

森林傾斜地の迅速かつ効率的な地形測量法の開発

第一工業大学 正会員 ○田中 龍児
第一工業大学 正会員 岡林 巧
鹿児島大学 正会員 山本 健太郎

1. はじめに

鹿児島県は、標高およそ 300m 以下を厚く覆うしらすと、比高 100m にも達するしらす台地が分布しており、年間を通して雨が多いため、昨今でも、毎年のように土砂災害は頻発しており、土砂災害対策のための地形測量の必要性は不変である。

広域に膨大な数の崩壊が発生した場合、近年の技術向上が著しい航空レーザ測量による方法が迅速かつ効率的である¹⁾。一方、小規模な崩壊地では、近年では GNSS と地上型レーザスキャナが用いられるようになったが、システムが高価であることや、崩壊地周辺の森林傾斜地では、衛星電波が遮断されるため GNSS が使用できず、地上型レーザスキャナにしても草木が密生して地肌が見えない箇所等は計測が難しい。そのため、危険な斜面に立ち入って従来型の測量が行われているのが現状である。

本研究では、航空レーザ測量を実施するには狭く、トータルステーション等による地上測量では困難な森林傾斜地を、IMU（慣性計測装置）を用いて迅速かつ効率的に測量する技術の開発を試みる。IMU は短時間においては、高精度な相対位置と方位角を検出できるが、ドリフト等の誤差を含み、その誤差が時間の経過とともに急激に増大するという欠点がある²⁾。そこで、測量地域にあらかじめ標定点となる基準点を設置し、基準点間を短時間で計測するという方法をとる。さらに、積分の発散を抑えるために、歩行速度が一定の閾値を超える場合は、そこから積分をやり直し、誤差蓄積の低減を実現する。

2. 計測法概要

- (1) 写真-1 はヘルメットに IMU を取り付けて計測している風景である。現地は図-1 の地形図に示すように、台地、斜面、低平地から成っている。計測中、地形変化点は必ず通過し、標定点となる杭では約 1 分間静止した。また IMU になるべく誤差の原因となる振動が伝わらないように、進行方向を直視して歩行した。
- (2) IMU は ZMP 社製の 6 軸（3 軸加速度、3 軸ジャイロ）モーションセンサを用い、0.1 秒ごとの連続した 60 分程度のデータを取得した。図-2 は、進行方向の加速度である。
- (3) データはタブレット PC に記録し、動作状態を確認しながら計測した。
- (4) 観測作業終了後、重力加速度の補正や、フィルタ処理を施した座標値を GIS ソフトや CAD ソフトに取り込み、地形図を作成した。
- (5) 経路確認のために、ハンディ GPS も取り付けて観測経路を記録した。

3. 計測結果

計測地域の面積は約 25,000 m²（100m×250m）で、計測所要時間は約 1 時間であった。計測経路を図-3 に示す。座標軸は、進行方向を x 軸とした右手座標系である。計測データには、重力加速度とノイズが含まれるので、次式で重力加速度を取り除いた。

$$\begin{pmatrix} \Delta a_x \\ \Delta a_y \\ \Delta a_z \end{pmatrix} = G \cdot \begin{pmatrix} \cos \phi \sin \theta_r \cos \theta_p + \sin \phi \sin \theta_p \\ \sin \phi \sin \theta_r \cos \theta_p - \cos \phi \sin \theta_p \\ \cos \theta_r \cos \theta_p \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 G は重力加速度、 $(\Delta a_x, \Delta a_y, \Delta a_z)$ は加速度に対する補正量、 $(\theta_p, \theta_r, \phi)$ は 3 軸 (x, y, z) の回転角である。

ノイズはローパスフィルタにより平滑化したがる、そのまま積分すると大きく発散する。そこで、計測時間が長くないように、2 基準点間を 1 セクション平均 5 分程度計測した後、標定点で約 1 分静止観測し計測データに定常状態が表れるようにした。また計算は 1 セクションごとに行い、1 回積分の結果が、人の歩く速さ（1.5 m/s）を超えるときは、その前で積分を打ち切り、リセットするという方法で計算処理した。得られた座標を、標定点に基づきヘルマート変換し地上座標を求めた。



写真-1 計測風景

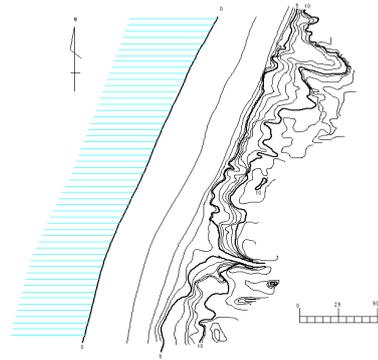


図-1 現地地形図

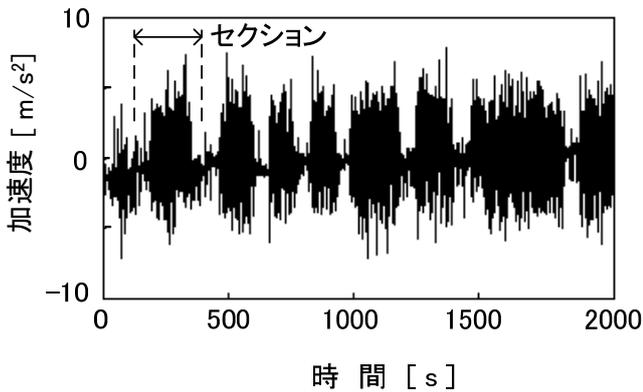


図-2 X方向(進行方向)の加速度



図-3 計測の足跡

4. まとめ

本研究では、低価格小型 IMU をヘルメットに取り付け、歩行中のログをタブレット PC に記録するといった、誰でも簡単に迅速にできる測量法を試みた。IMU の欠点であるドリフト（時間的変化）による誤差を低減する方法として、(1) 1セクション当たりの計測時間を短くしたこと (2) 積分計算の発散時点でリセットすることなどを検討した。計測時間を短くすることは、その両端の標定点を多く設置することになるが、どの程度の配点密度に設置するか、精度と効率性の点から検討する必要がある。積分の誤差累積による発散を抑える方法としては、角速度と加速度を組み合わせたカルマンフィルタによる処理³⁾ が考えられるが、今後の検討課題である。

しかしながら、森林での測量は、土地の境界設定や植生状態の把握のために、その作業の困難さから、精度の悪いコンパス測量が行われており、さらに地形測量となると、面的なデータ取得のため、通常の地上測量では、見通し確保のために多大な草木の伐採が必要となり、きわめて困難な作業になる。したがって、森林内を歩行するだけで 3D 座標が得られる本測量法は、IMU の精度の問題が解決すれば、きわめて有効な測量法と考えられる。

謝辞：本研究は、平成 25 年度鹿児島県建設技術センターの助成を受けています。記して、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 土志田正二ほか：航空レーザ測量データを用いた崩壊地形解析から推定する山体斜面の形成過程，pp. 15-16, 2007.
- 2) 南雲吉久ほか：GPS および IMU の利用による写真測量の効率化に関する研究，国土交通省国土地理院調査研究年報，2001 巻，pp. 47-48, 2002.
- 3) 足立修一，丸田一郎：カルマンフィルタの基礎，東京電機大学出版局，2012.