

粒子法を用いた土砂崩れのビジュアルシミュレーション

和田 健太郎¹ 竹島 由里子¹ 加納 徹¹

東京工科大学

1. はじめに

土砂崩れは、斜面表層の土砂や岩石が滑り落ちる現象のことである [1]。日本においては、国土面積の約7割が山地や丘陵であることに加えて、降水量も多いことから [2]、年間1000件近くの土砂崩れが発生している [3]。そのため、土砂崩れが起こりうる場所や、発生時の被害状況などを推測することが必要とされている。一部の地域では実地調査が行われているが、全国各地の状況を把握することは大変困難である。また、地形や土壌の物性、堆積量などによって、土砂の移動速度や到達範囲が大きく異なるため、特定の地域の調査で得られた情報を元に、各地の被害を予測することは危険である。以上のことから、地形や土壌を考慮した、被害予測のシミュレーションを実施することが望ましい。しかし、土砂の挙動を数値的に解く技術は確立されておらず、現状正確な計算を行うことはできない。

一方、土砂崩れの被害の予測で最も重要となる情報は、土砂の到達範囲である。正確なシミュレーションを実施することができなくても、土砂の到達範囲の情報を得ることができれば、降雨時の危険地域の指定や、植林による被害の予防に活用可能である。そこで本研究では、粒子法を用いた土砂崩れのビジュアルシミュレーション手法を提案する。本システムにより、全国各地の土砂災害の被害予測が視覚的に理解できるようになり、被害の予防に役立つことが期待される。

2. 関連研究

関連研究として、大野らの「粒子法による山地での流れシミュレーションの特徴」を挙げる [4]。この研究では、2次元平面での浅水流方程式と粒子法を用いた、土石流シミュレーションの現状について述べている。粒子法により土石流を解析する場合、粒子数が膨大になってしまい、困難になる。これに対し差分法だと、ほとんどが浅水流方程式を解いている。浅水流は水深方向の情報を積分しているため、解析負荷が大幅に軽減される。従って、浅水流方程式は粒子数が多い土石流などに強みを発揮する。そのため

著者らは、差分法と同様に粒子法においても浅水流方程式を解くことが、大きな利点になると考えている。しかし、SPH法により浅水流の計算は行われているものの、現状は水流体のみを対象としており、土石流の解析には至っていない。

3. 提案手法

本研究では、越塚らが提案したMPS法 [5]を参考に、土砂崩れのビジュアルシミュレーションを試みる。

3.1 粒子法による計算

計算には、以下に示すナビエ-ストークス方程式と、質量保存則を用いる。

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla P + \nu\nabla^2 u + g \quad (1)$$

この式を、粒子間相互作用モデルを用いて解くことで、流体シミュレーションが可能となる。ナビエ-ストークス方程式の右辺を計算すると加速度ベクトルが求まり、この加速度ベクトルを使用することで、流体粒子の位置が計算される。しかし、右辺を計算する上で、圧力が未知数であるため、ナビエ-ストークス方程式だけでは、粒子の加速度が求まらない可能性がある。このため、以下の質量保存法則を導入する。

$$\frac{Dp}{Dt} + p\nabla \cdot u = 0 \quad (2)$$

また、計算は粒子の密度が一定になるという条件のもと行われる。

3.2 粒子の配置

粒子法の計算をする上で、まず粒子の配置を行う必要がある。粒子の種類としては、壁、水、土の3種類を考える。

地形部分には、位置が固定の壁粒子を用いる。国土地理院が提供している標高データをもとに、壁粒子を配置することで、地形が再現可能となる。ここで、壁粒子の隙間から液体粒子が漏れることを防ぐため、5つの壁粒子を縦に配置する。また、壁粒子で再現した地形の上には、木を配置する。本来、木は弾性体として扱うべきであるが、ここでは簡易的に、壁粒子を用いて木を再現するものとする。

*Visual simulation of landslides using MPS method

¹ Tokyo University of Technology

土砂部分には、水と土を想定した、2種類の液体粒子を用いる。本研究では簡単のため、水粒子は粘性が低く、土粒子が粘性が高い液体粒子であるものとする。まず、水粒子を地形の上に、木と重ならないよう配置する。そして、水粒子の上に、土粒子を配置する。このように、粘性の低い粒子と粘性の高い粒子を混ぜて使うことで、単一の粘性で構成された粒子の配置よりも、実際の土砂崩れに近いシミュレーションが行われると考えた。

4. 実験結果

以下に、実験条件および実験結果を示す。

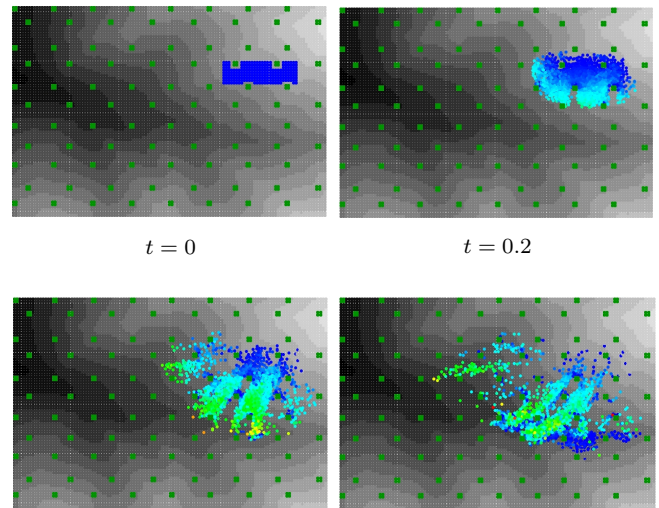
まず、国土地理院が提供している標高データ（静岡県浜松市天竜区佐久間町大井）を用いて、 $120 \times 80 \text{ m}^2$ の領域に、直径 1 m の壁粒子を配置することで、地形を再現した。次に、木を想定した壁粒子を、地形上に等間隔に並べた。木を構成する粒子数は、縦横が 2×2 、高さが 10 としている。最後に、標高の高い領域 $30 \times 10 \text{ m}^2$ の範囲に、粘性の値が $0.00001 \text{ m}^2/\text{s}$ の水粒子を縦に 3 つ、粘性の値が $0.01 \text{ m}^2/\text{s}$ の土粒子を縦に 3 つ配置した。また、比較のため、水粒子を縦に 6 つ配置した条件も用意した。今回の実験において、壁粒子の総数は 52525、液体粒子の総数は 1374 となった。

プログラムの実装および可視化は Java で行った。シミュレーションを実行し、可視化を行った結果を図 2 および図 1 に示す。図 2 は、水粒子のみを配置した結果であり、図 1 は、水粒子の上に土粒子を配置した結果である。粒子は速度で色付けしており、色相が青に近いほど速度が低く、赤に近いほど速度が高いことを表している。また、時刻 t の単位は秒である。 $t = 0.2$ までは、どちらの条件でも同様の結果を示しているが、 $t = 0.4$ 以降では、粒子の速度や到達地点に変化が見られた。水粒子のみ場合、速度は増加傾向にあるが、土粒子と水粒子を混ぜた場合、一定の速度に落ち着いている。これは、等間隔に並べた木によって、土砂粒子の速度が抑えられたためだと考えられる。

5. まとめと今後の課題

今回、粒子法において、異なる粘性の液体粒子を複合的に利用することで、土砂崩れのビジュアルシミュレーションをする手法を提案した。その結果、単一の粘性を持つ液体粒子とは異なる挙動を観察することができた。しかし、本実験におけるパラメータの設定に物理的な根拠はなく、提案手法でどの程度土砂崩れを再現できるかについては、明らかになっていない。

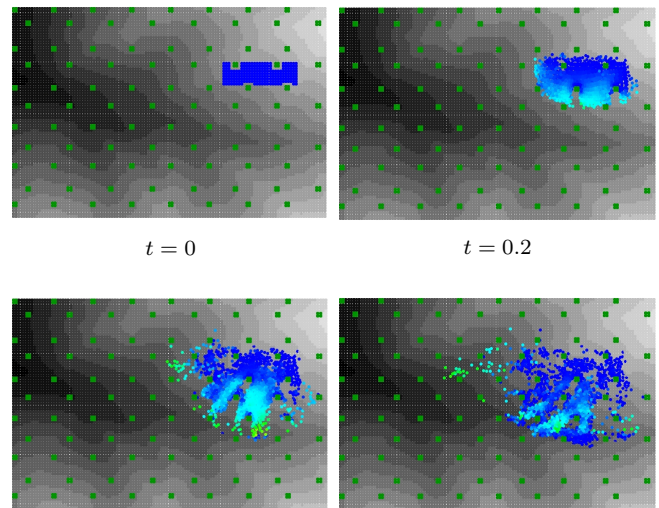
今後は、土砂の到達範囲をより正確に把握できるようにするため、実際の土砂崩れの映像や、検証実験により、粒子のパラメータを決定する方法について検討していく。



$t = 0$ $t = 0.2$

$t = 0.4$ $t = 0.6$

図 1 水のシミュレーション結果



$t = 0$ $t = 0.2$

$t = 0.4$ $t = 0.6$

図 2 土砂のシミュレーション結果

参考文献

- [1] 防災基礎講座“自然災害について学ぼう”（オンライン）入手先 http://dil.bosai.go.jp/workshop/01kouza_kiso/houkai/slide.htm（参照 2017-01-10）.
- [2] 世界各国の降水量（オンライン）入手先 <http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/hakusho/h20/data/html/js004090.html>（参照 2017-01-10）.
- [3] 土砂災害発生状況（オンライン）入手先 http://www.mlit.go.jp/river/sabo/taisaku_syojoho/dosyasaigai_hasseijokyo.pdf（参照 2017-01-10）.
- [4] 大野亮一，龍見栄臣：粒子法による山地での流れシミュレーションの特徴，国際防災技術株式会社（2015）.
- [5] 越塚誠一，柴田和也，室谷浩平：粒子法入門，丸善出版（2016）.