

## 論文要旨

地すべりは、地形、地質、降雨や地下水等の自然要因が原因で発生する土砂災害の1つである。現在の地すべり範囲の決定は、主に現地踏査および孔内傾斜計や伸縮計などによる観測データから推測されている。しかし、面的な地すべり形状に対して、観測機器による計測は点の情報であることや、地すべりが広範囲である場合や人間が立ち入ることのできない危険な場所においては、調査や測量に多くの手間を要する。そこで近年、効率的な調査手法として、航空測量が注目されている。

航空測量には、レーザー光を照射して地形のデータを取得する「レーザー測量」と、写真を用いて被写体の位置や形状等を定量的に測定する「写真測量」の2種類がある。航空レーザー測量を用いた研究では、向山、江川ら [1] が2時期の高解像度 DEM(数値標高モデル) を用いて、画像マッチングの手法を応用した3次元変位の把握手法を開発している(特許第 4545219 号)。また、航空写真測量を用いた研究として、山村 [2] が、航空写真から作成した DSM(数値地表面モデル) と既存の DEM の標高値の差分から災害規模の推定を行っている。しかし、高解像度のレーザー計測はコストが高く、変位監視等のように高頻度で計測が必要な場合において現実的とはいえない。また、標高値の差分解析についても、変位量の抽出は可能であるが、どの方向に移動しているのかわからない点が課題としてあげられる。

本研究では、2017 年度から高知県吾川郡仁淀川町高瀬地区の地すべり防止区域を対象に、航空写真測量を用いた地すべりの変位抽出に取り組んでいる。当該地域では、2010 年に実施したボーリング調査の結果、地区最大規模である地すべりブロックが発見されている。これは、A-0 ブロックと名付けられ、これまでに多くの調査が進められてきた。しかし、地表面に変状が少ないことから地すべり範囲が明確になっていない。そこで本研究では、A-0 ブロックを含む範囲を対象とし、航空測量解析から地すべり範囲を明らかにすることを目的とした。手法としては、ドローンによる空撮画像から SfM 技術を用いて、多時期の3次元点群モデルを作成する。そして、作成した点群モデルをボクセルモデルに変換し、同一地点に存在するボクセル同士を比較することで3次元変位を推定した。ボクセル化することにより、ランダムな座標をもつ点群モデル同士を同一地点で比較する事が可能となり、また単純な差分計算のみで3次元変位の抽出が可能となる。今回幾何補正には、「GNSS 測量から取得した地上座標」および「モデルから取得した相対座標」を用いた2種類の幾何変換を行い、その精度を比較した。また、変位が表れている可能性が高い地点について、点群マッチングの手法を適応し、さらに幾何精度を向上させ再度変位抽出を行った。最後に、変化の大きい画素を輪郭(エッジ)として抽出する微分画像の手法を用いて、傾きの変化から地すべり境界の推定ができるかどうか検討を行った。

結果は、相対座標を用いて補正を行ったモデルの方が幾何精度は高い結果となった。GNSS 測量座標を用いて幾何補正を行ったモデルでは、測量誤差および道路の舗装などによる基準点の消失などが原因となり、モデル同士の重なりが悪くなってしまった可能性が考えられた。変位抽出結果からは、地すべりブロック形状が抽出できなかったものの、変状箇所の抽出ができる可能性を示した。その地点について現地踏査を行った結果、数か所ではあるがひび割れや石垣のズレを確認した。その他、点群マッチングの手法を用いた変位抽出や微分画像を用いた地すべり境界のエッジ抽出を試みたが、はっきりとした変位箇所が浮かび上がるには至らなかった。この原因として、高い高度から撮影した写真を用いて作成した3次元モデルでは、詳細な変位がみられるほどの精度は有していないことや、植物の成長などの様に、微小な変位を見る上ではノイズとなる事象に本手法が対応できていないことなどが考えられる。今後、飛行経路や高度を検討しモデル作成の精度向上や、樹木の成長などによるノイズを考慮した手法の改良を行う必要がある。

## Abstract

Landslide is one of the sediment disaster caused by natural factors such as topography, geology, rainfall and groundwater. The movement of landslides is very slow from 0.1cm to 10cm per year, and the landslide disaster area can be very large. Ground damage appears in landslide areas such as cracks, stairs, depressions, and collapses. These can cause serious damage to the lives or agriculture. In addition, it is a dangerous phenomenon because it may suddenly lead to collapse.

At present, the estimation of the landslide area is estimated from field surveys and data obtained by measuring instruments. However, it is difficult to use this method when the landslide is extensive or in dangerous places where humans cannot access. In recent years, aerial surveying has been attracting attention as an efficient surveying method. There are two types of aerial surveying. one of "laser surveying", which radiates a laser beam to acquire terrain data. Another is "photogrammetry", which measures position and shape using photographs. In a study using aerial laser surveying, Mukaiyama and Ekawa[1] used a two-period high-resolution digital elevation model (DEM) to the extraction of three-dimensional displacements applied image matching techniques (Patent No. 4545219). In addition, as a study using aerial photogrammetry, Yamamura[2] estimated the magnitude of a disaster from the difference of the elevation values between the DSM (numerical surface model) created from aerial photographs and existing DEM. However, high-resolution laser measurement is expensive and is not practical when high-frequency measurements are required. In addition, with regard to the difference analysis of the elevation value, it is possible to extract the displacement amount, but not known moving direction.

This laboratory has been studying on the extraction of landslide displacement using aerial photogrammetry in the Takase area since 2017. Takase area in Kochi has many landslides. In 2010, a large landslide covering 7 blocks was discovered. This block is called an A-0 block. However, the boundary of this A-0 block has not yet been clarified. Therefore, In this study, we aimed to determine the landslide block using aerial photogrammetry.

As a specific estimation method, a three-dimensional point cloud of a landslide is created from the photograph acquired by the UAV(Unmanned Aerial Vehicle), and voxelization of the point cloud data was performed. Next, we tried to extract the three-dimensional displacement by calculating the difference in the terrain shape of the voxel model. The data obtained in this study are for five periods from August 2017 to August 2019. From the displacement extraction results, it was confirmed that the landslide block shape could not be extracted, but there was a possibility of deformation. As a result of field reconnaissance, cracks and misalignment of stone walls were confirmed in several places. In addition, we tried displacement extraction using the point cloud matching method and edge extraction of the landslide boundary using differential images, but we could not extract clear displacement points. This is because a 3D model created using photographs taken from high altitudes does not have the accuracy required to show detailed displacement, and this method cannot cope with noise such as plant growth. In the future, it is necessary to improve the restoration accuracy of the model by examining the flight path and altitude, and to improve the method considering the removal of trees.