

高解像度地形データを用いた 土石流シミュレーションの高度化と 可視化に関する研究

田原 菜月¹⁾・大中 臨²⁾・赤松 良久²⁾

¹⁾山口大学工学部社会建設工学科, ²⁾山口大学大学院創成科学研究科

1. はじめに

近年, 気候変動に伴う豪雨災害の増加により, 土石流災害の発生リスクが高まっている。避難判断や防災対策を適切に行うためには, 事前に土石流の挙動や到達範囲を把握する必要がある。しかし, 平面で示された既往のハザードマップでは土石流の流動過程を直感的に理解することが難しい。一方, 近年は, リモセンを活用した測量の発展が目覚ましく, 従来よりも簡易的に高解像度地形データや3次元の点群データが得られる。当該データを用いることで土石流シミュレーションの高精度化や可視化の高度化が期待できる。

本研究では, 高解像度地形データを用いた土石流シミュレーションと当該結果を用いた三次元的な可視化を実施し, 土石流の流動範囲や到達可能性を分かりやすく示す手法について検討することを目的とした。

2. 現地調査

2.1 現地調査方法

山口県美祢市に位置する厚狭川水系古屋北川を対象として, 3基の砂防堰堤および下流側の於福小学校周辺を含む区域で現地調査を実施した(図-1)。対象域において, Matrice300 RTKによるレーザー測量と, Mavic3 Enterpriseによる写真測量を実施した。これにより, 対象域の標高・オルソ画像および三次元モデルを入手した。レーザー測量で得られた点群データはDJI terra(DJI)を用いて解析し, 写真測量ではUAVによって撮影された静止画からMetashape(Agisoft)を用いてSfM-MVS(GCP: GNSS測量より得られた対空標識の座標)解析を実施した。

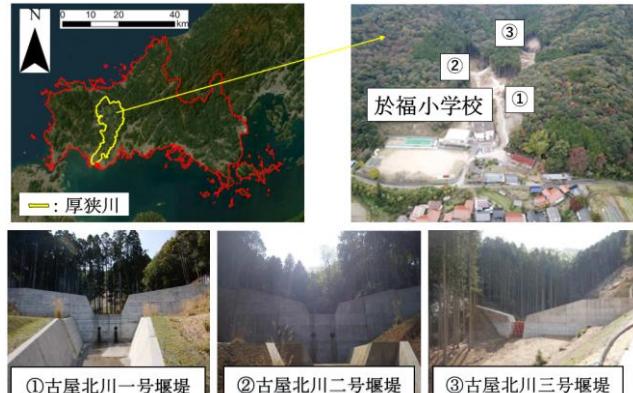


図-1 調査対象域

2.2 調査結果

対象区域の高解像度三次元地形データを取得することができ, それらを図-2に示す。UAV写真測量では3cm/pix, レーザー測量では50cm/pixの解像度で対象域の標高データおよびオルソ画像が得られた。また, UAV写真測量では, 建物や校庭を含む現実的な景観を三次元空間で高解像度に再現可能であった。一方で, 植生や構造物が存在する箇所では, であった。一方で, 植生や構造物が存在する

箇所では、それらを含めた表層形状として表現されるため、地表面形状の把握が困難であった。レーザー測量では、点群分類により地表面と判定されたグラウンドポイントを抽出することで、植生の影響を低減したDEMを作成することができた。しかし、樹林が密な斜面や水面下ではグラウンドポイントが十分に取得されない箇所があり、これらの領域では地表面の標高データに欠損が生じることが確認された。精度については、UAV写真測量の成果は国土地理院が示す地図情報レベル250の基準を満たしていることが確認された。一方、UAVレーザー測量については一律の許容誤差は定められていないものの、本調査ではIMUトラジェクトリ誤差が数cm程度と小さく、総合的に土石流解析に用いる地形データとして十分な精度を有すると判断した。

以上より、両手法はそれぞれ異なる特性を有しており、目的に応じて補完的に利用可能であることが確認された。

3. 土石流シミュレーション

3.1 解析方法

本研究では、iRICのMorpho2DHを用いて土石流シミュレーションを実施した。現地調査によって得られた地形データを初期条件として、砂防堰堤の有無と地形データを変更した6ケースで解析を実施した。

(表-1)。解析に用いた地形データは、5mDEM、レーザー測量、UAV写真測量であり、レーザー測量およびUAV写真測量データについては、樹木等の影響を除去した地形データを作成し、5mDEMと統合したDEMを用いた。図-3に、解析対象範囲および源頭部の設定位置を示す。土石流の発生源となる源頭部は、江口¹⁾による土石流被災リスク評価結果を参考に設定した。

また、解析に用いた主な計算パラメータを表-2に示す。地形格子間隔、土砂密度、内部摩擦角、掃流層厚さなどの各種パラメータは、既往研究²⁾および現地条件を参考に設定した。これらの条件の下で、各ケースについて土石流の流動・堆積過程を計算した。

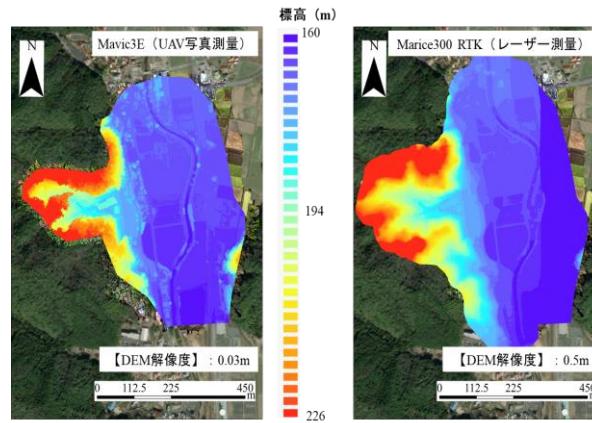


図-2 両手法で得られた地形データ

表-1 解析ケース

解析ケース	地形データ (DEM解像度)	砂防堰堤
Case1	国土地理院5mDEM (5.0m)	あり
Case2		なし
Case3	レーザー測量 (0.5m)	あり
Case4		なし
Case5	UAV写真測量 (0.03m)	あり
Case6		なし

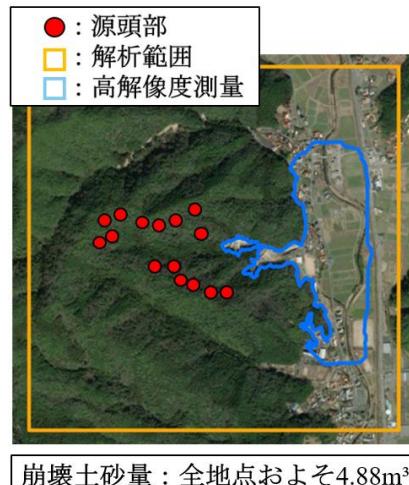


図-3 計解析対象範囲および源頭部

表-2 計算パラメータ

地形データの間隔 (m)	1×, 5×
土砂濃度	変化
静止堆積濃度	0.6
液体として振舞う土砂の割合	0.2
最小流動深 (m)	0.01
内部摩擦角 (deg)	34
掃流層の厚さ (m)	0.4 or 变化
抵抗係数	72
粗度係数	0.03
斜面崩壊の深さ (m)	0.3
計算間隔 (s)	0.001
計算格子	2m×2m
最大浸食深さ (m)	0.61, 0.01
一様粒径の大きさ (m)	0.01

3.2 解析結果と考察

図-3 に、各解析ケースにおける最終河床変動量コンターを示す。砂防堰堤を考慮しないケース (Case1, Case3, Case5) では、地形データの種類にかかわらず、土石流が源頭部から下流方向へ連続的に流下し、谷地形に沿って広範囲に河床変動が生じる結果となった。一方、砂防堰堤を考慮したケース (Case2, Case4, Case6) では、上流域における河床変動が顕著であるのに対し、下流域の変動は大きく抑制された。これは、砂防堰堤により土砂が上流側で捕捉されたためと考えられる。また、同じ砂防堰堤条件下で地形データを比較すると、解像度の高い地形データを用いた Case3～Case6 では、Case1-2 と比較して砂防堰堤周辺の河床変動や、砂防堰堤前水路の土砂の挙動、建物周辺の堆積が明瞭に表現された。

さらに、本研究では、高解像度 DEM を用いた条件下で砂防堰堤の有無による影響を明確に比較するため、Case5 および Case6 に着目して結果を整理した。図-4 に、Mavic3E により取得した高解像度地形データを用いた Case5 (砂防堰堤なし) および Case6 (砂防堰堤あり) における、源頭部崩壊から 10 秒後、30 秒後、90 秒後の流動深分布を示す。Case5 では、10 秒後の時点で源頭部周辺に流動が確認され、30 秒後には土石流が渓流に沿って下流方向へ発達している。90 秒後には流動域がさらに拡大し、土石流が於福小学校周辺まで到達していることが確認された。このことから、砂防堰堤を考慮しない場合には、土石流が時間の経過とともに発達し、下流域の学校施設に影響を及ぼす可能性があることが示唆された。一方、Case6 では、10 秒後および 30 秒後においては Case5 と同様に源頭部付近で流動が確認されるものの、90 秒後には流動が砂防堰堤付近で減衰し、於福小学校まで到達しない結果となった。特に、堰堤直上流部において流動深が低下しており、土砂が堰堤によって捕捉されている様子が確認できる。

以上より、地形データの解像度の違いが、土石流シミュレーションにおける解析結果に影響を与えることが確認された。また、同一の地形条件下においても、砂防堰堤の有無が土石流の到達範囲および堆積範囲に大きく影響することが明らかとなった。

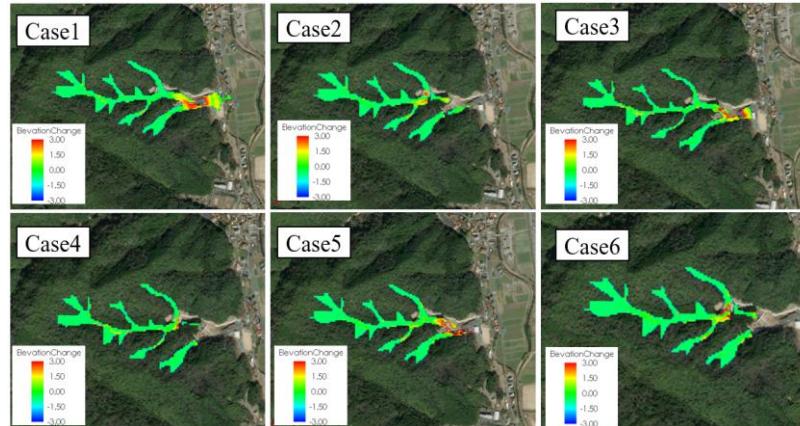


図-3 各解析ケースにおける最終河床変動量 (m)

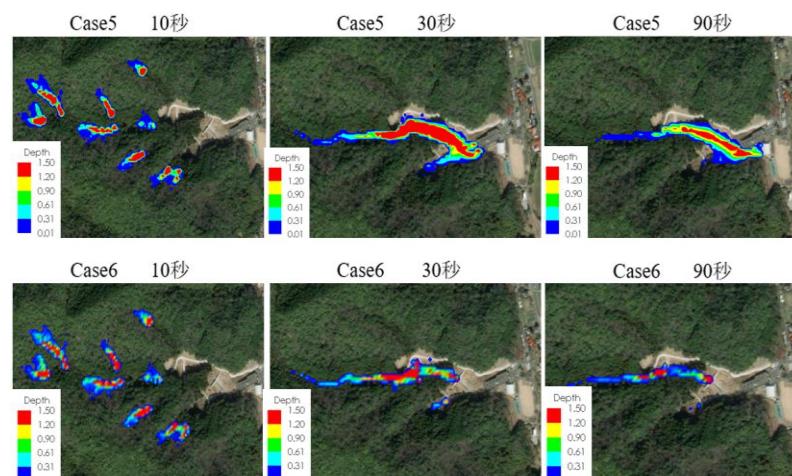


図-4 Case5, Case6 における土石流流動深 (m)

4. 土石流シミュレーションの可視化

4.1 可視化方法

前章の土石流シミュレーションの結果について、Google Earth (Google LLC) および Twinmotion (Epic Games) を用いて三次元空間での可視化を行った。Google Earth ではシミュレーション結果として得られたセンター図を Google Earth 上の 3D 地形に重ねており、Twinmotion では同結果をテクスチャ化し、三次元空間上で表現の上、各要素を着色して可視化している。

本研究では、建物や道路などの構造物を含む三次元地形モデル上で可視化効果を確認しやすいこと、また土石流が下流域まで到達する条件の方が可視化の比較が明確になることから、Case5 (砂防堰堤なし) を主対象として可視化を行った。

4.2 可視化結果

図-5 に、土石流が校庭まで到達した Case5 における、Google Earth および Twinmotion を用いた可視化結果を示す。Google Earth による可視化では、流域全体における土石流の流動方向や広がりを俯瞰的に把握することができた。一方で、堆積土砂と建物や地面、人との空間的な位置関係を直感的に理解することは難しい。これに対し、Twinmotion を用いた可視化では、解析結果が高解像度三次元地形モデル上に再現されることで、土石流が校舎周辺に堆積している状況を実空間に近い感覚で把握することが可能である。

以上より、Google Earth は流域全体の流動状況を把握するのに有効であり、高解像度三次元地形データを用いた Twinmotion による三次元空間での可視化は、土石流が生活空間に及ぼす影響をリアルに理解する上で有効な手法であることが示された。

5. まとめ

本研究では、高解像度地形データを用いた土石流シミュレーションおよび三次元可視化を実施した。その結果、高精度地形データを用いることで、土石流シミュレーションの再現性が向上し、渓流の微地形や谷の屈曲構造、建物と地形の位置関係を反映した解析が可能となった。また、Google Earth および Twinmotion を用いた可視化により、数値解析結果を三次元的に整理し、地形や構造物との関係を視覚的に確認できることを示した。

以上より、高解像度地形データと三次元可視化を組み合わせることで、土石流の流動過程や到達範囲をリアルに理解することが可能となった。

参考文献

- 1) 江口翔紀：機械学習を用いた土石流被災リスク評価手法の開発、山口大学大学院創成科学研究所修士論文、2024
- 2) 大中臨、赤松良久、河野薗仁、山口皓平：平成 30 年 7 月豪雨における島田川水系東川の土石流・河川氾濫の複合災害の実態解明、土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.75, No.1,