

斜面上を回転落下する円筒内の粉粒体なだれの実験

○平山 修, 遅 成軍

東京農工大学工学部, 〒184-8588 東京都小金井市中町 2-24-16

E-mail: hrym@cc.tuat.ac.jp

Experiments on granular matter avalanches in a circular cylinder rotating on a slope without slipping

Osamu Hirayama and Chi Seigun

Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo 184-8588, Japan

Key Words: avalanche, granular matter, free surface, circular cylinder, slope

1. はじめに

固定円筒内に粉粒体の堆積物を入れ、円筒を中心軸の周りに一定の角速度で回転させるときに粉粒体の自由表面がどのように形成されるかという問題は古くから研究され、次のことが明らかにされている。回転の角速度が十分に小さい場合には、自由表面の形状は本質的に直線で、なだれが間歇的に起こる。角速度がかなり増加すると、なだれは連続的になり、面の形状は S 字型となる。この遷移は、粒子の落下時間が相次ぐなだれの時間間隔と同調したときに起こるとされている[1]。一方、円柱や円筒などの類似の形状の剛体を斜面上で回転落下させたときの加速度などは初等的な力学の問題として簡単に解を求めることができる。本研究では、上記の 2 つの問題を組み合わせ、円筒内に内部容積の半分の体積に相当する量の粉粒体を入れ、斜面上を回転落下させる問題を扱う。この場合、巨視的な運動の自由度として、円筒の重心の並進自由度、重心の周りの回転の自由度、さらに自由表面の形状が考えられ、前二者と後者は複雑な相互作用を行うと考えられる。本研究では、まずこれらの運動についての実験を行い、その観察結果に基づき、起こりうる現象の定性的な分類と把握を行うことを出発点として研究を進めることにした。以下に、その内容を報告する。

2. 実験装置および方法

アクリル製の円盤（直径 200 mm, 厚さ 3 mm）2 枚と、外径 200 mm, 長さ 30 mm, 厚さ 3 mm のリングを接着して、内部が空洞の円筒容器を作成し、内部に直径約 1mm, 比重 1.04 の樹脂製の粉粒体粒子を円筒の容積の半分に相当する量を内部に封入した。円筒の中心の位置 G, および中心から 50 mm 離れた点 A に目立つ印をつけておく。また、鉄製アングルの台座の上にコの字断面（幅 50 mm）のアルミチャンネルを差し渡して斜面とした。斜面の角度は、任意に変化させることが可能である。粉粒体入り円筒を、自由表面が最初は水平となる向きに斜面上にセットしてから手を離し、斜面上を回転落下させる。この運動をビデオカメラで撮影し、自由表面の形状、円筒重心の位置の変化、円筒の重心の周りの回転角などを画像から求める。

3. 実験結果（斜面角度による自由表面パターンの違い）

水平面に対する斜面の角度 θ を何段階かで変化させたときの、自由表面のようすを図 1 ~ 図 3 に示す。図 1 は $\theta = 5.5^\circ$ の場合で、表面の形状は直線に近い（以後、このパターンをパターン I と称する）。図 2 は $\theta = 8.4^\circ$ の場合で、表面の形状は S 字型になっている（以後、パターン II と称する）。図 3 は $\theta = 11.3^\circ$ の場合で、円筒全体が斜面を下るにつれて、円筒内断面が粉粒体によって覆われる割合が大きくなり、ついには全断面が粉粒体によって被覆されるようになることを示している（以後、パターン III と称する）。パターン I からパターン II への遷移の臨界角は約 5.6° 、パターン II からパターン III

への遷移の臨界角は約 9.1° であることがわかった.

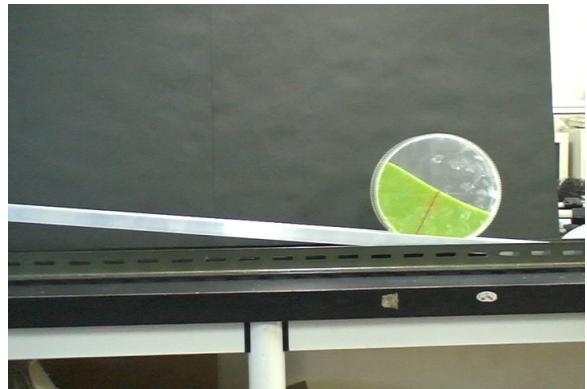


図 1. 斜面角度 $\theta = 5.5^\circ$ の場合の斜面形状 (パターン I)



図 2. 斜面角度 $\theta = 8.4^\circ$ の場合の斜面形状 (パターン II)

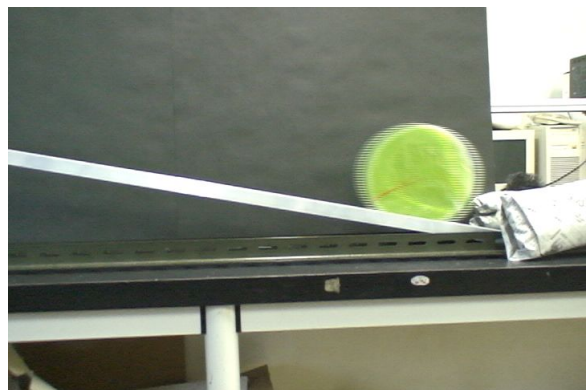
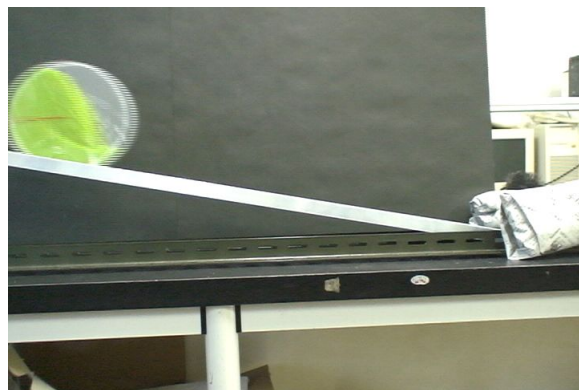


図 3. 斜面角度 $\theta = 11.3^\circ$ の場合の斜面形状 (パターン III)

4. 今後の予定

各パターンの場合の円筒重心の並進運動および重心の周りの回転運動について画像による解析を行う。さらに、S字型自由表面の形状についてその近似式を画像を元に算出する。また、適当な力学モデルにより、それらの導出を試みる予定である。

参考文献

- [1] J. Duran (1997), Sands, Powders, and Grains, An Introduction to the Physics of Granular Materials, Springer.