

地上型 LiDAR を用いた 長者地すべりの挙動把握

1150165 山崎まき

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

地上型 LiDAR を用いた長者地すべりにおける広範囲の挙動把握を試みた。LiDAR は高精度・広範囲の三次元点群データを取得することが可能である。本研究は、以前より高木研究室が定期的に地すべりの観測を行っている高知県吾川郡仁淀川町長者地区を広範囲で捉え、地すべりの挙動を把握することを目的としている。

240m×150m の広範囲を対象に幾何補正を行った結果、検証点の最大残差は、X 方向 5.3cm、Y 方向 4.2cm、Z 方向 19.2cm となった。XY 座標においてのみで挙動把握を行ったが、地すべり範囲内で最大 6.4cm、地すべり範囲外で最大 6.3cm の変位を得た。XY 方向の幾何精度が 5cm 程度なので、有意な変位とは言い難いが、抽出した変位をトータルステーションで得た基準点の変位と比べると、同じような動きをしていた。今後は、LiDAR 用の基準点を倍の 8 点以上に増やして、精度向上に努めたい。

Key words : 地すべり,地上型 LiDAR,3 次元アフィン変換

1. はじめに

地上型 LiDAR (Light Detection And Ranging) は、計測対象物に対してレーザー光を照射し、散乱光や反射光を測定することにより、計測対象物までの斜距離、水平角、鉛直角を一定の間隔で広範囲のデータを取得することが可能である。高木研究室では、高知県吾川郡仁淀川町長者地区にて、毎年定期的に地上型 LiDAR を用いた地すべりの観測を行っており、2010 年夏から 2014 年冬の間は年間 1mm~54mm の基準点の動きを確認している。図-1.1 に 2010 年夏からの変位を 500 倍したものを示す。

今までは図-1.1 に示す護岸ブロックや棚田などを用いた小規模な挙動把握が行われていたが¹⁾²⁾、本研究ではそれらの場所も含めた広範囲の LiDAR 点群データをもとに、地すべりの挙動を把握する。そうすることで、地すべりの挙動メカニズムの解明につなげていく。



図-1.1 2010 年夏からの基準点の動き

2. 使用機材

本研究で使用した LiDAR は、TOPCON 社製の GLS-1500 である。LiDAR の外観を図-2.1 に、仕様を表-2.1 に示す。基準点に用いたプリズムと LiDAR 専用反射板を図-2.2 と図-2.3 にそれぞれ示す。



図-2.1 LiDAR の外観

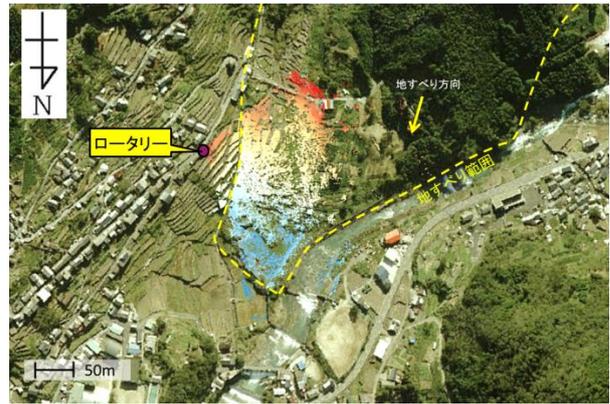


図-3.1 LiDAR データ取得範囲例

表-2.1 GLS-1500 の仕様

有効計測距離	500m
計測視野	70° × 360°
測距精度	±4mm(150m以内)
計測密度	最大1mm(20m内)
最大測点数	100,000,000点
計測原理	Time of Flight法
レーザー波長	1535nm(近赤外域)



図-3.2 取得した LiDAR データ例



図-2.2 プリズム

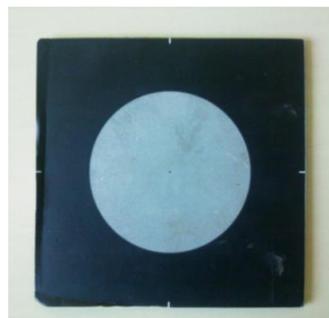


図-2.3 反射板

3. データ取得

今回の研究では、2013年3月28日と2014年2月22日に高知県吾川郡仁淀川町長者地区の基準点ロータリーから取得したデータを用いた。LiDARデータ取得範囲例を図-3.1に、取得したLiDARデータ例を図-3.2に示す。なお、図-3.1のデータの色は高低差を表している。赤色に近くなればなるほど高く、逆に青色は低い。

4. 植物の除外

地すべりの挙動把握が植物によって妨げられるため、植物の情報を除外した。

植物のRGB値に着目し傾向の解析を行ったが、季節が冬であるためか期待した結果は得られなかった。そこで、季節に影響されないコンクリート・石垣に着目し、RGB値の傾向を分析した。抽出のルールは $(B > R) \cap (B > G)$ を適用した。その結果、図-4.1の生データから、図-4.2のようにほとんどの植物が除外された。

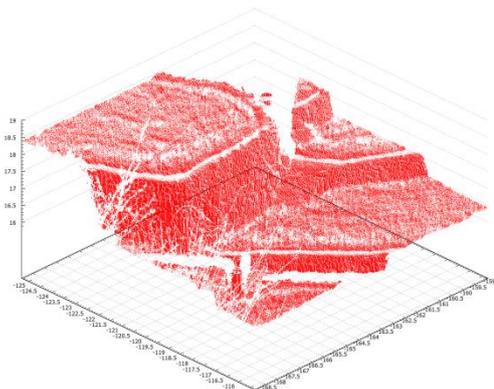


図-4.1 棚田の点群データ

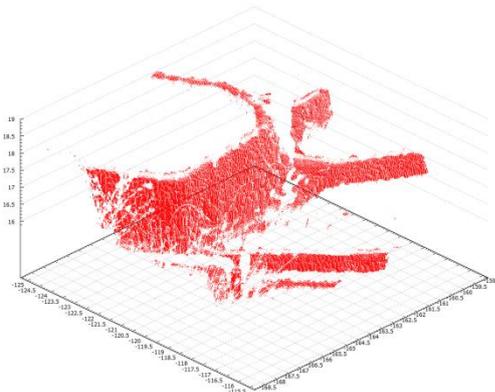


図-4.2 抽出したコンクリート・石垣のデータ

5. 幾何補正手法

2013年のデータと2014年のデータを比較するには、座標系を統一させる必要がある。本研究では、座標系を統一させるために3次元アフィン変換(式-5.1)を用いた。

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_0 & p_1 & p_2 \\ p_3 & p_4 & p_5 \\ p_6 & p_7 & p_8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} \quad (\text{式-5.1})$$

(X_i, Y_i, Z_i) : 基準点座標(地上座標)

(u_i, v_i, w_i) : 基準点座標(LiDAR座標)

$(p_0 \sim p_8)$: 変換パラメータ

(X_0, Y_0, Z_0) : LiDARの設置座標

地すべり範囲外の動きのない基準点を使用して変換係数を求める必要があったため、A~Dの基準点を設けた(図-5.1)。3次元アフィン変換の基準点座標に意図的な誤差を与え、ポリゴン内と、ポリゴン外の各点にどのような残差が生じるのか解析した。

基準点座標(LiDAR座標)に1mm~5mmの誤差を乱数で与え、変換パラメータとLiDAR設置座標を求めた。求めた値を用いて、検証点1~5の座標を導いた。乱数を10回与えて、導かれた検証点座標の最大残差を表-5.1にまとめた。ポリゴン内の点に比べ、ポリゴン外の残差は大きく、基準点から遠いほどその残差は大きくなることが判明した。そこで地すべり範囲内であるが、新たに基準点2点(E,F)を設けた(図-5.2)。なお、この2点は動いているが、毎回トータルステー

ションで移動を追跡しており、座標の値は毎回更新している。

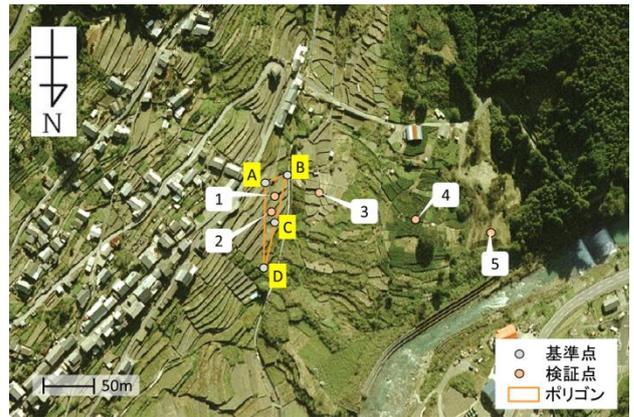


図-5.1 残差の解析に用いた基準点と検証点

表-5.1 各検証点の残差の最大値

	検証点	X(m)	Y(m)	Z(m)
ポリゴン内	1	0.141	0.149	0.164
	2	0.153	0.161	0.177
ポリゴン外	3	0.913	1.063	1.216
	4	2.228	2.605	3.082
	5	7.098	8.315	9.494

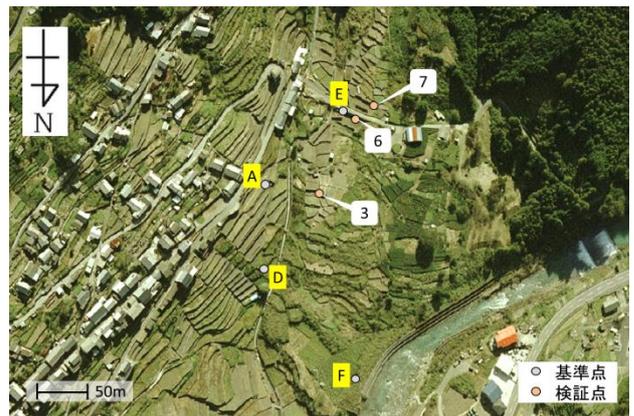


図-5.2 幾何補正に使用した基準点と検証点

A, D, E, Fの基準点を用いて、変換パラメータとLiDAR設置座標を計算し、検証点3, 6, 7の残差を求めた。検証点の残差(表-5.2)は、Z座標が非常に大きかった。これは、基準点の機械高などに何らかの誤差が生じたためと考えられる。Z座標の残差が大きい状況をより分かりやすくするため、点3における残差をXY軸, XZ軸, YZ軸で図-5.3に示す。

表-5.2 検証点の残差の状況

	X(m)	Y(m)	Z(m)
3	0.018	0.042	0.192
6	0.047	0.020	0.118
7	0.053	0.018	0.189

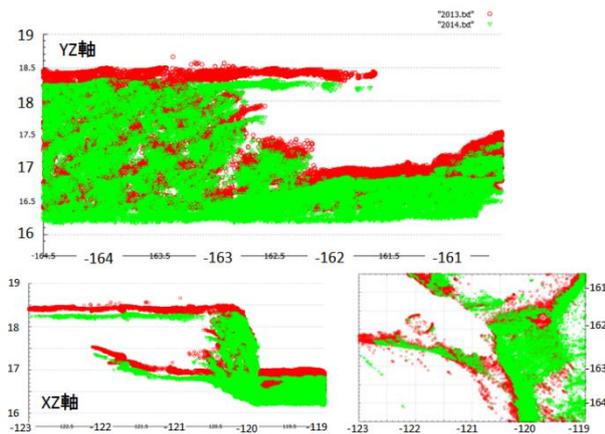


図-5.3 検証点3における残差

6. XY 座標における変位抽出

幾何補正の結果, 2 時期のデータの Z 座標の残差が大きかったため, XY 座標のみを用いて変位抽出を行った. 各点の変位を図-6.1 に示す.

地すべり範囲内の点は南西から北東へ移動していて, 上部は変位が大きく, 中部では変位が小さくなる傾向にあった. 地すべり範囲内で最大 6.4cm, 地すべり範囲外においても最大 6.3cm の変位が得られた.

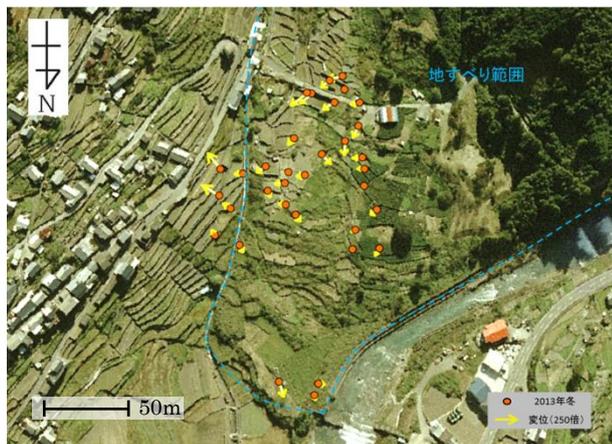


図-6.1 XY 座標の変位

7. 考察

240m×150m の広範囲を対象に幾何補正を行った結果, 検証点の最大残差は, X 方向 5.3cm, Y 方向

4.2cm, Z 方向 19.2cm となった. Z 座標の残差が大きくなった一因として, 2013 年と 2014 年の LiDAR 計測の際に用いた LiDAR 専用反射板の高さが把握できていなかったことが挙げられる.

XY 座標においてのみで挙動把握を行ったが, 地すべり範囲内で最大 6.4cm, 地すべり範囲外で最大 6.3cm の変位を得た. 幾何精度が 5cm 程度なので, 有意な変位とは言い難いが, 抽出した変位をトータルステーションで得た基準点の変位と比べると, 同じような動きをしていた.

地すべり範囲内上部の変位が大きいのは傾斜が大きいからであり, 中部が上部に比べて変位が小さいのは傾斜がなだらかであるためだと考えた. 図-1.1 を見ると過去の基準点と今回用いた基準点の移動方向が異なる場所もあり, 今後, 幾何精度の向上が求められる.

今後は, LiDAR 用の基準点を倍の 8 点以上に増やして, 精度向上に努めたい. LiDAR 専用反射板の高さを正確に把握するために, 設置の状態を基準点ごとに写真に撮って残しておく. また, 地すべり範囲内に幾何変換用の反射板を設置して計測を行い, 幾何補正の誤差を軽減していく必要がある.

参考文献

- 1) 秋山心平：護岸ブロックの形状を用いた LiDAR による地すべり変位観測手法の開発, 高知工科大学 2011 年度学士論文
- 2) 秋山心平：棚田における LiDAR を用いた地すべり監視手法, 高知工科大学 2013 年度修士論文
- 3) 高木方隆：国土を測る技術の基礎 2012 年
- 4) 弘田迪也：地上型 LiDAR を用いた地盤標高データ作成, 高知工科大学 2013 年度学士論文
- 5) 池内瑞希：長者地すべりに関する地表面変動の特徴, 高知工科大学 2012 年度学士論文