

氏 名	鈴 木 徹
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 1851 号
学位授与の日付	平成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 化 学 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	円管内固液混相流の流動と熱伝達

(主査)

論文調査委員 教授 荻野文丸 教授 芹澤昭示 教授 増田弘昭

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、円管内固液混相流の輸送現象に関する基礎研究として、液体と密度が等しい球状または円板状の固体粒子が、液体とともに円管内を流れる場合の流れと熱伝達について実験的に検討した結果をまとめたものであって、6章からなっている。

第1章は序論であって、固液混相流における粒子の挙動、圧力損失、熱伝達、流体の速度についての既往の研究を概括し、未だ充分に解明されていない点を明らかにするとともに、本研究の目的と概要を述べている。

第2章では、粒子と流体の密度が等しく、粒子と管の直径比が大きい球状の固体粒子を用いた場合の、管内の粒子重心の空間分布、粒子の数密度分布、粒子の断面平均速度、混相流の摩擦係数および熱伝達係数を測定し、それらに対するレイノルズ数、粒子の体積流量率、および粒子と管の直径比の影響について検討した結果について述べている。まず、流動状態を可視化した画像から粒子の空間分布を求め、レイノルズ数と粒子の体積流量率が低い場合には、固液混相流においても等密度スラリーと同様に粒子が管軸と管壁の間のある平衡位置に集中して分布する、いわゆるpinch効果が現れることを見出し、またpinch効果が現れる条件を示している。また、レイノルズ数が増加すればこの平衡位置は管壁に近付いて、混相流とそれと同流量の単相流の摩擦係数の比は緩やかに増加し、レイノルズ数がさらに増加すれば、管断面の粒子空間分布が一様な分布に近付いて、摩擦係数の比が急増することを示している。一方、粒子の体積流量率が増加すると、管軸付近を通過する粒子数が増えて、摩擦係数の比は増加し、粒子と管の直径比が増加すると、摩擦係数の比は減少することを明らかにしている。また、粒子の断面平均速度はレイノルズ数および粒子の体積流量率に複雑に依存するが、粒子と管の直径比の増加とともに増大する傾向があることを明らかにしている。熱伝達係数の変化は摩擦係数のそれと同様の傾向を示すが、単相流と比べたときの熱伝達係数の増加割合は摩擦係数の増加割合よりも大きいために、このような固液混相流を工業的に用いる場合、伝熱という観点からは有利であると述べている。

第3章では、第2章と同様の球状粒子を用いた場合の固液混相流において、画像処理とレーザー・ドップラー流速計を用いて測定した粒子速度と流体速度の分布について述べている。混相流における時間平均した流体の速度は管軸付近で単相流の速度より小さくなり、管壁付近では逆に大きくなるが、この傾向はレイノルズ数および体積流量率が増加すると顕著になることを示している。また、粒子の速度は、粒子の管軸に直角な断面への投影面積全体にわたって積分平均した流体の速度にはほぼ等しくなることを明らかにしている。さらに、流体の速度変動強度は管内で粒子が多く集まっている領域の両側で大きい値をとることを示している。

第4章では流体と密度が等しい円板状粒子を用いた場合の固液混相流について、第2章と同様の検討を行った結果について述べている。まず、流動状態の可視化画像から求めた円板状粒子の重心の空間分布は、球状粒子の場合と同様に粒子の体積流量率が小さい場合にはpinch効果を呈し、体積流量率が増加すると粒子の空間分布は一様な分布に近づくが、球状粒子の場合とは異なり、レイノルズ数の影響は認められないことを示している。また、粒子の断面平均速度はレイノルズ数の影

響を受けず、体積流量率の増加とともに小さくなり、粒子と管の直径比の増加とともに大きくなることを明らかにしている。さらに摩擦係数の変化は、球状粒子の場合と同様な傾向を示す。また、熱伝達係数は粒子と管の直径比が増加すると、摩擦係数が減少するのに対し、逆に増加することを見出している。

第5章では円板状粒子を含む固液混相流において、第3章と同様の測定を行った結果について述べており、さらに円板状粒子の傾きと回転速度についても検討している。粒子と流体の局所の時間平均速度はレイノルズ数の影響を受けないことを除いては、球状粒子の場合とほぼ同様の傾向を示すことを明らかにしている。また、pinch効果を呈する場合、円板状粒子はほとんど回転せずに、管軸に対してほぼ一定の傾きを保って流れるが、体積流量率が増加すると粒子の回転速度が速くなって、傾きの分散は大きくなり、粒子と管の直径比が増加するとやはり粒子の回転速度は速くなるが、傾きの分散は小さくなる傾向にあることを示している。さらに、流体の速度変動強度は球状粒子の場合と異なり、管軸付近で大きな値をとることを明らかにしている。

第6章では、本研究から得られた結果を総括的に述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、粒子と流体の密度が等しく、粒子と管の直径比が大きい球状または円板状の固体粒子を含む円管内固液混相流において、粒子空間分布、摩擦係数、熱伝達係数、粒子速度、および流体速度に対するレイノルズ数、粒子体積流量率、粒子と管の直径比の影響について実験的に検討した結果をまとめたものであって、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 球状の固体粒子を含む混相流では、レイノルズ数と粒子体積流量率が低い場合、粒子は管軸と管壁の間のある平衡位置に集中して分布する。レイノルズ数が増加すると、この平衡位置は管壁に近付き、摩擦係数は緩やかに増加し、レイノルズ数がさらに増加すると、管断面の粒子空間分布が一様な分布に近付き、摩擦係数は急増する。一方、粒子体積流量率が増加すると、管軸付近を通過する粒子数が増え、摩擦係数は増加し、粒子と管の直径比が増加すると、摩擦係数は減少する。
2. 熱伝達係数の変化は摩擦係数のそれと同様の傾向を示すが、単相流と比べたときの熱伝達係数の増加割合は摩擦係数の増加割合より大きい。
3. 粒子速度は、粒子の管軸に直角な断面への投影面積全体にわたって積分平均した流体の速度にほぼ等しい。
4. 円板状の粒子を用いた場合についても同様の検討を行い、粒子空間分布、摩擦係数、粒子速度、および流体速度はレイノルズ数には依存しないことを除いて、球状粒子の場合とほぼ同様な傾向がある。熱伝達係数は、粒子と管の直径比が増加すると、摩擦係数が減少するのに対し、逆に増加する。また、粒子の体積流量率が小さい場合、円板状粒子はほとんど回転せず、管軸に対して一定の傾きを保って流れる。

以上要するに、本論文は円管内固液混相流における粒子の挙動、圧力損失および熱伝達に対する混相流のレイノルズ数、固体粒子の体積流量率、および粒子と管の直径比の影響について実験的に明らかにしたものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成11年2月19日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。