



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Modeling and Analysis of Geo-disaster Problems Using the SPH Method [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Ibrahim, Ahmed Mohamed Abdelrazek
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12022号
Issue Date	2015-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/59973
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Ahmed_Mohamed_Abelrazek_Ibrahim_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 Ahmed Mohamed Abdelrazek Ibrahim

審査担当者 主 査 准教授 木村 一郎
 副 査 教 授 清水 康行
 副 査 教 授 泉 典洋
 副 査 准教授 山田 朋人

学位論文題名

Modeling and Analysis of Geo-disaster Problems Using the SPH Method
(SPH 法を用いた自然災害のモデリングと数値解析)

本研究は、水面、地表面、積雪面などの界面の大変形を伴う現象と、それに伴う自然災害について、その運動学的メカニズムの解明、予測技術の確立、さらには防御方法の提案に貢献する数値モデルの開発を行ったものである。対象とする現象は、波浪、雪崩、土石流、ダム破壊等多様であるが、いずれも時空間的界面変化が極めて急で現象解明は容易ではなく、経済性をも鑑みた予測技術確立は極めて困難である。一方、地球温暖化による気象変化、特にゲリラ豪雨の増加等はこれらの災害発生を大規模化する可能性が指摘され、その対策は急務である。本研究はこのような困難かつ緊急な課題に対して、斬新な数値解析技術によるアプローチを試みている。

従来から、連続体解析手法として多用されてきたオイラー的アプローチは、その優れた経済性と多様な適用実績から培われた信頼性から、現在でも災害予測の主流的地位にあるが、界面の大変形を伴う現象に対しては適用性が著しく劣る。そこで、本研究ではオイラー的手法に代わり、ラグランジュ的手法に基づく粒子法の一種である SPH 法を採用した。これは界面の時空間的大変形を容易に補足できるとともに、計算格子を必要としない等の利点から、極めて有望なツールと考えられるが、自然災害への適用実績は十分とはいえない。

以上を鑑み、本研究では、まず SPH 手法を自然地形災害に適用する際の二次元、三次元モデルの定式化、計算スキーム、境界条件、モデル定数等を検討するとともに、従来からベンチマークとして多用されるダム破壊問題に適用し、その妥当性と精度を検証した。また、粒子法として SPH 法とともに利用される機会の多い MPS 法を同様な現象に適用し、SPH 法による計算結果と比較することで、両者の長所、短所を明確化した。

次に、雪崩現象への適用性について検討するため、構成則をニュートン流体モデルからビンガム流体モデルに拡張した。このモデルを実際の雪を用いた既往の小規模雪崩実験に対して適用した。この結果から、本モデルは雪崩の三次元的運動形態、フロントの進行速度、堆積形状、雪崩減勢工への雪の衝突と堆積等を極めて忠実に再現できることを示した。また、既往の MPS 法による計算結果とも比較を行い、その精度に遜色が無いこと、計算時間は MPS 法に比較して 70% 程度と小さく、経済性に優れることなどを提示した。

続いて、本モデルを粒子流現象へ適用するため、構成則に対して弾完全塑性体モデルを導入した。最初に極めて単純なスランプ試験に本モデルを適用し、その定量的再現性を検証した。次にこのモデルを、斜面上を砂が流れ落ち、格子状の減勢工に衝突する場合を想定した模型実験に適用した。本モ

デルによる再現性は良好で、砂粒子の動的挙動や堆積形状等を高精度に再現することが確認された。また、減勢工の格子要素配置を変化させた場合についても検討を行い、減勢効率が格子配置に大きく依存し、配置をスタガード型にすることで減勢効果が向上するという既往の実験結果についても、定量的に再現可能であることが確認された。この結果は、雪崩減勢工の設計に対する、本数値解析ツールの有用性を示すものといえる。

一方、不透過障害物型の減勢工周辺の粒子流の流動特性や、その効率的設計方法の検討に向け、いくつかの異なる形状の物体について、その周辺の粒子流挙動の再現性を検証した。対象とした物体の形状は、円柱及び四面体（ピラミッド型）とし、後者についてはスケールや設置方向の異なる数通りについて検討を実施した。これらの結果では、物体周辺の粒子流の迂回、下流側のデッドゾーン（粒子流が波及しない領域）の形成、物体上流側および側方の衝撃波の形成等を極めて良好に再現した。特に、下流側のデッドゾーンは、粒子流から防御された領域を示すものであり、本モデルによる減勢工の性能評価が可能であることを端的に示す結果といえる。

さらに、本モデルを水と土の相互作用を伴う現象に適用し、妥当性を検討した。この際、水は粘性流体、土は弾完全塑性体としてモデル化し、相互作用項については、浸透流と間隙水圧の効果を運動方程式に付加することでモデル化している。既往のダムブレークに伴う河床変動に関する実験と、防波堤背面の海岸洗掘実験の2つのケースに適用し、いずれにおいても妥当な結果を得ている。

以上のように、本研究では自然災害に対する SPH 法の適用性を多角的視点で検討したものである。結果は概ね妥当で、本モデルの高い実用性、汎用性が明確に示された。これを要するに、本研究はこれまで困難とされてきた、波浪、雪崩、土砂災害等の界面の大変形を伴う自然災害の定量的予測を可能とするとともに、これらへの対策立案に資する具体的かつ強力なツールを提供するものであることから、国内外の防災・減災に対して大きく貢献するものと判断される。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。