

格子法を用いた火山地域における土石流の影響範囲の推定手法

京都大学大学院農学研究科 ○中谷加奈・古谷智彦
立命館大学理工学部 里深好文
政策研究大学院大学 水山高久

1. はじめに

近年、2012年熊本県阿蘇市、2014年伊豆大島などの火山地域で土石流が発生した。火山地域で発生する土石流は構成材料が比較的細かいのが特徴である。伊豆大島土砂災害では、火山地域に特有の谷が明瞭でない地形だったため、崩壊発生域に近い急勾配領域から土砂移動が流下方向だけでなく横断的にも広がり、分流や合流を繰り返しながら移動したことが確認された。

土石流の影響範囲を検討するには数値シミュレーションが有効なツールである。近年は粒子法や個別要素法の開発も進んだが、時間・空間的な制約があるため現状では限定された領域での適用が殆どである。実務や研究では土石流を混合流体として運動を固定した計算点上に配置した物理量の変化で表現する「格子法」と呼ばれる数値解析法が利用されることが多く、土石流の発生・流動から下流への氾濫・堆積の一連の挙動を容易に表現することができる。

本稿では、格子法を用いたHyperKANAKOシステムを適用して、火山地域の土石流を解析した。領域の設定方法¹⁾、家屋の考慮²⁾、流体相密度の設定方法³⁾を变えることで、従来手法や実現象との比較、検証を行い、効果的な火山地域での影響範囲の推定手法を整理した。

2. 伊豆大島土砂災害-領域の設定方法と家屋の考慮-

伊豆大島土石流の数値シミュレーションを実施した。地形データは国土地理院が公開している災害前の数値データを利用し、計算対象は大金沢本川のみとした。

一般的な土石流計算では急勾配の土石流の流動領域を一次元領域とし、氾濫開始点付近を二次元領域との境界に設定する。境界の設定方法をCase1では従来手法の氾濫開始点に、Case2では境界を通常よりも上流に設定した。Case1、2とも家屋は考慮しない。また、上流域から二次元領域とする手法を採用して、元町に位置する家屋位置の地盤高を6m上げるCase3を実施した。その他の条件は同じとして、ピーク流量 $500\text{m}^3/\text{s}$ 、継続時間600秒、土砂濃度30%として上流から土石流を供給し、粒径は20cm、細粒が多いことから流体相密度 $\rho = 1.2\text{g}/\text{cm}^3$ とした。一次元領域は5m間隔、二次元領域は10mメッシュで、不安定土砂は考慮しない。計算終了時の痕跡（水深+堆積厚の最大値）を図1に示す。

氾濫開始点を境界としたCase1では二次元領域の上

流部で3m程度の痕跡が発生する。しかし、痕跡は流路沿いにしか見られず、元町で流路沿いだけでなく右岸側にまで広がった氾濫や土砂移動は全く表現されていない。地形の設定方法によるものだが神達の水・土砂の挙動も表現できない。

上流に境界を設定したCase2では、大金沢本川の流下範囲とよく一致して、元町の氾濫状況や下流における右岸への広がり、大金沢堆積工での堆積状況、堆積工の上流で5m程度の痕跡が見られる点は、災害後の土砂移動とよく対応する。流れは堆積工より上流で二方向に分かれ、一方はそのまま堆積工へと流れるが、もう一方は神達の方へ流れて一部で5m以上の痕跡も見られ、本川から神達へ土石流が到達した状況を示す。

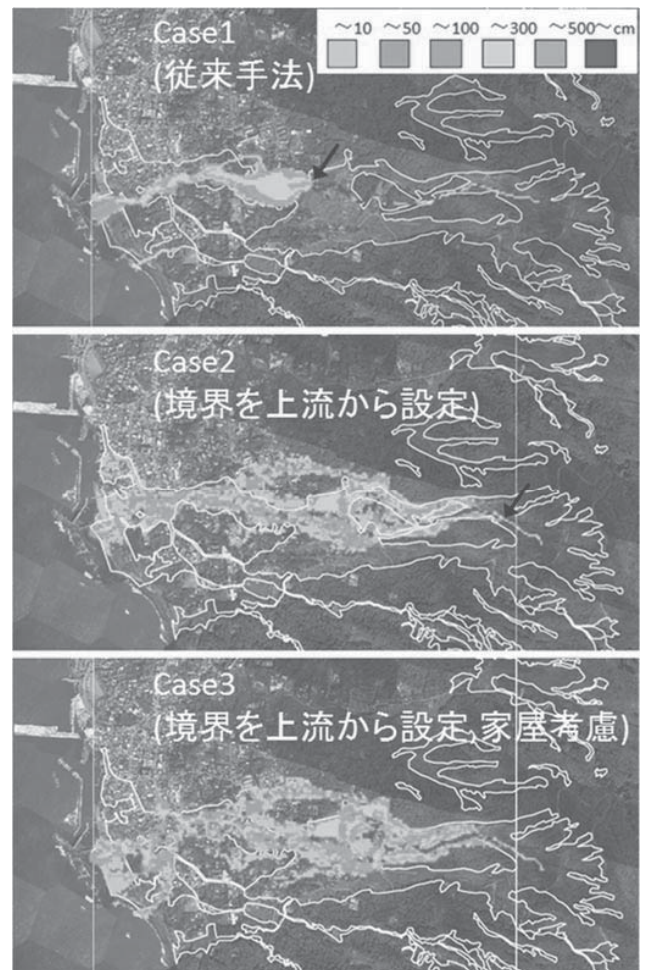


図1：HyperKANAKOによる伊豆大島の計算結果
(白枠線は(独)土木研究所による流下範囲)

上流から二次元領域を設定して家屋を考慮した Case3 では、Case2 と同様に下流の元町では実際の流下範囲の外縁は対応するが、Case2 では元町の下流側で右岸方向に広がっているのに対して、Case3 では左岸方向に広がり、その範囲は異なる。家屋を考慮しない Case2 は元町に 0.5-1m の痕跡がほぼ一様に広がるのに対して、家屋を考慮した Case3 は一様に広がるのではなく 3m を超える顕著に大きな痕跡が局所的にみられた。顕著な痕跡がみられた箇所は家屋が並んで存在した交差点や閉塞した橋の周辺に該当する。本検討は流木による橋の閉塞は考慮していないが、家屋を考慮したことで家屋群や道路が表現されて、特に交差点付近に多く存在した家屋が流れを阻害したことで大きな値の痕跡が現れたと推測される。実際の被害状況も、このエリアで一様な痕跡ではなく局所的に大きな痕跡を示しており、Case3 がより現象を表現している。

3. 熊本県阿蘇市土井川の土石流—流体相密度の設定—

細粒土砂が土石流の流体相に取り込まれた影響を評価する方法として流体相密度 ρ を大きく設定する方法が提案・適用されている^{例えは3)}。土井川で発生した土石流について、細粒分が多く含まれて比較的下流まで到達したことを考慮して、 ρ に着目した計算を実施した。

地形条件は災害前に計測された DEM データを利用した。家屋は考慮しない。供給ハイドログラフや計算条件は既往検討⁴⁾を元に設定した。礫分主体で細粒分が流体相に含まれない土石流を想定した $\rho=1.0 \text{ g/cm}^3$ の Case4 と、実際の土石流を元に細粒分が多い土石流を

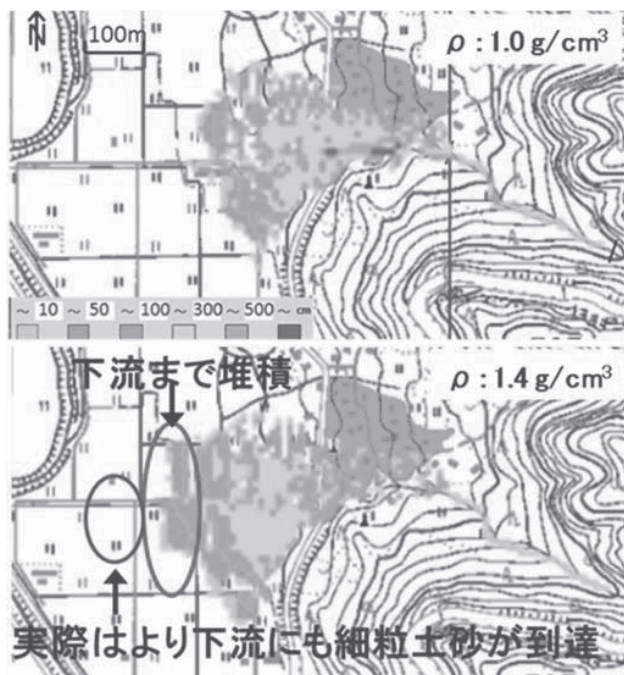


図 2：HyperKANAKO による土井川の計算結果
(上段：Case4、下段：Case5)

想定した $\rho=1.4 \text{ g/cm}^3$ の Case5 を実施した。計算終了時の堆積厚を図 2 に示す。

結果から、 $\rho=1.4 \text{ g/cm}^3$ の Case5 の方が下流まで堆積して、実現象に近い結果となった。しかし、実際には更に下流側まで堆積が確認されている。HyperKANAKO は高橋モデルを採用しており、これは石礫型土石流を対象としたモデルである。このシステムで火山地域のような細粒分の多い土石流を表現するには、 ρ の設定方法が重要であることが確認された。

4. おわりに

火山地域の土石流を格子法で解析する場合は、地形の設定方法を、急勾配領域から二次元領域を設定することが有効であることが示された。谷が明瞭な溪流で上流から二次元領域を設定しても結果は一次元領域で設定した場合と大きく変わらないため、計算時間や PC の性能に制限が無ければ一次元領域を極めて短くして大部分を二次元領域とすることが推奨される。

家屋の影響を考慮することで家屋周辺での堆積や、相対的に低い道路上の移動、交差点や狭窄部での局所的な水位上昇も一部で示され、災害事例とも対応した。今後、数 m 等の細かいメッシュを採用すると、より詳細な家屋位置や細い道路を表現した検討や、家屋向きの検討も可能となると考えられる。流体力を指標とした構造種別による被害程度の違いなども今後検討する。

細粒分を多く含む土石流は、細粒が流体相に取り込まれる影響を考慮して ρ を大きく設定する ($1.2 - 1.4 \text{ g/cm}^3$) と現象をよく説明することが示された。しかし、 ρ の定量的な設定方法はまだ明らかになっていないことから、今後の土石流危険溪流における粒度分布や流下・堆積範囲の情報収集や、水理実験による合理的な流体相密度の設定方法の提案、実現象との検証等が課題である。

謝辞

本研究は、平成 27 年度河川砂防技術研究開発、(一財)砂防・地すべり技術センター受託研究「大規模土砂移動の影響範囲の予測とその対応手法の整理」の助成を受けたものです。伊豆大島の土石流の流下範囲は独立行政法人土木研究所 火山・土石流チームに貴重なデータを提供頂いた。土井川の DEM データは国土交通省九州地方整備局に提供して頂きました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 中谷ら (2014)：土石流数値シミュレーションの一次元計算領域と二次元計算領域の設定方法の検討—GIS と連携した Hyper KANAKO システムを活用して—, 自然災害科学, Vol.33, 特別号, pp.13-26
- 2) 中谷ら (2015)：扇状地における家屋の存在が土石流の氾濫・堆積に及ぼす影響 - 2013 年 10 月伊豆大島土砂災害を対象として -, 自然災害科学, Vol.34, 特別号, pp.77-86
- 3) 古谷ら (2015)：火山地域の大規模土砂異動による被害範囲の推定手法の検討, 平成 27 年度砂防学会研究発表会概要原稿集 B, pp.248-249
- 4) 中谷ら (2014)：土石流の氾濫・堆積に及ぼす家屋の影響—平成 24 年 7 月熊本県阿蘇市土井川で発生した土石流を対象として—, 第 7 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.85-90