

混合粉体の水平加振によるパターン形成とその遷移

広島大学大学院理学研究科 藤井 雅史¹、栗津 暁紀、西森 拓

1 Introduction

我々の身近な存在である粉体は、構成する粒子の物性や環境によって多種多様な振る舞いを見せる。特に、水平面上の二種類混合粉体を水平方向に加振すると、振動方向に対して垂直な方向に縞状のパターン(垂直縞)を形成することは実験的にも理論的にもよく知られている[1, 2]。一方近年、水平面上の二種類混合コロイド系において、交流電場を加えると、電場の勾配に対して水平方向や垂直方向に縞状パターンを形成することが報告されている[3]。そこで我々は、混合粉体系においても振動方向に対して水平方向に縞状に分離するパターン(水平縞)が現れる可能性があると考え、Ciamarra[2]らと同様に、離散要素法を用いてシミュレーションを行った。すると、これまで見られた垂直縞だけでなく、水平縞も現れることを見出した。今回は、このような縞状パターンの形成過程について考察し、さらに、粒子が一直線上に並んだ一次元モデルを用いて、垂直方向の縞状パターンの安定性について議論する。

2 二次元水平面上での相分離パターン

二次元平面上的の大きくて重い粒子(粒子 L)と小さくて軽い粒子(粒子 S)の混合粉体の相分離パターンについて考える。シミュレーションでは離散要素法を用い、各粒子は排除体積効果による粒子間の反発及び接触摩擦による相互作用を受ける。また、底面は一定方向に振動し、粒子は底面の振動速度と自身の速度の差に比例する力を受けるとする。

このモデルを用いて、粒子 L と粒子 S の粒子数密度を変化させると、粒子全体の総密度が高いときに垂直縞が(図1(a))、粒子全体の総密度が低いときに水平縞が現れる(図1(b))傾向を見出した。これらの縞状パターンの形成過程を見ると、どちらの場合も、振動の初期段階において垂直縞を形成する。このとき、縞の間隔は底面の振動の振幅のほぼ2倍になる。水平縞を形成する場合は、加振によって垂直縞を形成している粒子 L の層がばらけやすく、粒子 L の縞が折れて粒子 L の層が斜めになり、さらに振動を続けると、粒子 S が粒子 L の層を突き抜けて水平縞へと遷移する様子が見られた。

これらのことから我々は、粒子が形成するパターンには、振動の初期段階において一時的に現れる垂直縞での粒子 L の層の構造の安定性、すなわち、粒子の衝突による粒子 L の集団のばらけやすさが重要ではないかと考えた。

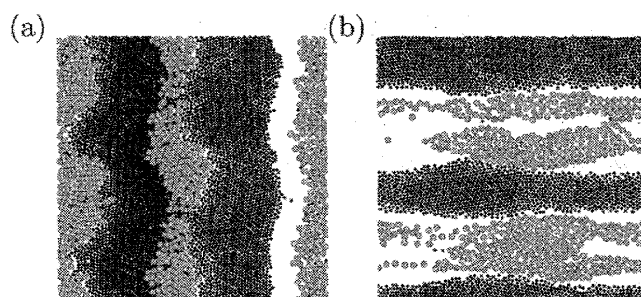


図 1: 二次元シミュレーションにおける特徴的な相分離パターン。(a) 振動方向に対して垂直方向の縞状パターン。(b) 振動方向に対して水平方向の縞状パターン。

¹E-mail: mfujii0123@hiroshima-u.ac.jp

3 一次元系における粒子 L の層の安定性

二次元系における垂直縞の安定性を議論するために、振動方向に一直線上に粒子が並んだ一次元系を考える。二次元系において、縞の間隔は底面の振動の振幅のほぼ2倍であったため、システムサイズを振幅の2倍とする。粒子に働く力は二次元系と同じで、粒子間相互作用による力と底面の振動速度と自身の速度の差に比例する力を受ける。初期時刻では、粒子は図2の様に、粒子 L と粒子 S 毎に順番に並べて配置し、振動を加えたときの粒子 L の振る舞いを調べた。

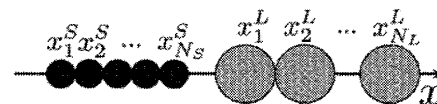


図 2: 一次元モデルの初期条件。粒子 L と粒子 S はそれぞれ順番に配置する。

粒子 L の3個の場合では、粒子 S の個数 N_S の変化に対して、次のような挙動の違いが見られた。(i) $N_S \leq 3$ の場合、衝突が繰り返し起こっても、粒子 L の集団は互いに離れることがほとんどない。(ii) $4 \leq N_S \leq 18$ の場合、粒子 S が粒子 L の集団に衝突する(図2で、 N_S 番目の粒子 S が1番目の粒子 L が衝突するなど)と、反対側の粒子(N_L 番目の粒子 L)が飛び出すなどし、粒子 L はばらけやすくなる。(iii) $N_S \geq 19$ の場合、(i)の場合と同様に衝突が繰り返し起こっても、粒子 L の集団は互いに離れることがほとんどないが、粒子 L の平均速度は(i)の場合より大きくなる。

一方、粒子 L の個数が多くなると、これらの挙動の違いは見られず、粒子 L の集団はほとんど離れなくなる。

4 考察と議論

二次元水平面上の混合粉体の水平加振による相分離パターンについて、一時的に形成される垂直縞の安定性について考えるため、一次元に並んだ粒子の加振による挙動の変化を調べた。

その結果、粒子 L が多い場合や、粒子 S が多すぎる場合では粒子 L の集団はほとんど離れることはないものの、粒子 L が少なく、粒子 S がほどほどに存在する場合は、粒子 L の集団はばらけやすくなることが分かった。

これらのことから、二次元系において水平縞が形成される場合は次のような過程で垂直縞が不安定化することが考えられる。まず、一時的に形成される垂直縞の粒子 L の層の一部が局所的に疎になったとする。すると、粒子 L の個数が少なくなったところでは、粒子 L の集団が衝突によってばらけやすくなり、さらに層が薄くなりやすくなる。その結果、層の強度が弱くなり、さらなる加振によって、粒子が少なくなった箇所で層が折れ曲がりやすくなると、推測される。

参考文献

- [1] P. M. Reis, T. Sykes, and T. Mullin, Phys. Rev. E, 74, 051306, (2006).
- [2] M. P. Ciamarra, A. Coniglio, and M. Nicodemi, Eur. Phys. J. E, 22, 227, (2007).
- [3] A. Wysocki, and H. Löwen, Phys. Rev. E, 79, 041408, (2009)