

京都大学	博士（工学）	氏名	Mohd Remy Rozainy Bin Mohd Arif Zainol
論文題目	A STUDY ON PARTICLE SEGREGATION PROCESSES IN DEBRIS FLOW BY AN EULAR-LAGRANGIAN COUPLED HYDRAULIC MODEL（オイラー・ラグランジュ結合型水理モデルを用いた土石流の粒子分離過程に関する研究）		
（論文内容の要旨） 本論文は、石礫型土石流の発達と扇状地形成に関して、特に粒径の大きな礫に着目した分級機構について急勾配水路と高速ビデオカメラ (HSVC) を用いた土石流流動堆積実験と、オイラー・ラグランジュ結合型水理モデルを用いた数値計算による比較を通じて粒径の異なる砂粒子を含む土石流の運動機構を扱ったものであり、以下の5つの章から構成されている。 第1章では日本および海外における土石流災害と、申請者が本研究においてなぜ巨礫の分級機構をオイラー・ラグランジュ型追跡にて行なうことになったきっかけについて述べられている。 第2章においては、過去の研究に従い土石流の定義、分類を行い、石礫型土石流における分級機構の解明における基本的な考え方が示されている。本研究においては、土石流を混相流とみなして、土砂と水の流れを一体としてその衝突の影響や間隙水圧の影響、そして分級機構のメカニズムを平均粒径の移動という形でのモデル化を行なった従来のオイラー型混相流土石流モデルによる研究に比較し、オイラー・ラグランジュ型2相モデルにて解析を行なう意義が述べられている。 第3章においては本学位論文の骨格をなす二つの異なる粒径を用いた模型実験の概要と結果が示されており、特徴的なのは従来のように平均流速をすべての粒径追跡から出すのではなく、二つの異なる粒径それぞれの粒子の運動に対する平均流速や粒子の移動パターンを追跡し、これらを粒子毎に分離、定量化したことである。水路部においては粒径成分が流体の中を浮上し、表面付近の高速流速成分によって遠距離まで運ばれる点、またそれらが緩勾配において堆積する際後続流を妨げ扇状地形状を形成する過程が、粒径の異なる粒子の運動の追跡により解析されている。扇状地においてはそれぞれの地点の粒径の比率が表現されており、過去の研究結果と同様の傾向が示されているといえるが、特に重要なのは粒径成分が大粒径が小粒径の粒子と流れをどのように阻害しその後の扇状地形成に影響しているかについて水路部での個別粒子の追跡から連なって示されていることであり、これが次章でのモデリングにつながっている。 第4章では、この実験結果を数値的に解明するため、オイラー・ラグランジュ結合型水理モデル Hydro Debris 2D (HD2DM) の開発とその適用について述べている。前章の実験により粒子間に多重衝突が確認されなかったことから、モデルにおいては「衝突は個別に起こる」と仮定されている。また粒子の運動の流体への影響についてはPSI-CELL法を用いて負の生成項として示されている。本モデルにおいては土粒子の集積による間隙水の過剰な移動による応力の影響については述べられていないが、実験結果から粒子の間隙は十分な距離があり、これらの影響を無視してもこの二粒径の土石流への数値予報には影響がない条件での数値解析であるといえる。高速ビデオカメラを用いた実験結果との比較においては平均流速だけではなく、個別の粒子毎の流速のばらつきも含めて検証されており、本論文の大きな特徴である。さらに分級の発生メカニズムおよび粒子にかかる揚力と重力作用のバランスについて、モデルにおける抗力係数と仮想質量係数を変化 (0.2, 0.35, 0.5) させて流動再現を行い、モデル計算			

京都大学	博士（工学）	氏名	Mohd Remy Rozainy Bin Mohd Arif Zainol
に最適な仮想質量係数 (0.35) を提案しており、従来一定値が設定される仮想質量係数を、そのメカニズムに応じて本係数を修正すべきであるという点は重要な指摘であり発見であるといえる。 第5章は結論であり、本研究での新たな知見が総括されている。また本研究においては十分に議論できなかった事象（三次元解析・完全なる混合粒径等）について述べ、本研究が今後どのように発展すべきかについてとりまとめている。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、石礫型土石流の発達と扇状地形成に関して、特に粒径の大きな礫に着目した分級機構について急勾配水路と高速ビデオカメラを用いた土石流流動堆積実験と、オイラー・ラグランジュ結合型水理モデルを用いた数値計算による比較を通じて粒径の異なる砂粒子を含む土石流の運動機構を扱ったものであって、その成果は以下のようである。

1. 急勾配水路を用いた土石流流動堆積実験においては、粒径の異なった二つの砂粒子の流動過程を画像解析による粒子追跡を異なる三つの勾配(15° , 20° , 25°)について行った。これにより各勾配において巨礫を模した大粒径成分が流動層上層部に集中し、それにより比較的早い流速により土石流先端部に運ばれる様子を、土石流先端部・流動中間部・後続流部分において粒子毎の流速分布を明らかにし、分級機構が発生していることを粒子の速度追跡で実証的に示した。
2. 急勾配水路下流部の堆積扇状地においては、大粒径成分と細粒径成分の最終的な空間分布を明らかにし、流動層部分での分級機構が最終的な扇状地形成にどのように影響を与えているのかについて明らかにした。特に大粒径成分による後続流の閉塞効果についても定性的・定量的にその特徴を示した。
3. 鉛直二次元のオイラー・ラグランジュ結合型水理モデルを用いて上記 1. で実験的に得られた結果と同じ条件の流動場を再現し、細粒径成分と大粒径成分それぞれについて粒子の流速分布を実験結果と比較した。分級の発生メカニズムおよび粒子にかかる揚力と重力作用のバランスについて、モデルにおける抗力係数と仮想質量係数を変化(0.2, 0.35, 0.5)させて流動再現を行い、モデル計算に最適な仮想質量係数(0.35)を提案した。

以上のように、本研究では、従来から知られていた石礫型土石流の分級機構について粒子追跡と結合型水理モデルにより個々の粒子レベルでの運動メカニズムの解明と再現を試み、一定の成果を上げており、今後のこの種の現象の数値予測に資するものと考えられる。よって、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24年1月25日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。