



Title	固液二相流のLagrange解析モデルに関する研究 : 流体力学的固体間相互作用
Author(s)	原田, 周作
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/41379
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	原 田 周 作
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 6 1 7 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 11 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科産業機械工学専攻
学 位 論 文 名	固液二相流の Lagrange 解析モデルに関する研究 (流体力学的固体間相互作用)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 辻 裕 (副査) 教 授 中村喜代次 教 授 稲葉 武彦

論 文 内 容 の 要 旨

固気二相流の数値流動解析において、種々の流動現象に関して Lagrange 解析手法が有効であることが示されており、同手法の固液二相流への拡張が期待されている。そのためには、固液系で重要となる流体力学的な固体間相互作用に対して、Lagrange 解析手法に導入するためのモデリングが必要となる。本論文は、Lagrange 解析手法の固液系流動への適用性の確認、およびその固体粒子間相互作用のモデリングに関する基礎的検討を行うため、水平管内高濃度固液二相流の流動解析、および流体中の固体間衝突問題に対する直接数値解析を行ったものである。本論文は全 7 章から構成されている。以下に各章の概要を示す。

第 1 章では、本研究の背景と関連する従来の研究について概観し、本研究の目的および概要について述べている。

第 2 章では、高濃度固気二相流で従来行われている Lagrangian/Eulerian 解析手法を固液系に適用した、水平管内高濃度固液二相流の流動解析結果について述べている。ここでは粒子追跡法の固液系流動現象への適用の第一段階として、巨視的な流体挙動と粒子群の大規模運動の相互作用などについて調べている。また粒子流動様式に関して既存の実験式との比較を行い、乱れの影響や粒子間相互作用への流体の影響を無視した簡単な粒子追跡モデルによっても、水平管内水力輸送の粒子流動様式を表し得ることを示している。

第 3 章では、流体中での固体粒子-壁面干渉問題での従来の解析的手法により得られる流体力モデルについて概説している。ここで示されている種々の効果に対する流体力成分の解析的モデルは第 6 章で直接数値解析結果と比較され、壁面近傍での各モデルの適用性、相互依存性について検討されている。

第 4 章では、流体中の固体衝突現象に関して本研究で用いられた数値解析手法について述べ、数値計算の精度に関する検討を行っている。

第 5 章では、流体中の固体衝突現象に関する基礎的理解のため、第 4 章で述べた解析手法により、流体中での固体円柱の壁面への接近挙動に関する直接数値解析を行っている。ここでは固体円柱の自由運動を許し、円柱運動の変化に起因する非定常流体効果を含む検討を試みており、固体間隙中の流体運動に対して間隙厚さ方向への粘性拡散が支配的となる領域までの直接数値解を得ている。特に円柱運動に対して重要な流体効果となる固体表面間の間隙圧上昇に関して、潤滑理論より導かれる圧力分布形状と良い一致が見られることを示している。さらに間隙中の流体の運動量保存について調べ、潤滑理論の適用性について検討している。また自由沈降解析に対応した定常解析結果との比較を行い、間隙圧の上昇による円柱速度の急激な変化によって付加質量効果が増大し、間隙中の圧力が変化することな

どを明らかにしている。傾斜壁に対する接近運動に関しても同様の解析を行い、円柱軌跡や周囲流体挙動について明らかにしている。また円柱運動に支配的な影響を与える間隙中心圧については、壁面の傾斜の影響は小さく、潤滑理論による解析結果ではほぼ表し得ることを示している。

第6章では第5章と同様の手法を用いた流体中の固体球と壁面の衝突挙動に関する3次元直接数値解析を行っている。ここでは壁面近傍で固体球に作用する流体力に関して既存モデルの適用性などについて検討を行っており、粒子運動に対する潤滑効果の寄与の Stokes 数への依存性を明らかにしている。また第5章で述べた固体円柱の場合と同様に、間隙厚さ基準の Reynolds 数の小さい条件では、間隙圧分布に関して解析解と数値解は良い一致を示すことを明らかにしている。さらに壁面近傍で固体粒子に与える流体効果として、解析的に与えられる各流体力成分のモデルについて考察を行い、壁面近傍での粒子に作用する流体力は定常抗力、付加質量力、時間履歴力などで表され、それらの相互依存性は小さいことを示している。

第7章は本論文の総括である。

論文審査の結果の要旨

固体-流体系混相流は多くの影響因子を含む幅広い空間スケールを有する流動現象であり、その複雑性が統一的な流動モデルの確立を阻んできた。そのため流動現象の解析と予測に対しては古くから数値計算に頼る部分が大きく、現在までに多くの数値解析モデルが提案されている。例えばこのような流動系を、連続相と分散相、すなわち個々の粒子運動との連成運動系として取り扱い、数値解析を行う場合、従来の連続体モデルなどと比較して計算負荷が増大する反面、比較的単純な力学的モデルの組み合わせによって流動現象を記述し得る利点を持つ。特に固気二相流の解析では近年、互いに接触し合う粒子群運動に対してこのような Lagrange 的な数値解析手法が導入され、水平管内プラグ輸送の流動様式や、気系流動層の特徴的な流動現象の予測に成功しているが、固液系流動に対する Lagrange 的解析はほとんど行われていない。

さらに、固体系二相流に対してこのような粒子レベルでの数値解析を行うためには、流体-粒子間相互作用、あるいは流体中の粒子間相互作用などに対する力学的モデルの確立が求められる。前者に対しては近年多くの数値的、実験的研究が行われているが、固液系など粒子慣性力が相対的に小さくなる系で特に重要となる後者に対しては、混相流の観点からの研究はほとんど行われていないのが現状である。このような観点から、固液二相流の Lagrange 的な数値解析を展開して行く上では、固液系流動への粒子追跡モデルの適用可能性について検討を行う必要があると同時に、系を記述するこれらの構成式の確立のための基礎的理解が必要であると考えられる。

本論文では、従来固気二相流解析で用いられている流動解析モデルの固液二相流への適用を通して Lagrangian/Eulerian 手法の固液系への適用性の確認を行うと同時に、流体力学的固体間相互作用のモデリングに関する検討を行うため、流体中の固体間衝突現象に関する直接数値解析を行っている。その成果を要約すると以下の通りである。

- 1) 粒子追跡法を用いた水平管内高濃度固液流動の数値解析を行い、高濃度粒子群の非定常運動と搬送流体運動との相互作用の様子を再現し、固液系流動に対する Lagrange 的な解析手法の適用性を確認している。
- 2) 壁面近傍での固体円柱挙動と誘起される周囲流体運動の連成問題に対する直接数値解析を行い、円柱運動に影響を及ぼす流体効果について応力レベルでの検討を行った結果、円柱の非定常運動の影響を明らかにするなど、流体力学的固体間相互作用のモデリングに関して有用な知見を得ている。
- 3) 流体中の固体球の壁面への接近問題に関する数値解析を行い、壁面近傍での粒子運動が、解析解で与えられる複数の定常および非定常流体力モデルによって表し得ることを示しており、流体中の固体粒子相互作用モデル構築に対する指針を得ている。

以上のように本論文は、Lagrange 的な解析手法による固液二相流の流動予測および固体粒子に作用する流体力学的相互作用のモデリングに関して多くの有用な結果を得ており、流体力学の分野に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。