

回転させた粒状斜面の履歴依存変形の実験モデル化に成功 ～小惑星表面形状変形の議論のキーとなることを期待～

【本研究のポイント】

- ・ 独自に開発した独創的な装置により、堆積した粒状物質の回転による変形を実験的に測定して、単純な力の平衡モデルにより説明した。
- ・ 変形のヒステリシス（履歴依存性^{注1)}）を観察した。
- ・ 粒状摩擦、遠心力及び充填率の関係を実験的に取得した。
- ・ 本研究成果は、小惑星形状や表面地形進化の議論のキーとなることが期待される。

【研究概要】

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院環境学研究科の入江 輝紀 博士前期課程学生（2021年卒業）、理学部第一装置開発室の山口 隆正 技術職員、大学院環境学研究科の渡邊 誠一郎 教授らの研究グループは、大阪大学理学研究科の桂木 洋光 教授との共同研究で、独自に開発した独創的な装置により、回転させた粒状斜面形状の履歴依存する変形の実験モデル化に成功しました。

本研究では、砂などの粒状物質の摩擦特性によって決定される斜面形状の荷重履歴依存性を実験的に調査しました。実験で取得した斜面形状変化を重力・遠心力・摩擦力の平衡によるモデルにフィッティングし、その結果から、遠心力と重力の比の関数として粒状摩擦係数を求め、その荷重履歴依存性を評価しています。本研究は、粒状物質斜面の回転による変形の観察のために開発された独創的な実験装置を特徴としており、装置開発等に関しても既に論文を公表しています。一連の研究成果より、粒体物質の重力や遠心力の影響による変形則、その履歴依存性、有効付着力の評価手法等が確立され、これらの結果は小惑星形状や表面地形進化の議論のキーとなることが期待されます。

本研究成果は、2022年7月9日付オランダの出版社 Elsevier の国際ジャーナル「Advanced Powder Technology」電子版に掲載されました。また、本研究成果に先立ち、二編の論文^{*}を掲載しました。

【研究背景と内容】

粒状物質で砂山形状を作成すると、その傾斜角は粒状物質の摩擦特性によって決まる「安息角」を持ちます。この安息角（もしくは粒状摩擦特性）が粒状物質のどのような特性により決定しているのかについて詳しいことは未だに分かっていません。一方で、この安息角特性は、はやぶさ 2 が訪れた小惑星リュウグウ等の表面地形の変化を理解する上でも重要な基礎物性であり、特に安息角の重力依存性や自転による遠心力への依存性は小惑星の地形や全体形状の変化に関する基本的特性として注目されています。

本研究では、粒状物質の斜面が重力と遠心力の影響を受けたときにどのような変形を示すのかについて、特に荷重の履歴依存性に注目して実験的に研究しました。具体的には、粒状の山地形を用意し、頂点を回転軸として回転させて粒状山の斜面形状の変化を様々な粒状物質を用いて計測しました。回転による遠心力荷重の履歴依存性を調べるために、回転数を徐々に増加させ（最大で容器壁面で遠心力が重力の 22 倍となるまで）、その後徐々に回転数を減少させました。その際、回転している最中の粒状斜面形状の変化をカメラにより捉えました（図 1）。上記の計測を可能とするために独自の回転観察装置を開発した点も本研究の特徴です（図 2）。本研究では、この斜面形状変化を重力・遠心力・摩擦力のバランスによるモデル形状で説明することに成功し、実験結果のフィッティングから得られた摩擦係数の値が、回転荷重の操作履歴や遠心力と重力の比によって変化することが明らかになりました。

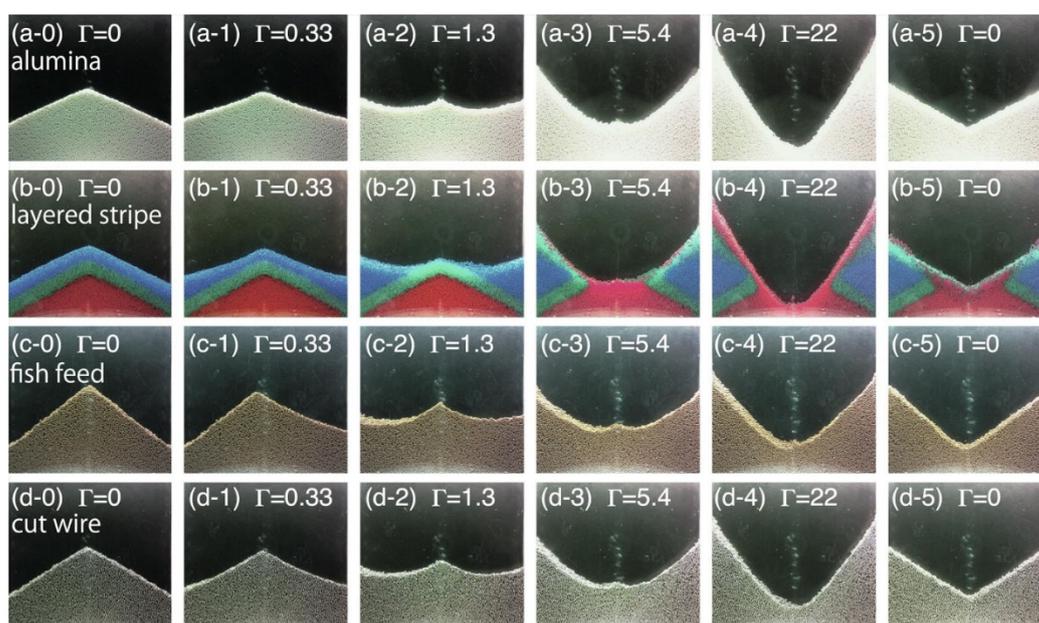


図 1：粒状の山の変形の画像データ

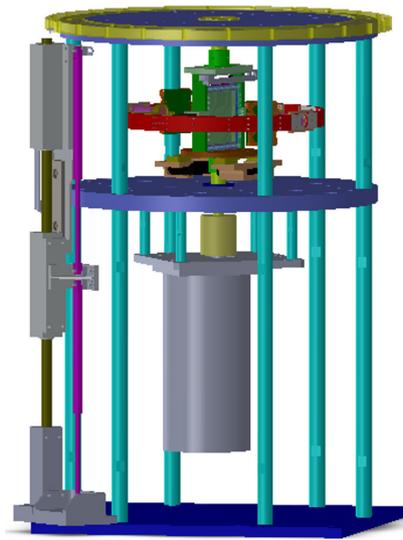


図 2：開発した独自の回転観察装置

【成果の意義】

本研究では、粒状物質の摩擦特性の重力・遠心力依存性やその履歴依存性を評価し、摩擦特性の変動が大きくないことや、粒状斜面の変形が表面付近で局所的に起こることが明らかになりました。これらの成果は、小惑星の形状進化や表面地形変形の議論のキーとなることが期待されます。また、粉体材料の遠心力を利用したハンドリング等は産業界で多く用いられており、本研究成果はそれらのプロセスの理解や効率化にも資することが期待されます。

本研究は、科研費「19H01951」「18H03679」「17H06459」の支援もとで行われたものです。

【用語説明】

注 1) 履歴依存性：

現在の状態のみでなく、過去に受けた影響に依存すること。

【論文情報】

雑誌名：Advanced Powder Technology

論文タイトル：History-dependent deformation of a rotated granular pile governed by granular friction

著者：入江輝紀（名古屋大学 大学院環境学研究科 博士前期課程学生（2021 年卒業））

山口隆正（名古屋大学 理学部第一装置開発室/全学技術センター 技術職員）

渡邊誠一郎（名古屋大学 大学院環境学研究科 教授）

桂木洋光（大阪大学 大学院理学研究科 教授）

URL：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921883122002072?via%3Dihub>

DOI:10.1016/j.appt.2022.103629

※【先行して掲載された論文①】

雑誌名 : Measurement Science and Technology

論文タイトル : Measurement of surface deformation and cohesion of a granular pile under the effect of centrifugal force

著者 : 入江輝紀、山口隆正、渡邊誠一郎、桂木洋光

URL : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6501/ac1b25>

DOI : 10.1088/1361-6501/ac1b25

※【先行して掲載された論文②】

雑誌名 : PHYSICAL REVIEW E

論文タイトル : Deformation of a rotated granular pile governed by body-force-dependent friction

著者 : 入江輝紀、山口隆正、渡邊誠一郎、桂木洋光

URL : <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.104.064902>

DOI : 10.1103/PhysRevE.104.064902