

サブミリ円管内層流中の粒子分布

バイオレオロジー研究グループ

○中島陵(学部生)、志知寛之(院生)、森田悠介(院生)、関淳二(先端科学技術推進機構 非常勤研究員)
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

はじめに

円管内層流に中立浮遊する球形粒子が流れに対して垂直方向に移動し、一定の動径位置にリング状に集まる現象はSegre&Silberbergにより初めて報告され、そのリングはSegre-Silberberg環と呼ばれている¹⁾。Segre-Silberberg環の動径位置やこの環を形成する粒子の割合はレイノルズ(Re)数に依存して変化することが知られている²⁾。本研究では、管径が1mm以下のサブミリサイズの円管を用いることで低レイノルズ数領域($Re=50\sim 300$)の流れを実現し、その中に中立浮遊する球形粒子の管断面内分布を計測することで、Segre-Silberberg環の動径位置 r_s およびSegre-Silberberg環を形成する粒子割合 P_s が、粒子径と管径の比(サイズ比: d/D)によってどのように変化するかを調べたので報告する。

解析方法

実験条件

球形粒子：粒子径 $d=20, 50, 80[\mu\text{m}]$, 密度 $1052[\text{kg}/\text{m}^3]$
円管：管径 $D=720[\mu\text{m}]$, 管長 $125[\text{mm}]$, $50 \leq Re \leq 300$

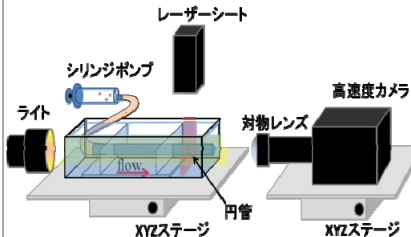


図1. 実験装置図

- 粒子を中立浮遊させたグリセリン水溶液を、シリンジポンプにより一定流量で円管内に流し、レーザーシート光を照射した管出口付近の断面を対物レンズを装着した高速カメラで撮影する。
- 撮影した画像から画像処理ソフトImageJを用いて粒子中心位置を求め、一定のコマ数の重ね合わせにより円管断面内の粒子分布を得る。(図2)
- 統計ソフトRを用いて粒子流束の確率密度関数 $p(r)$ を求める。これを流速 $u(r)$ に割った量から、粒子数密度の確率密度関数 $p^*(r)$ を求める。(図3)

$$p^*(r) = A \frac{p(r)}{u(r)} \quad (A: \text{規格化定数})$$

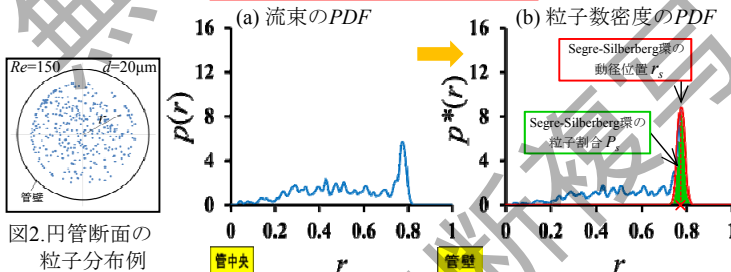


図2. 円管断面の粒子分布例

図3. 確率密度関数 (a) 流速 $p(r)$, (b) 粒子数密度 $p^*(r)$

Segre-Silberberg環の $p^*(r)$ が最大となる位置および面積(緑色部分)をSegre-Silberberg環の動径位置 r_s およびその粒子割合 P_s とする。

実験結果

・管断面の粒子分布のサイズ比(d/D)依存性

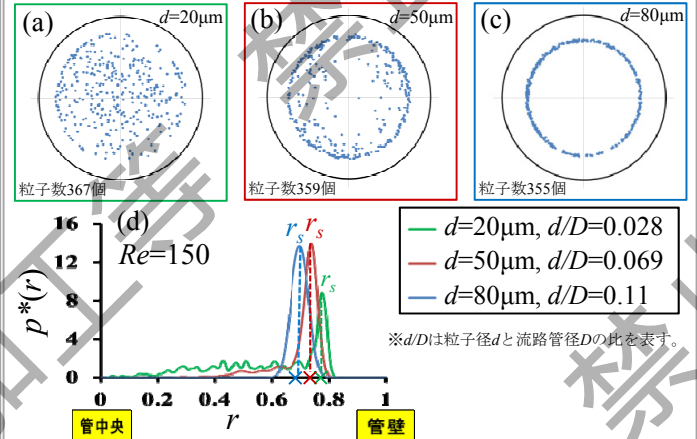


図4. 粒子分布 (a) $d/D=0.028$, (b) 0.069 , (c) 0.11 と (d) 確率密度 $p^*(r)$ ($Re=150$)

・Segre-Silberberg環の動径位置 r_s のサイズ比(d/D)依存性

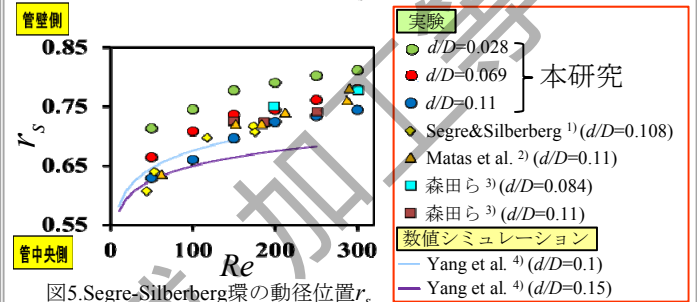


図5. Segre-Silberberg環の動径位置 r_s

・Segre-Silberberg環の粒子割合 P_s のサイズ比(d/D)依存性

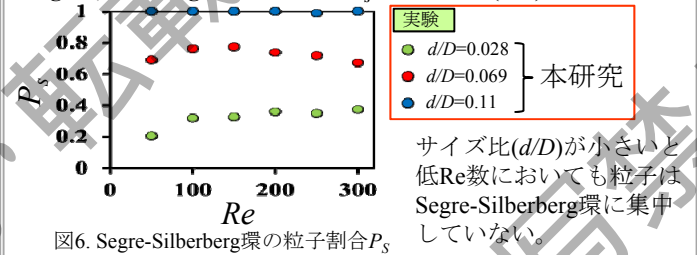


図6. Segre-Silberberg環の粒子割合 P_s

サイズ比(d/D)が小さいと低 Re 数においても粒子はSegre-Silberberg環に集中していない。

まとめ

- サブミリスケールの円管を用いることにより低 Re 数領域の粒子分布が高精度で計測できた。
- 粒子径と管径の比(サイズ比)が小さくなると、Segre-Silberberg環は管壁に近づき、この環を形成する粒子割合は小さくなった。

- 参考文献 1) Segré G, Silberberg A : Nature 189,209-210,(1961).
2) Matas J-P, Morris JF, Guazzelli E : J Fluid Mech 515,171-195 (2004).
3) 森田, 板野, 関 : 日本混相流学会混相流シンポジウム2015,(2015).
4) Yang, BH et al. : J Fluid Mech 540,109-131,(2005).

応用分野、実用化可能分野

粒子径が異なる粒子の断面内分布の違いから粒子の分離、すなわち不純物の除去や食品の選別等に活用できる。

問合せ先: 関西大学 システム理工学部 関 眞佐子 E-mail: sekim@kansai-u.ac.jp