイラタント流体の衝撃吸収能力は環境圧力が下がると向上し、液体のみの場合より衝撃吸収率が平均 12.38% 優れていること、および、今回実験したシリカゲルでは、細粒では 33% が最適で、溶質の粒径が小さくなるほどダイラタント流体はダイラタンシーを示すようになることと結論付ける。ダイラタント流体はスペースデブリ回収のクッション材として活用できる可能性はあるが、現実的な真空度で確認するには、気泡の課題の解決が求められる。

参考文献

[1] A. Antosik, M. Szafran, M. Głuszek and R. Żurowski, Effect of SiO₂ Particle Size and Length of Poly(Propylene Glycol) Chain on Rheological Properties of Shear Thickening Fluids, Archives of Metallurgy and Materials, 61, 1165-1168, 2016.