

地上設置型レーザースキャナ等による地すべり変形過程把握の試み

(独)土木研究所 ○石田孝司、宇都忠和、本間宏樹、武士俊也 (株)パスコ 下村博之、小松崎弘道、野田敦夫
坂田電機(株) 石坂周平、樋口佳意 応用地質(株) 村崎充弘 日本工営(株) 児玉浩

1. はじめに

地すべり頭部に亀裂などの変状が発生した際、速やかに移動土塊の範囲と規模、挙動を的確に把握し、予測することが求められる場合が多い。土木研究所およびパスコ・坂田電機・トプコン販売・応用地質・日本工営の各社は、平成 21 年 4 月 1 日～23 年 4 月 28 日にかけて、地上型レーザースキャナ（以下、LS）を用いて地すべり末端部の変状を面的に計測・把握する手法を検討し、末端崩落の範囲・規模想定に繋げるための共同研究を実施した¹⁾。4 地区で実施した実証計測のうち、C 地区の事例¹²⁾について紹介する。

2. 調査方法

2.1 計測諸元

と比較的速い変位速度が観測されている C 地区の地すべり頭部で、不動域に LS を置き、計測した（表 1）。

表 1 計測諸元

	計測日	項目	適用値
第 1 回	2009 年 9 月 10 日	データ取得間隔（水平・垂直）	5cm（20m 地点）
		ビームモード設定	標準（0-40m）
		データ取得数	6,156,792 点
第 2 回	2009 年 11 月 27 日	データ取得間隔（水平・垂直）	5cm（20m 地点）
		ビームモード設定	標準（0-40m）
		データ取得数	550,988 点
第 3 回	2010 年 6 月 15 日	データ取得間隔（水平・垂直）	5cm（20m 地点）
		ビームモード設定	標準（0-40m）
		データ取得数	737,785 点
第 4 回	2010 年 11 月 26 日	データ取得間隔（水平・垂直）	5cm（20m 地点）
		ビームモード設定	標準（0-40m）
		データ取得数	758,578 点

計測機器：第 1 回・第 2 回：トプコン社製 GLS-1000
第 3 回・第 4 回：トプコン社製 GLS-1500

2.2 計測点の配置

図-1 に示す器械点 A に地上型レーザを設置した。検証点 1～14 は第 1 回計測時に設置し、また、第 3 回以降、不動域に標定点（H1～H4）を追加設置し、トータルステーション（以下、TS）等で位置を計測した。

2.3 重心移動回転法による座標変換と差分析

複数回の計測結果から差分析を行う場合、設置時の座標軸誤差等により生じる誤差を座標変換により補正する必要がある。一般的に用いられる変換法のうち、バック点法は、スキャナの微小な傾きが誤差を生じる場合があり、タイポイント法は、変換時に点群の配置に歪みを生じる場合があることが判明している¹⁾。

そこで、本研究においては、タイポイント法を改良し、変換時に歪みを伴わない重心移動回転法（図-2）によるマッチングを行った。その際、基準となる標定点を定める必要があるが、第 1 回・第 2 回計測は、TS 計測した検証点全点を標定点に見立てた。第 3 回・第 4 回の差分析は、不動域に設置した標定点（H1～H4）を用いた。

2.4 他計器との検証

地すべり頭部に設置された挿入式孔内傾斜計を参照し、3 次元ベクトルによる比較を実施した。

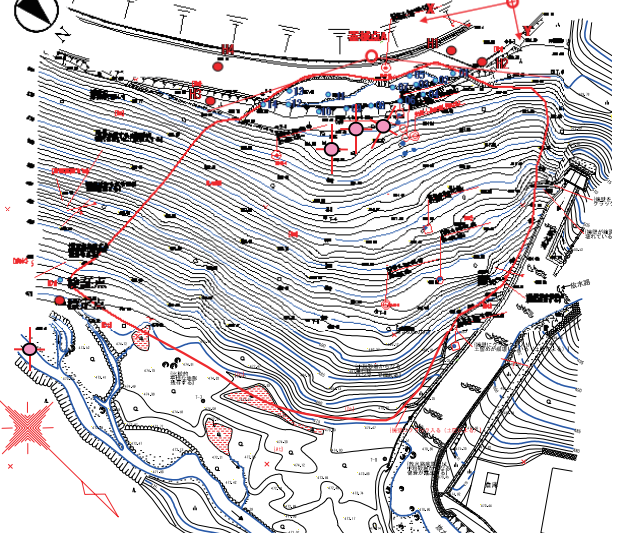


図-1 器械点、検証点および標定点の配置

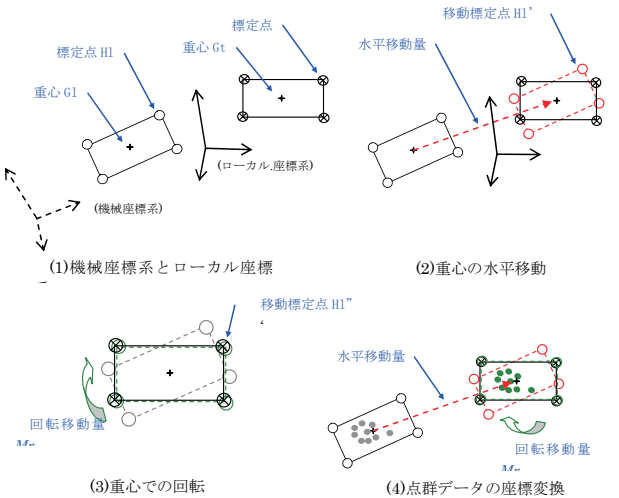


図-2 重心移動回転法による座標変換

3. 計測結果

3.1 検証点移動量の時系列変化および平面分布

3 次元での変位量の経時変化を図-3 に示す。

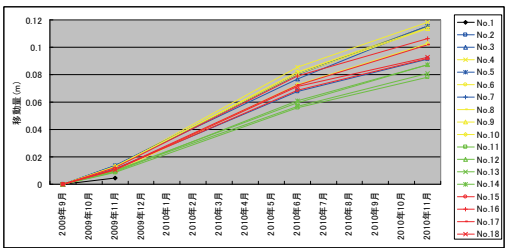
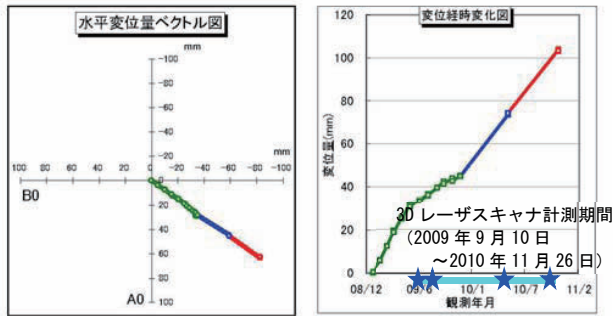


図-3 検証点移動量時系列変化（T. S. 値 xyz 変化量）



緑色部:08/12/27~09/11/19における水平変位量
青色部:09/11/19~10/5/17における水平変位量
赤色部:10/5/17~10/11/23における水平変位量

図-4には、変位ベクトルの水平面への投影、長さおよび傾斜角を示す。変位ベクトルは、長さに関しては100mm以上・以下のI・IIの範囲、傾斜角に関しては $54\sim 59^\circ$ 、 $42\sim 49^\circ$ のi・iiの範囲に大きく区分される。変位速度は、Iは $102.5\sim 118.2\text{mm}/14.7\text{月}$ ($7.0\sim 8.0\text{mm}/\text{月}$)、IIは $78.3\sim 87.5\text{mm}/14.7\text{月}$ ($5.3\sim 5.9\text{mm}/\text{月}$)、に相当する。この間、孔内傾斜計における3次元での変位速度は、すべり面傾斜(60°)³⁾で換算すると、約 $8.6\text{mm}/\text{月}$ であった。

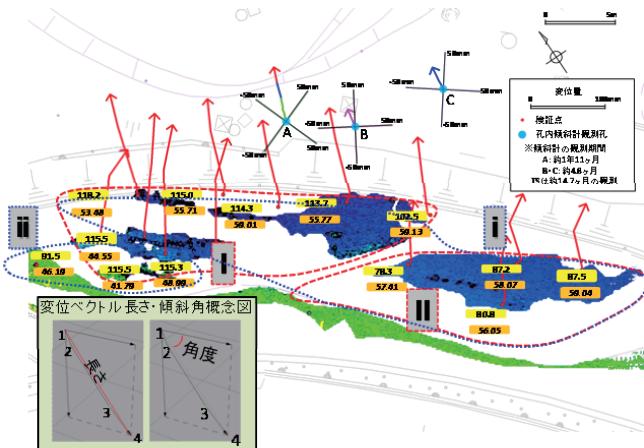


図-4 検証点のTS計測による変位ベクトルの長さ(mm)および角度($^\circ$; 斜体で示す)(2009年9月10日~2010年11月26日)

3.2 マッチングおよび差分解析結果

Z軸方向の沈下量について、マッチング実施後の2時期差分量を10cmグリッドで計算し、平面図にプロットした。例を図-5に示す。

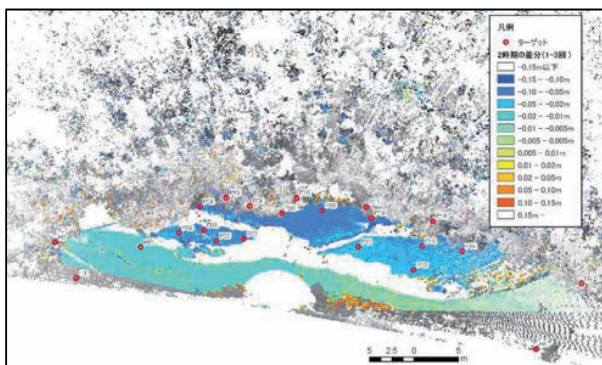


図-5 第1回と第3回の2時期差分図(10cm×10cmグリッドで、垂直方向の差分上昇を正)

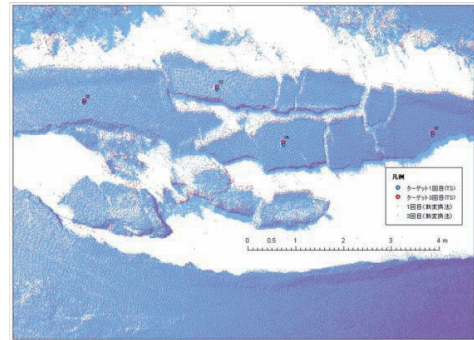


図-6 第1回と第3回の2時期重合わせ

また、図-6に示す重ね合わせの図からは、水平方向の移動が面的に読み取れる。

4. 考察

4.1 マッチング誤差の評価

本研究で適用した重心移動回転法では、一般的に用いられるアフィン変換よりも誤差を小さくできることが確認できている。しかし、図-5から、本来不動域と考えられる、滑落崖背後の道路面において、東に向かって大きくなる見かけの沈下が認められ、その量は最大で20mm前後である。現地状況から、原因は計測作業における誤差に起因していると考えられる。

要因の一つとして、標定点4点の配置が、y軸方向に伸びている一方でx軸方向が短いことがあげられる。このような場合、y軸回りの精度が低くなる傾向がある。また、標定用ターゲットの設置には測量用三脚を用いているが、道路面(アスファルト)での長時間作業中に、三脚の沈下が起こることがある。これらによる、見かけの沈下の影響が含まれると考えられる。

4.2 孔内傾斜計観測結果との比較検証

孔内傾斜計に隣接するIの範囲では、代表観測孔におけるベクトル方向の変位速度に近い値が得られた。計測結果は、孔内傾斜計での変位ベクトルと比較検証し、変位の方向と速度は概ね近い値を示すことを確認した。

5. まとめと今後の課題

地すべり頭部で3Dレーザースキャナ計測を4回実施し、重心移動回転法による座標変換を利用してマッチングを行った結果、沈下変状を面的に捉え、孔内傾斜計との比較検証も実施できた。

ただし、本共同研究期間内には、地すべり末端部のすべり面位置とはらみ出しの関係、またはらみ出し範囲と末端部小規模崩落との関係を明らかにするところまでは至らなかった。そのため、今後は末端部も含めた計測による、総合的な挙動把握が必要である。

参考文献

- (独)土木研究所・応用地質(株)・日本工営(株)・(株)パスコ・坂田電機(株): 共同研究報告書 地すべり末端部の崩落範囲の予測技術の開発(印刷中), p. 290.
- Ishida, K. et al.: Trial to measure the ground surface areal displacement of landslide using three-dimensional laser scanner. AGU Fall meeting 2010.
- 本間ほか: すべり面の急傾斜部における孔内傾斜計観測孔の挙動とその解釈. 土木技術資料, Vol. 53, No. 3, pp. 6-9, 2011