

令和元年6月4日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16375

研究課題名（和文）土石流の急激な侵食発達機構の解明と粒子法による評価手法の開発

研究課題名（英文）Rapid erosion mechanism of debris flow and development of numerical simulation method based on particles method

研究代表者

鈴木 拓郎（SUZUKI, Takuro）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：60535524

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：不飽和堆積物上において土石流規模が急激に増大するメカニズムを実験により検討した。緩勾配条件では土石流は停止と再移動を繰り返して規模はほぼ変化しないが、急勾配条件域では土石流が一旦停止して後続流と共に規模を増大させて一気に流出した。このような現象を再現するための計算手法を、既存の土石流の粒子法モデルに不飽和浸透モデルを導入することにより開発した。開発手法を用いて実験結果を再現可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

不飽和浸透過程を伴う土石流の数値計算手法はこれまでにほとんどなく、先進的なモデルである。また、土石流が侵食発達によって急激に規模が増大するメカニズムは未解明であった。この手法を用いることでこのような複雑な現象が再現可能となったことは学術的に意義は大きい。また、土石流規模の予測精度が高まり、効率的な土石流対策が可能となることが期待され、社会的意義も大きいと言える。

研究成果の概要（英文）：The influence of unsaturated infiltration process on debris flow was clarified by channel experiment. Debris flow repeatedly stops and remigrates under low gradient conditions. On the other hand, in the steep gradient condition, the debris flow stopped once and flowed out with the subsequent flow. The calculation method to reproduce such phenomena was developed by introducing the unsaturated infiltration model into the existing particles method model of debris flow. It is shown that the experimental results can be reproduced using the developed method.

研究分野：山地防災学

キーワード：土石流 粒子法 不飽和浸透 侵食過程

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

火山噴火が発生した場合、堆積した火山噴出物によって土石流が発生しやすくなることは広く知られている。また、小規模崩壊に起因する土石流が急激に侵食・発達し、甚大な被害をもたらす場合がある。例えば、2014年の南木曾や広島の土石流災害は記憶に新しく、1999年の広島土石流災害では10倍以上の規模に発達したことが明らかになっている。土石流研究は氾濫・堆積過程が中心であったが、近年は侵食・発達過程が注目され、評価手法の研究が進められている。しかしながら、既存の評価手法(シミュレーション手法)は侵食量を過大に評価する傾向があり、本当に危険な箇所・条件の評価ができなかった。

### 2. 研究の目的

本研究は、山地災害の中でも特に大きな被害をもたらす土石流の侵食過程の評価手法の高度化を目指すものである。この侵食過程においては、火山噴出物の堆積によって土石流が侵食・発達しやすくなる場合、小規模崩壊に起因する土石流が10倍以上の規模に侵食・発達する場合などがあるが、現象の侵食過程の詳細なメカニズムは解明されておらず、従来の評価手法では合理的に評価できない。本研究では、水路実験と数値実験によって河床水分条件の変化が土石流の侵食発達過程に及ぼす影響を明らかにするとともに、粒子法に不飽和浸透過程を導入した新たな計算手法を構築する。これらを通じて、土石流規模が急激に増大する支配条件を明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究では、不飽和浸透過程と土石流の侵食過程の関係に着目した水路実験・数値実験、不飽和浸透過程を導入した粒子法モデルの構築、不飽和浸透現象と土石流の侵食発達過程の相互関係の検討を3年間で実施し、最終的に土石流規模が急激に増大する条件を検討した。

まず水路実験では河床堆積物の材料や初期水分条件を変化させる条件のもとで行った。それと同時に計算モデル構築を水路実験結果を検証材料にしながら並行して行った。完成したモデルを用いて再現計算を行い、これらの結果を取りまとめて最終検討を行った。

また、粒子法による計算手法は計算量が膨大であるため、計算の効率化についても検討を行った。

### 4. 研究成果

(1) 土石流の侵食・堆積過程と不飽和浸透過程の関係に関する水路実験を行った。河床の水分条件、土石流の構成材料の粒径、河床勾配、供給流量を変化させて実験を行った。実験では、不飽和堆積層に土石流が侵入した際に、堆積層上で一旦停止した後、後続の土石流と共に一気に流出する結果が急勾配条件で生じた。それよりも緩い勾配では細かな停止・減速を繰り返した。図-1は17度、25度の条件の結果を示したものである。17度は停止・移動を繰り返す条件であり、不飽和堆積物上に侵入した土石流とほぼ同程度の流量の土石流が下流に流出している。25度の条件では、不飽和堆積物の下流端まで到達して停止した土石流が後続流と一体となって一気に流出した。流出時の土石流流量は侵入時よりも大きい。

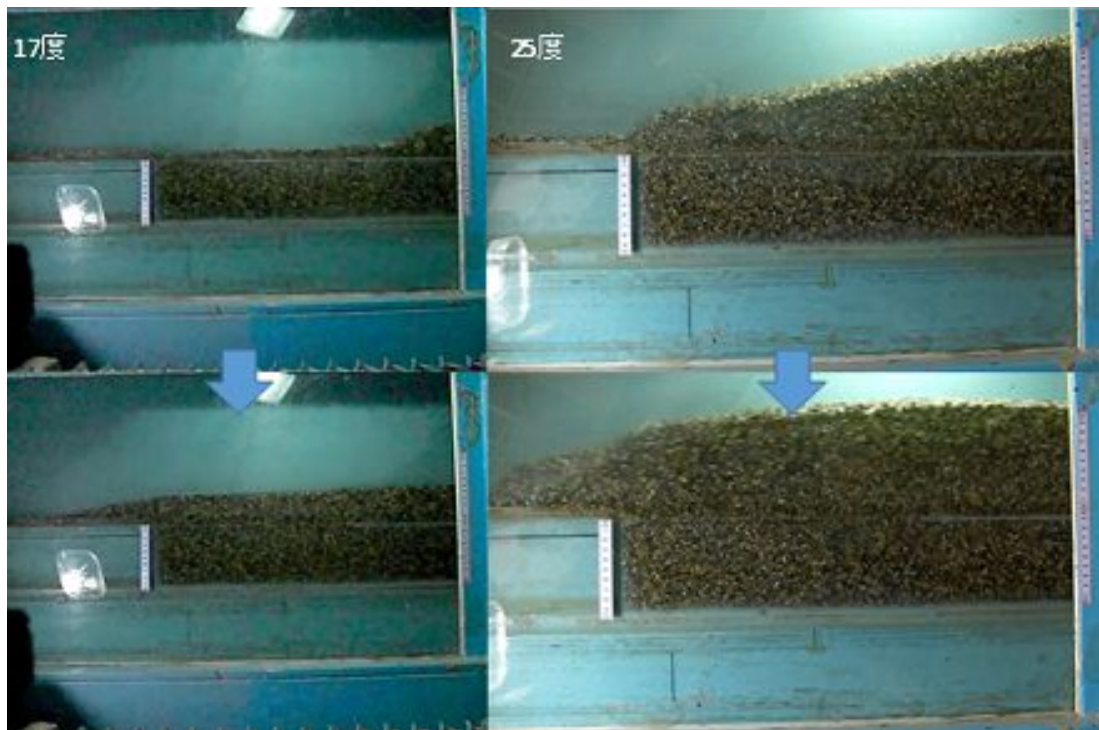


図 1 不飽和堆積層の土石流の挙動の実験結果

この急勾配領域における現象は土石流発生源頭部における段波の形成やピーク流量の増大と関連していると考えられる。特に、河床勾配が飽和堆積物の移動限界勾配（約 22 度）よりも大きいか否かで現象が大きく変化すると考えられる。

(2) 不飽和浸透過程を粒子法に導入するために、次のようなモデルを構築した。各粒子に含水率のパラメータを付与する。全水頭の差に応じて含水率を影響範囲内の粒子と交換させ、移動させる。含水率の交換量はダルシーの法則に基づき、粒子間距離による重み付けを考慮する。不飽和堆積層に水が浸透する場合、見かけの体積が減少するため、粒子 1 個分が浸透した際に表面の粒子を消去する。このようなモデルを既存の土石流の粒子法に導入して計算モデルを開発した。この計算モデルを用いて実験結果の再現を試みたところ、水が浸透した分の粒子を消去する方法において、全領域一括でカウントすると緩勾配条件での結果を再現できなかった。そこで、計算領域を分割し（約粒子 4 個分毎）、分割計算領域毎にこの方法を適用したところ、勾配に関わらず実験結果を概ね再現可能となった（図 2）。

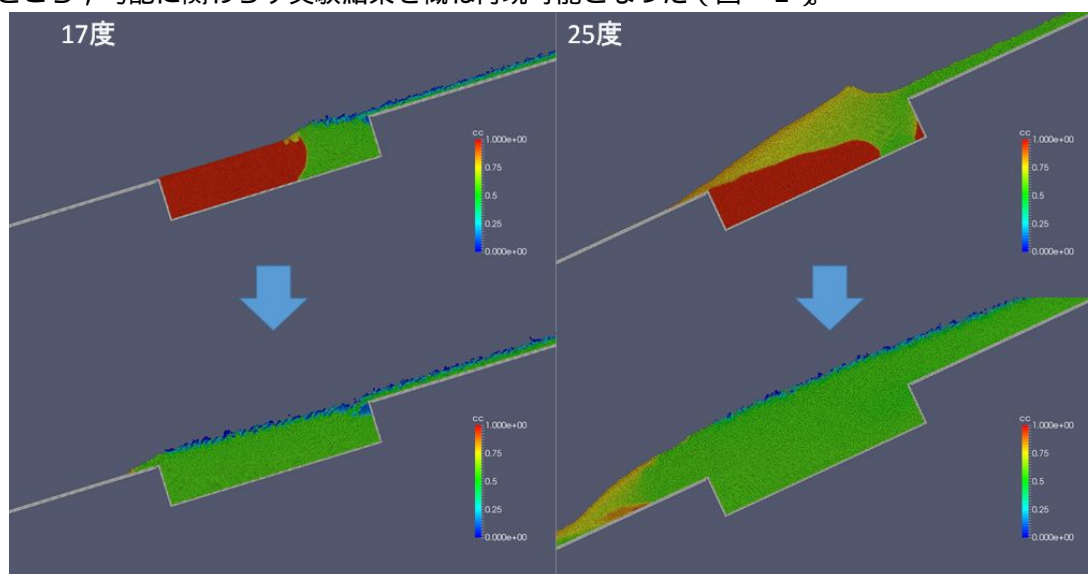


図 - 2 不飽和堆積層の土石流の挙動の粒子法による計算結果

(3) 開発した計算モデルは不飽和堆積物上の土石流の複雑な挙動を再現可能であるが、粒子法は計算量が膨大であり、全ての領域に粒子法を適用することは現実的ではない。そこで、必要な領域のみを粒子法で計算し、その他の領域は従来の格子法で計算するハイブリッド法を開発した。図 - 3 は堰堤への堆積過程を対象とした粒子法と格子法を連結した手法（MPS-GBS）の計算結果と粒子法のみ（MPS）による計算結果を示している。粒子法と格子法を連結した手法は、粒子法のみと同様の結果を再現可能であった。図 - 4 はそれぞれの手法による計算時間を示したものである。MPS-GBS は MPS に比べて計算時間が減少していることがわかる。計算時間は概ね計算粒子数の減少数に比例して減少した。

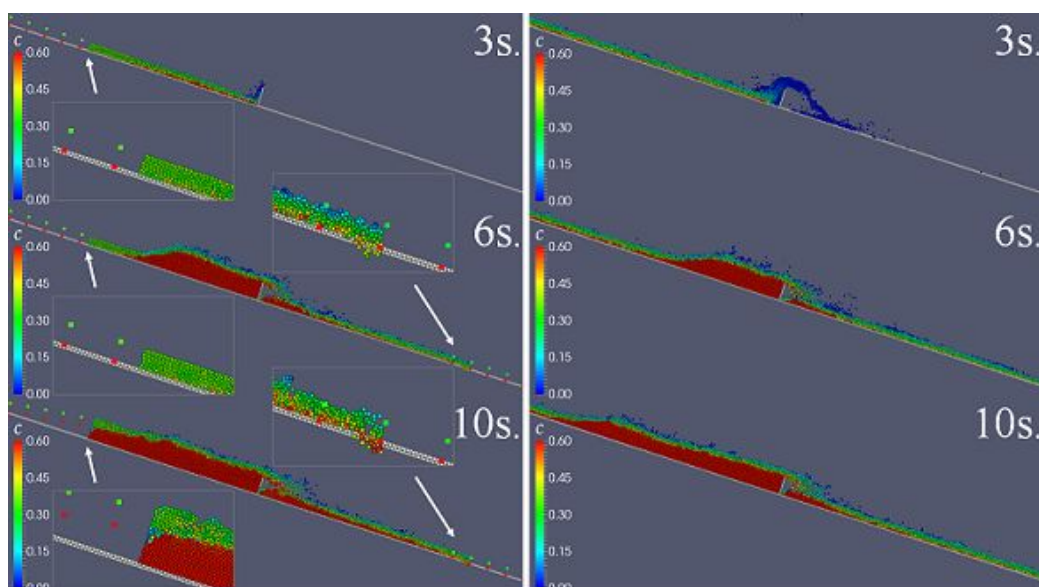


図 - 3 粒子法と格子法の連結手法の計算結果（左）と粒子法のみによる計算結果（右）

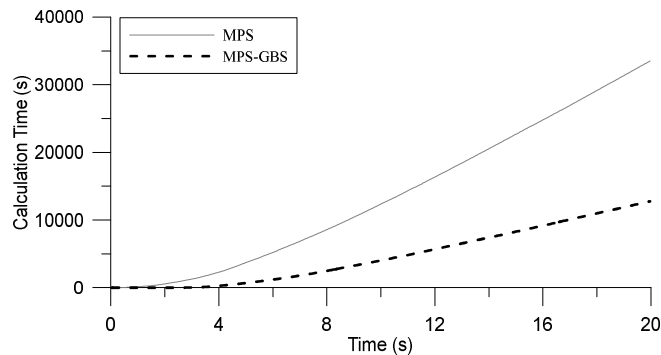


図 - 4 計算時間

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計2件)

鈴木拓郎, 堀田紀文, 粒子法と格子法を結合した土石流シミュレーション, 砂防学会誌, 査読有, 71(2), 2018, 13-21

鈴木拓郎, 堀田紀文, 岩田知之, 土石流の粒子法モデルの改良による高速化と侵食過程への適用, 第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 査読有, 2016, 193-198

### 〔学会発表〕(計4件)

鈴木拓郎, 堀田紀文, 粒子法と格子法を結合した土石流シミュレーション手法に関する検討, 平成30年度砂防学会研究発表会, 2018

鈴木拓郎, 堀田紀文, 経隆悠, 酒井佑一, 粒子法による土石流のシミュレーション手法における濃度解析モデルの修正, 日本地すべり学会第55回研究発表会, 2017

鈴木拓郎, 堀田紀文, 経隆悠, MPS法に基づいた土石流による扇状地形成過程のシミュレーション, 計算工学講演会, 2017

鈴木拓郎, 高濱淳一郎, 堀田紀文, 天然ダムの決壊過程の粒子法シミュレーション, 平成29年度砂防学会研究発表会, 2017

### 〔図書〕(計1件)

鈴木拓郎, 粒子法を使って流木の動きを再現して治山対策に活かす, 季刊森林総研, 41, 2018, pp.2-3

### 〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

### 〔その他〕

ホームページ等

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/research/saizensen/2018/20180731-01.html>

## 6. 研究組織

### (2)研究協力者

研究協力者氏名: 堀田 紀文

ローマ字氏名: (HOTTA, norifumi)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。