

加振された粉粒体の速度分布にみられる特異性

バイオロジー研究グループ

○三葛真琴(学部生)、板野智昭(システム理工学部 物理・応用物理学科 准教授)、関眞佐子(教授)

研究概要・成果

研究背景

粉などの粒子の集合体を指す。各粒子は独立に分離して運動できるため、液体のような流動現象を示す一方、個々の粒子間に働く摩擦などの力が支配的で要素間の距離が小さい場合は集合として固体のように振る舞う。本研究では粉流体の堆積を加振したとき系全体に現れる速度分布の特異性を数値計算を用いて再現し、加振の振動数や振幅に対する依存性を調べた。



粉粒体の例:小麦粉

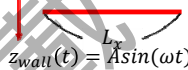
計算方法

振動平板上にある粉流体の運動を考える。時刻 t における i 番目の粒子の位置を $z_i(t)$ とすると、(g :重力加速度 z_{i0}, v_{i0} : $t = t_{i0}$ における粒子と位置と速度 $i = 1, 2, \dots, N$ a_i : i 番目の粒子の半径 L_x :両端の壁の距離)

$$z_i(t) = z_{i0} + v_{i0}(t - t_{i0}) - \frac{1}{2}ge_y(t - t_{i0})^2 \quad z_i \circlearrowleft g$$

で表される。 i, j 番目の粒子が時刻 t に衝突するとき、

$$|z_i(t) - z_j(t)|^2 = |a_i + a_j|^2$$



を満たす。事象推進(event-driven,ED)法により、全ての粒子間及び壁粒子間の衝突時刻の中から最小の時刻 t_{min} とそれに付随する事象を採用する。衝突後の速度は、

$$\begin{bmatrix} u_i \\ u_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-\varepsilon)/2 & (1+\varepsilon)/2 \\ (1+\varepsilon)/2 & (1-\varepsilon)/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ v_j \end{bmatrix}$$

となる。壁粒子間衝突の場合は、

$$u_i = (1 + \varepsilon_p)v_{wall} - \varepsilon_p v_i$$

と記述される。ここで $\varepsilon, \varepsilon_p$ は粒子間弾性反発係数及び壁粒子間弾性反発係数である。振動板の変位は振幅を A として $Asin(\omega t)$ で表す。規格化された加速度 Γ は $\Gamma = A\omega^2/g$ 、振動板の最大速度は $V = A\omega$ である。 V と Γ を変化させ、系の状態について調べた。

解析結果

振動板上に10個の粒子を一次元的に並べた系($L_x = 1.0$)の状態の V に対する依存性を調べた。左図の状態では粒子同士が接触しながら凝集して運動し、右図の状態では粒子はそれぞれ独立して流動的にしているように見える。しかし、粒子の速度分布とその標準偏差を調べると分布の違いはスケージングの差にすぎないことが分かった。(図3,4)

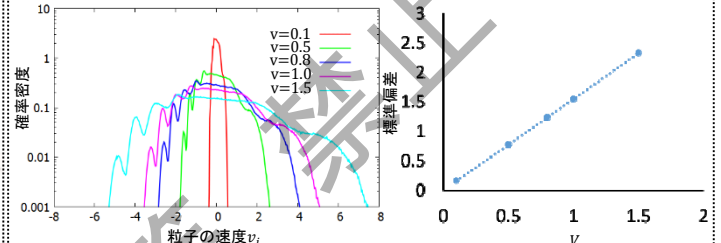
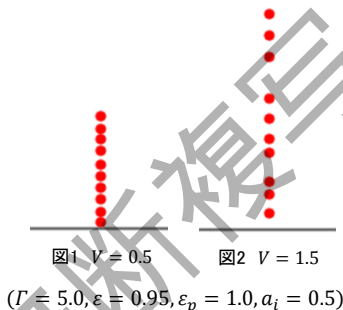


図3 粒子の速度分布 ($\Gamma = 5.0$)

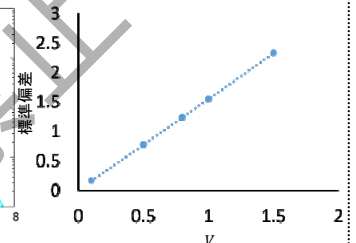


図4 標準偏差 ($\Gamma = 5.0$)

そこで次に、振動板の速度を $V = 1.5$ に固定し、 Γ を変化させたときの粒子の速度分布とその標準偏差を示す。(図5,6)

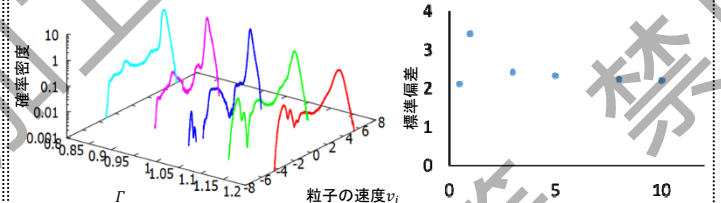


図5 粒子の速度分布 ($V = 1.5$)

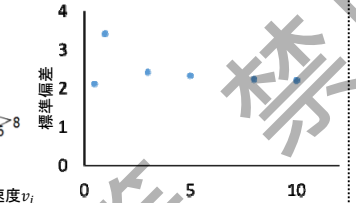


図6 標準偏差 ($V = 1.5$)

$\Gamma = 1.0$ 付近では粒子の速度分布がノコギリ形をなし、標準偏差が一定ではないことがわかる。次に L_x を徐々に大きくしていったときの粒子の速度分布の形状の変化を示す。(図7)

100個の粒子を二次元的に配置した系($L_x = 20.0$)において、 $V = 1.5$ に固定し Γ を変化させたときの速度分布の標準偏差を調べたところ図6に見られた特異性が二次元の系においても観測された。(図8)

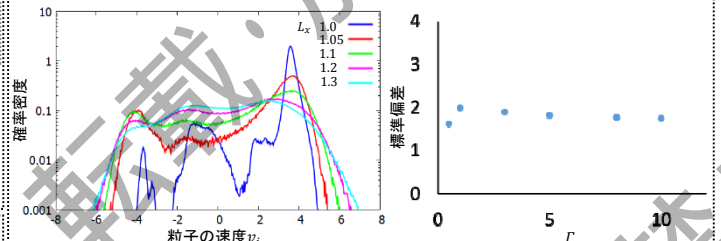


図7 粒子の速度分布 ($\Gamma = 1.0, V = 1.5$)

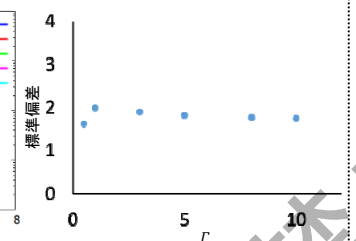


図8 標準偏差 ($V = 1.5$)

まとめ

- 振動板上に一次元的に並べた粒子は $\Gamma = 1.0$ 付近で粒子の速度分布に特異性が見られた。
- L_x を拡張すると特異性は徐々に目立たなくなっていく。 L_x を十分大きくした場合でも、そうでない場合と比べて顕著には現れないことがわかった。

参考文献 J.デュラン著 粉粒体の物理学 (2002)

応用分野、実用化可能分野

建設材料(砂利、コンクリート)、軽化学薬品合成、製薬産業、農業関連産業分野

問合せ先: 関西大学 システム理工学部 板野智昭 E-mail: itano@kansai-u.ac.jp

関大ORDIST

先端科学技術推進機構

社会連携部 産学官連携センター、知財センター