

精密自動飛行ドローンによる定期的な斜面の変位・変形計測

○西川啓一 (i システムリサーチ(株)) 萩原育夫 (サンコーコンサルタント(株))

Periodically measure the displacement and deformation of the slope with precision automatic flight drone

* K.Nishikawa (i System Research Corporation)

I.Hagiwara (Suncoh Consultants Co. Ltd.)

1 はじめに

斜面を対象にした変状監視では、あらかじめ定められた点において地中変位計、伸縮計観測などが従来から用いられているが、最近では広く面的な斜面変位・変形を測るための写真・レーザー計測手法が使われるようになりつつある。特に、建設工事現場では複数枚の写真から三次元空間モデルを構築する UAV-SfM 技術を用いた計測管理手法が急速に進展し、多くの適用例が報告されている。しかし、レーザーに比べて比較的安価で手頃な精度が得られる UAV-SfM では、GNSS の精度が期待通りで無い場合が多く、またドローンの操縦が人間の技量に依存し、空間位置の確定が難しいなどの点から、課題があるとされてきた。

本発表では、Sept-SOI という高速・高精度 GNSS-RTK システム (場所を選ばず FIX が極めて速く、位置精度がよい) を搭載したドローン (SOI-Drone) による斜面の変状監視事例について報告する。Sept-SOI の搭載によって自動で高精度な飛行が実現され、結果的に高精度な計測ができるようになった。この SOI-Drone を利用し、斜面を定期的に計測し、計測時期ごとに地形モデル差分をとることによって斜面の変位・変形を面的に精度よく捉えることができたので、その方法を説明する。

2 SOI-Drone

GNSS-RTK とは座標が測量されている地点に GNSS 基準局を設置し、補正データを生成し、GNSS 移動局に伝送することにより、0.6mm の精度で移動局の測位ができるものである¹⁾。

SOI-Drone はこの GNSS 移動局をドローンに搭載し、フライトコントローラーを用いてドローンの飛行位置を数 cm 精度で制御するものである。

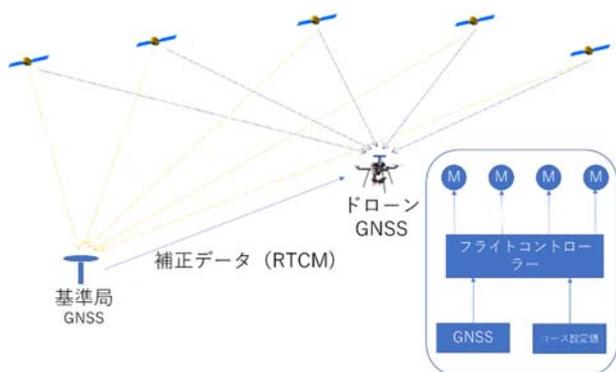
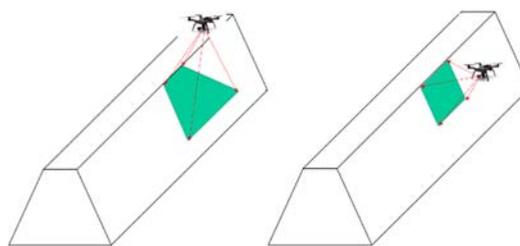


Fig. 1: RTK-GNSS.

3 斜面計測

一般に写真を用いて三次元空間図形を構築する場合、対象物に対して正対して撮影することが望ましい。Fig.2において、傾斜面での撮影のイメージを示す。鉛直撮影では撮影面が台形となり、上辺と下辺付近では1画素あたりの長さが異なる。即ち地上分解能が変化してしまう。また、上辺付近と下辺付近ではカメラ位置との距離がちがうため、ピントが甘くなるという欠点もある。これにより三次元空間図形を構築した場合、精度のバラツキを生じてしまう。

これに対して法線方向撮影の場合は撮影面が矩形となり地上分解能が均一となる上、面のどの点もカメラとの距離は一定のためピントを合わせやすい。Fig.3に実際の現場で斜面に対して正対し撮影している様子を示す。



(a) 鉛直撮影 (b) 法線方向撮影
Fig. 2: 鉛直撮影と法線方向撮影



Fig. 3: 法線方向撮影の様子

一方、撮影の難しさを考えた場合、法線方向撮影の場合は対象面 (斜面) に対してカメラ位置を指定した撮影が必要になる。特に対象面とカメラ距離が近い場合、カメラ位置の誤差は撮影範囲が大きくずれてしまうなどの現象が発生し、従来の操縦方法ではこの撮影方法は困難であった。

SOI-DroneではGNSS-RTKを用いて精密自動飛行

を可能にしている。予め斜面の座標を計測し、それに基づき、撮影距離、オーバーラップ率、サイドラップ率などにより飛行コースおよびシャッター位置を計算することができる。離陸～撮影～着陸を自動で行う²⁾。カメラ位置精度としては数cm精度である。

飛行コースを計算しておけば、同じコースをいつでも飛行でき、毎回同じ位置からの写真撮影が可能である。操縦に特に高度な「技」が必要とされないため操縦ができる者であれば、常に一樣な計測結果が期待できる。

4 防災のための差分解析

4.1 計測の概要

計測対象斜面は比高 50m×延長約 100m、斜度約 40 度の切土法面で、斜面の変状監視を目的として 1～2 回/年の頻度で SOI-Drone による変位・変形計測を実施した。

撮影の手順を下記に示す。

- ① 不動点として、対象斜面を囲うように現地基準点として 4 点設置する。GNSS スタティック法を用いた
- ② 対象斜面に対空標識設置する。対空標識の間隔は約 20m 間隔とし、44 点設置した。合わせてその対空標識の座標を計測した。
- ③ SOI-Drone による撮影を行った。斜面に沿って 14 コースとし、撮影した写真枚数は 1643 枚であった。
- ④ 撮影した写真から SfM を用いて 3 次元空間図形を構築した。対空標識の座標として②で得られた座標を入力し、点群全体を公共座標系に統一する。構築後、同じ対空標識にて精度検証を行った結果、x 方向 10mm、y 方向 10mm、z 方向 8mm、(いずれも RMS 値)であった。
- ⑤ 2 回目以降については差分解析を行った。

4.2 解析結果例

Fig.4 に初期値と初期値を撮影してから 6 ヶ月後に再撮影を行い、差分解析した結果を示す。青は高さ方向で高くなった箇所、橙は低くなった場所を示す。斜面全体で大きな変化はなかったものの、風雨によって運ばれたであろう砂や小石、枯葉などが斜面に沿って堆積しており、その結果少し盛り上がっている。また法肩の部分は少し削れている様子が見られた。

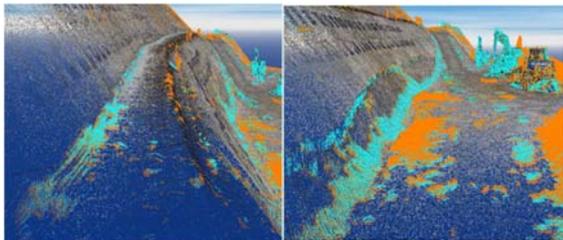


Fig. 4: 差分解析結果例 (1)

Fig.5 に巡視によって法面のハラミ出し傾向が確認された際に実施した差分解析した結果を示す。変位の色見本を図中に示す。本解析での変位とは斜面

法線方向の水平成分で示している。巡視では変状が明瞭な箇所を特定することができたが、変状の範囲を判断することは非常に困難であった。一方、解析結果から、最上部における主たる変状の発生、その周辺に広がる変状範囲(変状の収まる位置)等を明確に読み取ることができた。

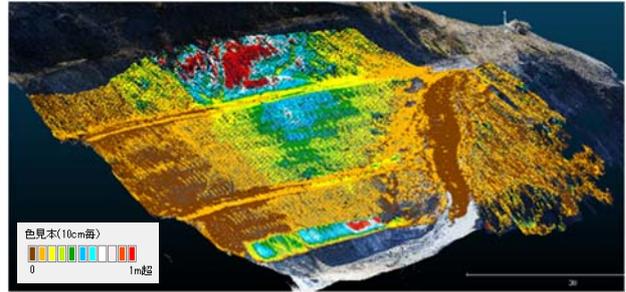


Fig. 5: 差分解析結果例 (2)

5 まとめ

今回の斜面計測により下記可能性が見いだせた。

- 精密飛行ドローン撮影写真を用いて 3 次元空間図形を構築する場合、精度 10mm を達成することが可能
- 定期的に撮影を行うことで地形の変位・変状を把握することが可能
- ドローン撮影に際しては、最初の計画を実施すれば、2 回目以降はほぼ自動で撮影ができる
- 日数、人数の削減が可能で、結果コストを抑えることができる。
- 斜面の変形解析については変形方向(移動方向)を明確に定義することが必要。
- 同一点の移動方向を把握するには写真測量が適していると考えられる。

6 今後

精密飛行ドローンによる撮影では対象範囲に対空標識が必要であるが、実際の危険箇所において対空標識の設置は容易ではない。また、緊急時にこの作業時間がかかることは大きな欠点である。計測精度を落とすことなく、対空標識を可能な限り減らす方法を検討していく。

謝辞

本業務にあたり現地にて測量・ドローンオペレーション等遂行頂いた、エーピーシステム白丸雅貴殿に謝意を表します。

参考文献

- 1) 西川啓一他、「小型 2 周波数 GNSS による精密飛行の検討」、第 38 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2020AC1K3-06 (2020 年)
- 2) 西川啓一他、「精度自動離着陸・飛行ドローン」、検査技術, p27-32, 日本工業出版, (2019 年)