

ミニ円管層流中の粒子分布

バイオレオロジー研究グループ

○世古口大(学部生)、今西貴宏(院生)、森田悠介(院生)

板野智昭(システム理工学部 物理・応用物理学科 准教授)、関真佐子(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慣性の影響により、流れに対して垂直方向に移動し、下流断面のある一定の動径位置に集まることはSegre & Silberbergにより報告されており、その動径位置はSegre-Silberberg環と呼ばれている¹⁾。その後の研究により、高いレイノルズ(Re)数の場合にはSegre-Silberberg環の内側に別の粒子集中位置(内側環)が出現することが報告されている²⁾。本研究では、比較的高い Re 数領域に着目し、Segre-Silberberg環の動径位置 r_s と内側環を形成する粒子の割合 P_i の Re 数への依存性および粒子径と管径の比(サイズ比 d/D)への依存性を調べたので報告する。

実験方法

円管を流れる球形粒子の管断面分布を計測する。
 粒子径： $d=300\sim 650\mu\text{m}$
 円管：内径 $D=3.84\sim 7.75\text{mm}$ 、管長 $L=0.5\sim 4.0\text{m}$

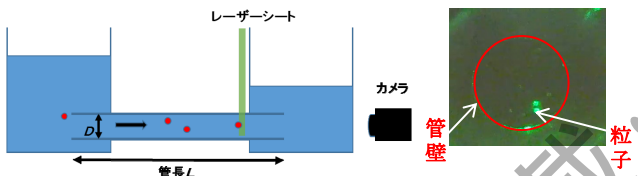


図1. 実験装置概要図

図2. 下流断面の撮影画像例

(1) 粒子の密度と一致するように調整したグリセリン水溶液で水槽(図1)に満たし、水位差により円管内に流れを駆動させる。管内に粒子を流し、下流付近のレーザーシート光で粒子が発光する様子を、下流断面正面に設置したカメラで撮影する。

(2) 撮影した画像(図2)から画像処理ソフトImageJを用いて、粒子の中心位置を求め、粒子の断面内分布(図3)を得る。

(3) 粒子分布から統計ソフトRを用いて、粒子中心の位置 r における粒子のPDF(確率密度関数)を得る。(図4)

(4) PDFから、外側にあるピーク位置をSegre-Silberberg環の動径位置 r_s とし、そのピーク位置から折り返した面積(赤色の部分)を P_s 、残りの面積(紫色の部分)を $P_i(=1-P_s)$ とする。 P_s はSegre-Silberberg環の粒子数の割合、 P_i は内側環の粒子数の割合を表す。

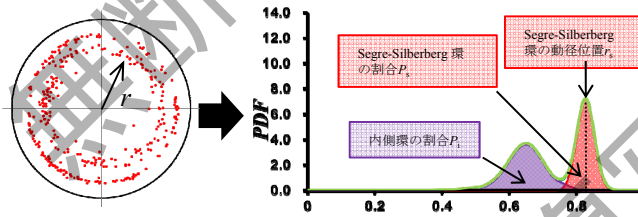


図3. 円管断面の粒子分布の例

図4. 動径方向の粒子のPDF

($Re=741, D=5.84\text{mm}, L=4.0\text{m}, d=500\mu\text{m}$)

$$\text{レイノルズ数 } Re = \frac{\rho U D}{\eta}$$

ρ : 流体の密度 [kg/m^3]
 U : 流体の断面平均流速 [m/s]
 D : 円管内径 [m]
 η : 流体の粘度 [$\text{kg/m}\cdot\text{s}$]

実験結果

・粒子分布と確率密度関数

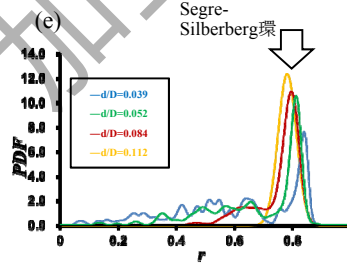
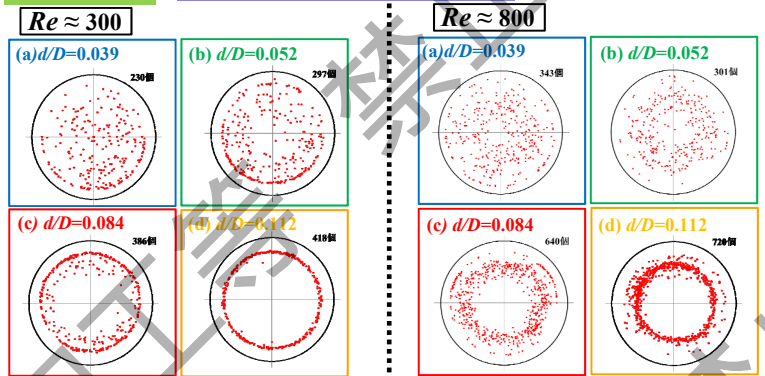


図5. $Re \approx 300$ の粒子分布 (a) $Re=327$, (b) 327, (c) 319, (d) 305)と(e) 対応するPDF

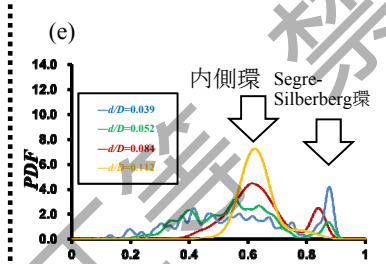


図6. $Re \approx 800$ の粒子分布 (a) $Re=790$, (b) 805, (c) 786, (d) 794)と(e) 対応するPDF

・Segre-Silberberg環の位置 r_s と内側環の粒子数の割合 P_i

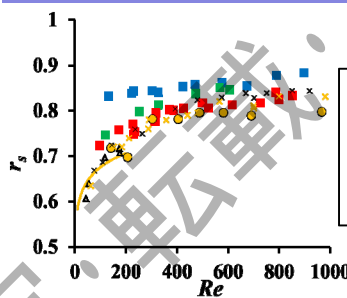


図7. r_s のサイズ比依存性

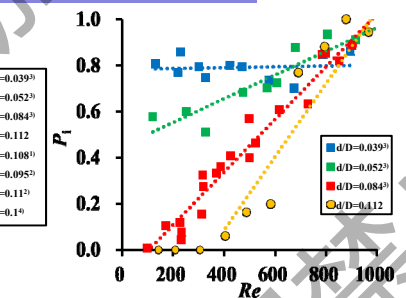


図8. P_i のサイズ比依存性

まとめ

- ・ Segre-Silberberg環の位置 r_s は、サイズ比(粒子径と管径の比 d/D)が大きいく管中心に近く、 Re 数の増大とともに管壁に近づいた。
- ・ 内側環を形成する粒子の割合 P_i は、サイズ比が大きいく程小さく、 Re 数の増大とともに大きくなった。

参考文献 1) Segre G, Silberberg A : Nature 189,209-210 (1961).
 2) Matas J-P, Morris JF, Guazzelli E : J Fluid Mech 515,171-195 (2004).
 3) 能村、森田、板野、関 ; 第19回先端科学技術シンポジウム (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応用できる。

問合せ先: 関西大学 システム理工学部 関 真佐子 E-mail: sekim@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