

UAV 空撮による崩壊地の地下構造情報の把握の可能性検討

○佐原 拓海¹, 内田 太郎¹, 瀧口 茂隆², 竹下 航²
1: 筑波大学, 2: 国土技術政策総合研究所

1 背景

崩壊跡地の滑落崖における調査は、崩壊メカニズムの解明のために重要である。特に斜面上の土層の厚さと性質の把握は、表層崩壊の研究やそれによる土砂生産量を推定する上で重要な課題である^[1]。土層厚の計測は、簡易貫入試験機や検土杖を用いて測定する手法が一般的である。秋山ら^[2]は、表層崩壊を予測するうえでの土層厚の計測密度の重要性を指摘している。しかしながら、現地にて人が一点毎計測する従来の手法は多大な労力を費やし、また滑落崖付近での計測は非常に危険である。そのため、秋山ら^[2]は、土層厚計測の重労働性から微地形や表層地形からの推定する手法の開発の重要性を述べている。

近年、UAV(Unmanned Aerial Vehicle)による空撮を利用した調査が様々な場面で確立されてきている。また、UAVを用いることにより、従来、地上からのアクセスが困難であった急な滑落崖の空撮は多く行われており、従来得難かった情報が多数蓄積されてきた^[3]。さらに、UAVから3次元点群モデルを作成することにより、定量的な情報が得られる可能性も期待されている。特に、崩壊地の縁辺部では、崩壊した斜面周辺の地下構造が直接的に観察でき、土層厚や土層構造に関する情報を入手できる可能性が高い。しかしながら、点群モデルを利用した滑落崖等の網羅的な計測および土層構造の把握に試みた研究はほとんどない状況である。

そこで本研究では、UAVの空撮画像と、その画像をもとに作成した3次元点群モデルを組み合わせることによって、一崩壊地の滑落崖、側方崖における土層構造の網羅的把握および土層厚の計測を試みた。

2 手法

2.1 調査地

本研究は、和歌山県みなべ町の県道196号線沿いで発生した崩壊地にて行った(図1)。この崩壊地は2022年7月の豪雨によって発生した。地質は砂岩泥岩互層であり、崩壊地中央に岩盤の露出が見られた。傾斜度は平均45度と急ではあるが、頭部から下部までの標高差約30m、幅約50mと比較的規模が小さく踏査による精度確認が容易であること、崩壊から1年と経過しておらず(調査日:2023年3月14日)、植生の回復がなく露頭部が十分に見えるという理由から選んだ。

2.2 現地調査手法と点群データの作成

現地では、UAVによる空撮とGNSS測位、点群モデルとの精度検証のために露出した側方崖にてスケッチを行った。機体はMavic 2 Proを使用した。対地高度は10~30mと低空飛行を実施し、カメラ角度を俯角0度、45度、90度の3パターンにて滑落崖、側方崖を中心に手動飛行にて撮影した。撮影した画像(解像度:約1mm/pix)を使用し、3次元点群モデルと三次元メッシュモデルを作成した。またモデル作成にはAgisoft社のMetashape Professional 2.1.1を用いた。



図1 調査した崩壊地

さらに、地上からアクセス可能であった側方崖にて土層断面の観察・スケッチを実施した。また土層構造を色味の違いから細かく区分し、各層の厚さを計測した。

2.3 画像および点群モデル解析による土層厚推定手法

2.3.1 画像を用いた崩壊地、滑落崖・側方崖の観察

撮影した画像を用いて岩盤・土層の色味・質感、根系の有無を確認し、植生が発達した表層土とその下部の風化土層、岩盤に区分した。なお、作成されたメッシュモデルの解像度は3.21 mm/pixとかなりの高解像度ではあったが、メッシュモデルのテクスチャでは岩や土層の細かな質感の違いの判読は不可能であったため、撮影された画像そのものを用いた。さらに、判読した空撮画像と3次元点群モデルを見比べ、点群モデル上に土層構造の境界点をプロットし、プロットした点の標高差から、各土層の厚さを推定した。

2.3.2 滑落崖の高さに基づく推定

本研究では、後述するようにオーバーハングを有する滑落崖は表層土および下層土に分類され、すべり面では露岩している箇所がみられたことから、滑落崖の高さ=土層厚と仮定した。本研究では、滑落崖がオーバーハングしている場合、オーバーハング部の縁から鉛直下向きに線を下した際に地表面とぶつかる点との直線距離を推定土層厚とした(図2)。具体的な推定土層厚の測定は以下の手順で行った。まず作成した三次元モデルの東西方向をX軸、南北方向をY軸に合わせ、XY平面上に1m四方のグリッド線を引いた。このグリッド線をZ軸方向に投影することによって、縦×横×高さ=1×1×1の直方体が複数できる。任意の直方体内のメッシュモデルが崩壊地の縁線(オーバーハング部)を含む場合、オーバーハング部の縁は直方体の2つの側面と交わる。したがって1直方体内のメッシュモデルにおいて推定土層厚 h は二つの側面で算出される推定土層厚の平均値で表すことにした。

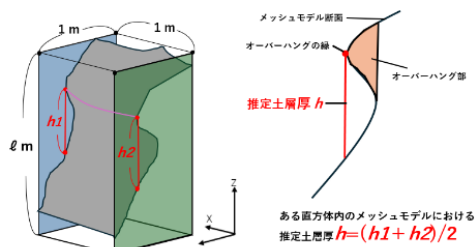


図2 推定土層厚算出方法

3 結果と考察

3.1 画像判読による土層厚の推定と検証

図3は現地踏査でのスケッチ記録(左)、土層構造把握に用いた空撮画像(中央)、点群モデルから測定した各土層の厚さの測定値(右)の結果である。点群モデルの土層構造の最大誤差は5 cmであった。またスケッチに記された実測値に比べ、点群モデルによる計測値は全体的に値が大きく出る傾向にあった。点群モデルの方が実測値よりもやや広がりを見せた原因として、GNSS 測位に必要な GCP(ground control point)を崩壊地下部にのみ設置したことが要因の一つとして考えられる。

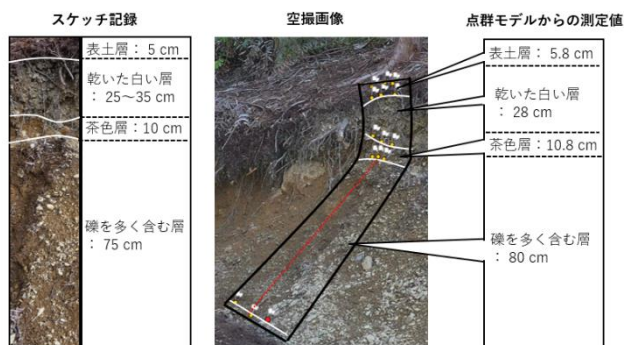


図3 土層構造のスケッチ記録(左)と空撮画像から判読した土層構造の点群モデル測定値(右)の比較

3.2 滑落崖の推定土層厚分布

図4は作成した崩壊地の点群モデルである。ピンクの実線は崩壊地の縁を辿ったものである。また、緑色の線は3次元点群モデルから作成した2.5 m間隔の等高線である。赤枠Aは崩壊地頂部から左側方崖にかけての滑落崖であり、エリア内の緑線(ピンク線)を含むタイルはすべてオーバーハングが見られた。今回は、赤枠Aにおいて推定土層厚分布図を作成した(図5)。図3では赤い場所ほど土層が厚く、青い場所ほど土層が浅いことを示す。推定土層厚は最も浅い場所で40 cm、最も深い場所で95 cmほどで最大55 cmほどの差があった。また露岩が見られる頂部の推定土層厚は平均50~60 cmであり、周囲の土層厚に比べ薄いことが分かった。

本手法はオーバーハング部分の縁を測点とし土層厚を計測しているため、表層土(根系を含む植生が発達した層)の形状に結果が大きく左右される。また本手法はモデルの形状のみから滑落崖の高さ=土層厚と仮定して、土層厚を推定しているため、すべり面が土壌-岩盤境界面と一致しない場合、実際の土層厚は推定土層厚より深いまたは浅いことが予想される。ただし、画像判読の結果からは、滑落崖の下部は岩盤または礫が

多く含む層が存在していることを確認しており、一定程度の精度で、土層厚が推定できる可能性が高いと考



えている。

図4 崩壊地の3次元点群モデル

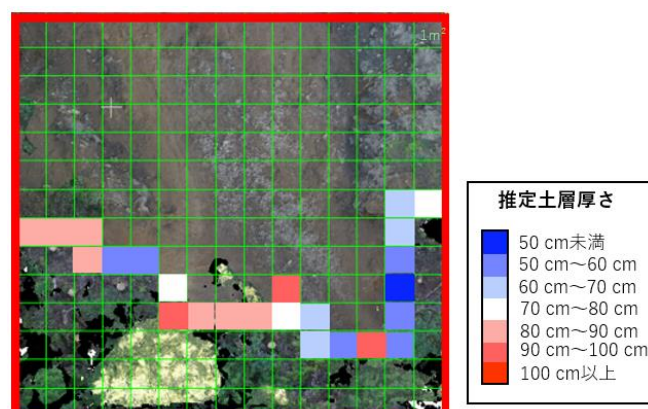


図5 滑落崖の推定土層厚分布図(1m²メッシュ)

4 まとめ

本手法により、滑落崖のような露頭した場所であれば、リモートセンシングにより1 m²メッシュという高密度での土層厚推定ができる可能性を示せた。本手法は滑落崖という従来危険な場所での土層厚計測および土層構造の把握に適している。ただし、3次元モデルでは空撮画像ほど鮮明ではないため、土層構造の明確な区分には空撮画像と併用する必要があったそのためには、UAVを低空飛行させ、画像取得することが有効であると考えられた。また本手法の実用性としては、崩壊地の辺縁部の地形に合わせて手動飛行させることを考慮すると、崩壊規模(特に奥行き方向)が10 m~100 mの崩壊地、また踏査による調査が困難な滑落崖の高さが数 mもある崩壊地には適していると考えられる。今後はさらなる精度の検証と土層構造を考慮した空間分布図作成手法を考えたい。

引用文献

- [1] 逢坂興宏・塚本良則：自然斜面と土層の厚さについて，緑化工技術，第12巻，第3号，1987
- [2] 秋山浩一・内田太郎・田村圭司・亀江幸二：土層厚の計測密度が表層崩壊の発生予測に及ぼす影響，砂防学会誌，Vol. 64，No.1，p.3-10，2011
- [3] 木下篤彦・島田徹・笠原拓造・林栄明・名草一成・小川内良人・村木広和：回転翼型マイクロ UAV を用いた深層崩壊箇所の災害調査，砂防学会誌，Vol.66，No.3，p.51-54，2013