

DSM を用いた樹木衝突による落石挙動の変化を考慮した 3次元落石シミュレーションの試み

美馬 健二, 川浪 聖志, 稲田 哲士 (有限会社太田ジオリサーチ)

Kenji MIMA, Seishi KAWANAMI, Satoshi INADA (Ohta Geo Research Co., Ltd.)

1. はじめに

近年、UAV レーザー測量の発展により、数 cm 間隔の高密度な点群からなる 3 次元地形データの取得が可能となってきた。筆者らは、高密度 3 次元点群による地形データを用いた 3 次元落石シミュレーションに取り組んできた¹⁾²⁾。しかし、これまでの解析は、樹木等の地物を除去した 3 次元地形面モデル (DEM データ) を用いており、落石挙動に及ぼす樹木の影響は考慮されていなかった。

実際の落石発生現場において落石経路を調査すると、写真-1 に示すように、落石が樹木に衝突した痕跡が確認される場合がある。写真-1 に示す落石は、落下過程で樹木との衝突により進行方向が変化し、衝撃力が減少した可能性が高い。落石の 3 次元的な挙動を高精度に予測するためには、樹木を考慮した 3 次元落石シミュレーションを実施する必要があると考えられる。

そこで本研究では、UAV レーザー測量により地形及び樹木の形状を同時に取得し、DEM データではなく、樹木を含む 3 次元表層モデル (DSM データ) を用いて 3 次元落石シミュレーションを実施した。DSM データによる樹木形状の再現性を検証するとともに、落石が樹木に衝突した際に、落下方向がどの程度変化するかについて検討した。



写真-1 落石の樹木衝突痕

2. 樹幹を含む 3 次元表層モデル (DSM データ) の作成

対象現場は、兵庫県宍粟市に位置する森林斜面である。DSM データは、UAV レーザー測量により取得した三次元点群データを基に作成した。測量時期は 7 月である。なお、樹冠部は落石経路の視認性を妨げるため、あらかじめ除去した。三角形面 (TIN) データの一辺長は 0.1 m を基本とし、図-1 に示すように樹冠の点群を除去した DSM データを構築した。

図-2 に対象現場における DEM による等高線図、図-3 に樹冠を除去した DSM の陰影平面図を示す。図-3 の黒色で示される部分は樹幹に相当するが、一部で直径約 2 m 程度の不自然な形状が確認される。これは、図-1 右下に示すように樹幹部の点群が

局所的に不足している箇所であり、TIN 生成時に隣接する樹木の樹幹が連結されたものである。また、樹幹の分布が少ない箇所も認められ、樹幹部の点群が十分に取得できていないことが分かる。

作成した DSM データは、一部、樹幹形状の再現性に課題があり、樹幹をより適切に再現する必要があることを念頭に置きつつ、樹幹が再現できていると思われる箇所にて、3次元落石シミュレーションを実施した。

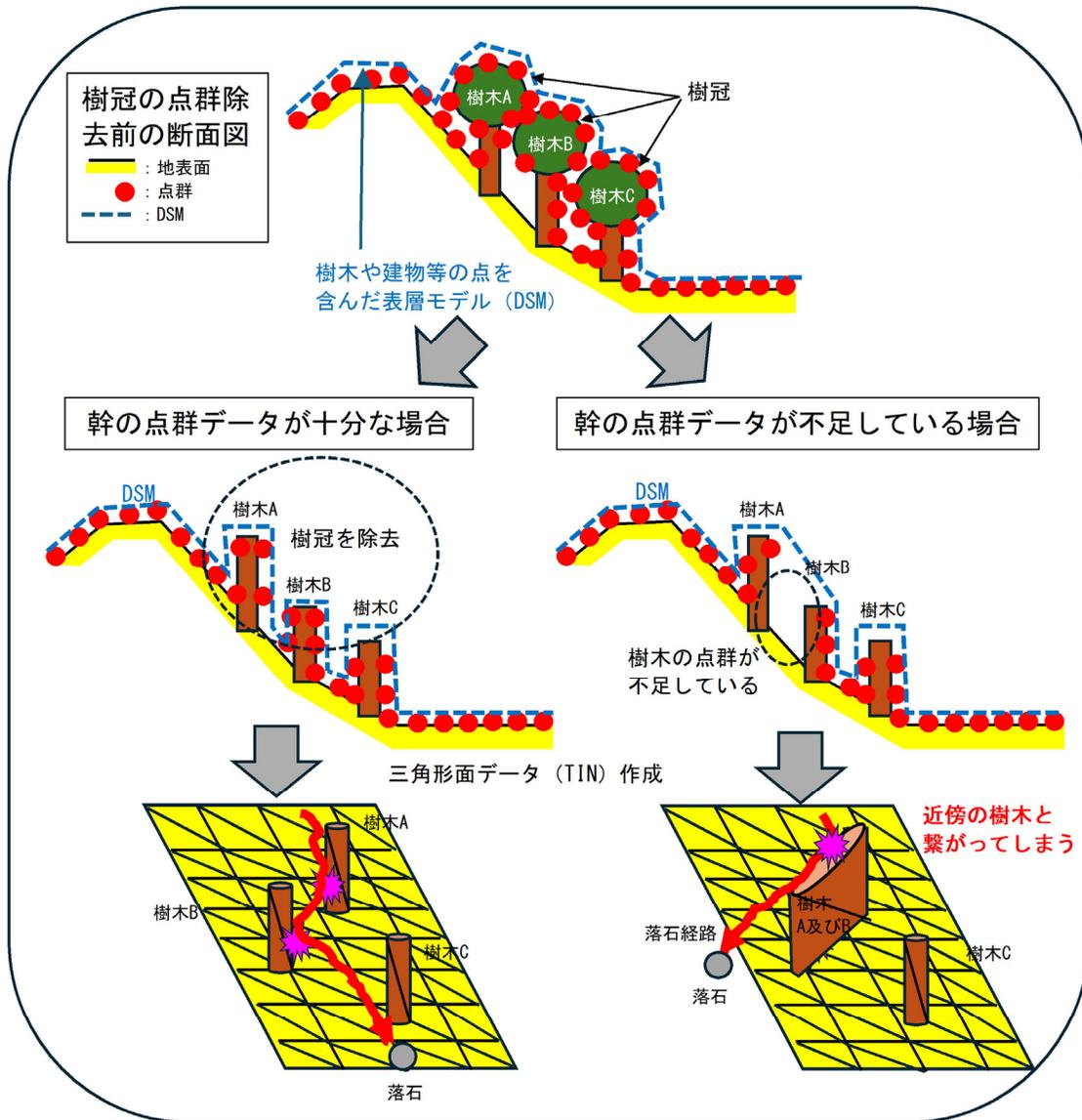


図-1 樹冠の点群を除去した DSM データの構築概要

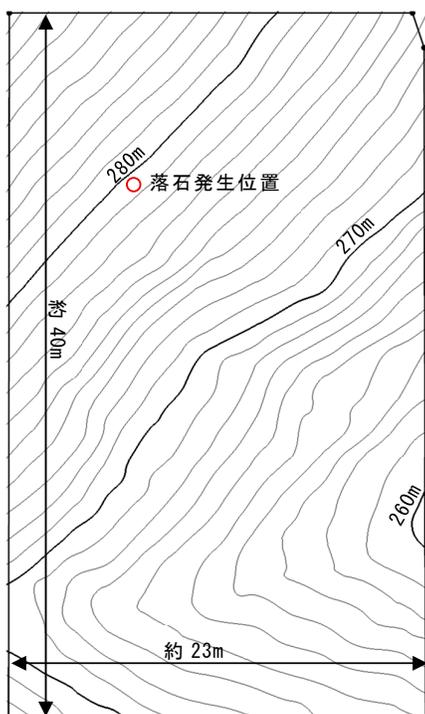


図-2 DEMによる等高線図

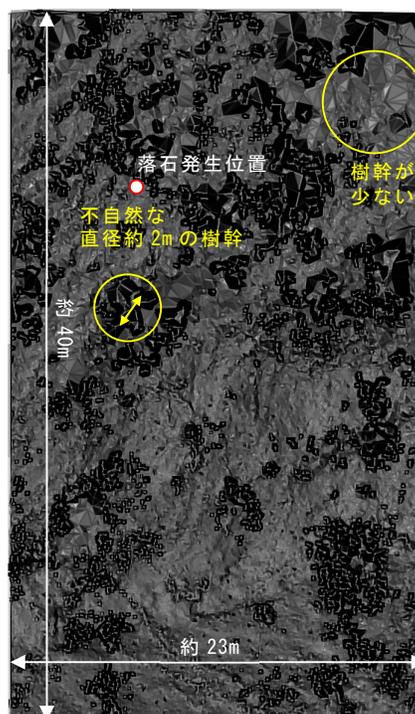


図-3 樹冠を除去したDSMの陰影平面図

3. 3次元落石シミュレーションの概要

3次元落石シミュレーションには、質点系落石解析手法の Rocscience 社製ソフトウェア「RocFall3」を用いた。反発係数等の地盤定数は、やや乱暴ではあるが、樹幹を含む斜面全体を一律に岩盤に相当する表-1の値を設定した。

対象斜面において明確な落石発生源は確認しておらず、本解析では仮定条件として、図-3に示す位置から落石を発生させた。乱数の発生回数は、200回である。なお、落石1個あたりの重量は2.6tとした。

表-1 地盤定数一覧

地盤定数	設定値
反発係数	0.35
接線方向の速度比	0.85
摩擦角 (°)	30

4. 3次元落石シミュレーション結果及び考察

3次元落石シミュレーションの結果を平面図(図-4)及び斜視図(図-5)に示した。

図-4より、大半の落石が、①の位置で衝突し停止していることが読み取れる。一部の落石は、①の位置で跳ね返り、②のように分岐する。②で分岐した落石は、斜面下方に落下するにつれて徐々に衝撃力が増加する傾向を示し、③の地点では様々な方向へ蛇行する。④の地点では、落石経路や衝撃力のばらつきが大きくなることが認められる。図-4は、落石が樹幹間の隙間を通過する挙動を示したものである。

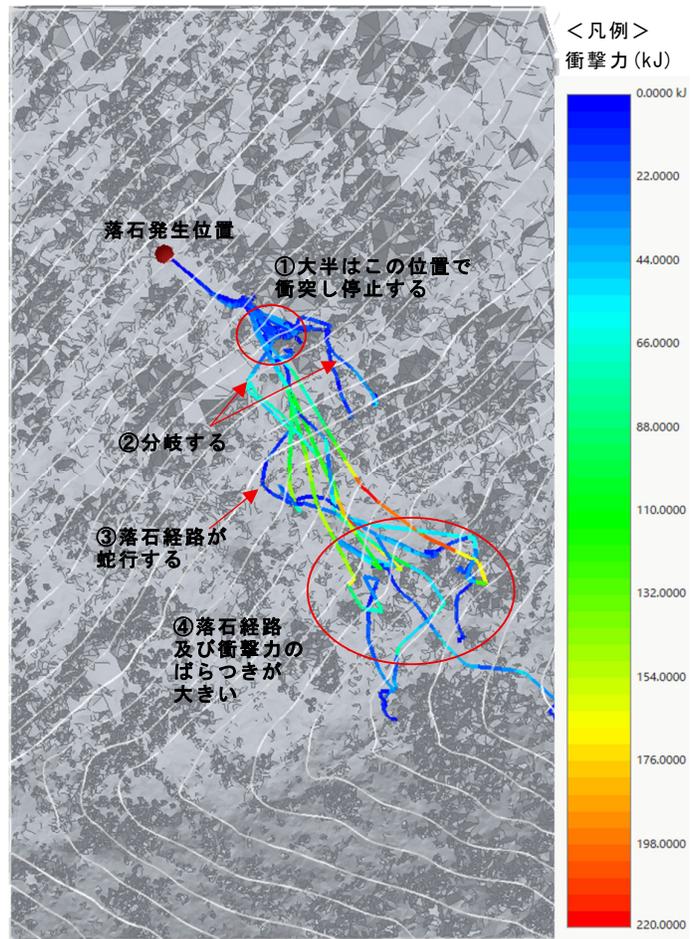


図-4 3次元落石シミュレーション結果（平面図）

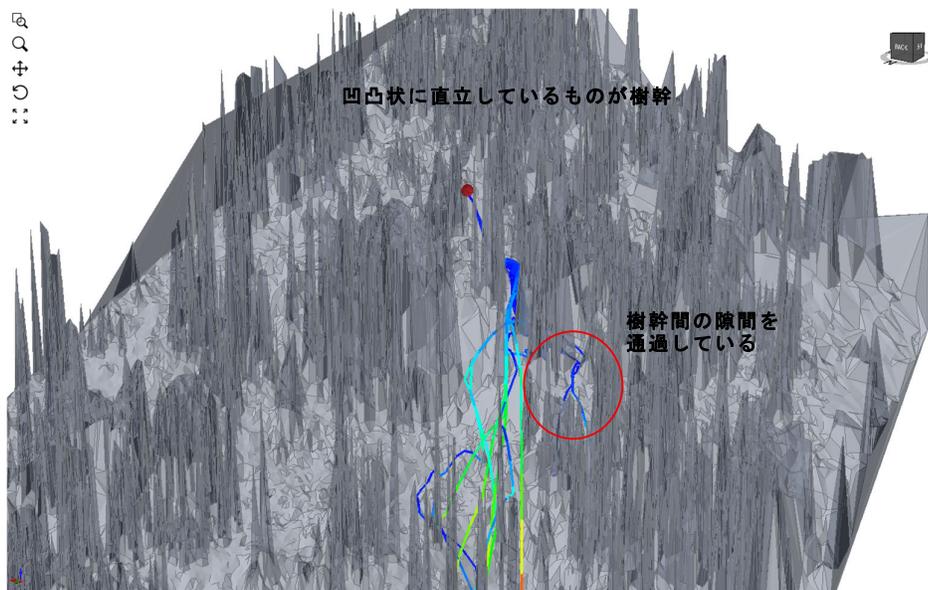


図-5 3次元落石シミュレーション結果（斜視図）

5. まとめ

本研究では、UAV レーザー測量により取得した高密度 3 次元点群データを用い、樹幹を含む 3 次元表層モデル (DSM データ) に基づく 3 次元落石シミュレーションを試みた。対象とした森林斜面において DSM データを作成した結果、樹幹形状の再現には一部課題があるものの、樹木を含む 3 次元表層モデルを用いることで、落石が樹幹に衝突・反発し、進行方向が変化する挙動や、樹幹間を通過する挙動を三次元的に表現できることを確認した。また、斜面下方に進むにつれて落石経路および衝撃力のばらつきが増大する傾向が示された。本研究では、同一箇所における樹木の影響を除外した DEM データを用いた 3 次元落石シミュレーションを実施していないため、樹木の有無による落石挙動の比較には至っていないが、図-4 や図-5 のシミュレーション結果を鑑みるに、樹木の存在が落石挙動の分散を高める要因となることが示唆された。

一方で、樹木の影響を考慮した 3 次元落石シミュレーションの高度化を実現するためには、樹幹部の再現性を高める必要があることが明らかとなった。今後の課題として、樹幹部の点群をより高精度に取得するための測量手法や、取得した DSM データから樹幹部を効率的に抽出するデータ処理方法を検討する必要がある。また、併せて、樹木特性を考慮した地盤定数の設定手法を検討する必要がある。本試行が、よりリアルティのある 3 次元落石シミュレーションの実現に寄与すれば幸いである。

<参考文献>

- 1)美馬健二、川浪聖志、太田英将 (2023) : 点群データを用いた 3 次元落石シミュレーションによる落石の衝撃力及び跳躍高の可視化, 第 62 回日本地すべり学会研究発表会
- 2)美馬健二、川浪聖志、稲田哲士 (2025) : 3 次元落石シミュレーションを用いた落石防護柵の設計, 第 60 回地盤工学研究発表会