

独立行政法人土木研究所 ○小山内信智、浅井健一、浅野広樹
愛媛県土木部 田窪弘文

1.はじめに

地すべり災害の初動時には安全確保のため地すべり運動機構の調査を行い、地すべりの被害（危険）範囲の想定を行う必要がある。特に災害時の計測には危険な箇所への立ち入りが制限されることから、近年ではトータルステーション等によって遠隔から移動杭測量（地表面移動量観測）が行われることが多い。

3次元レーザーミラースキャナー（以下、3Dスキャナという）は遠隔からの計測により高密度の地形データの迅速な取得が可能であり、地すべりの計測においても、①地すべりの移動方向の把握、②地すべりの移動範囲の面的な把握が有効と考えられる¹⁾ことから、筆者らは3Dレーザースキャナーの地すべり観測への適用性の検討を行っている。

3Dスキャナの計測原理は汎用的な光波測距儀等と同様に、発射したレーザーが対象物に当たり、反射して戻ってきた時間差を解析して距離を測定するものである。なお、距離測定と同時に反射強度データを取得する機能を有している。3Dスキャナは機械内部のミラーを回転させることによってレーザーの向きを変え、高速でスキャニングできる。また、ノンプリズムで計測が可能である。表-1に、計測に用いた3Dスキャナの仕様を示す。

使用した3Dスキャナは、地形条件や測定距離によって大きな誤差が生じる可能性があり²⁾、特定の位置を視準して計測するプリズム型のトータルステーションに比べると移動杭毎の計測精度は劣ることが考えられる。しかしながら、3Dスキャナの測定精度より大きな変位を示す地すべりの場合には、3Dスキャナによる地すべり計測の有効性が確認できたのでここに報告する。

2. 計測地の概要

計測箇所の地すべりは仁淀川水系の面河川右支川久万川右支川二名川が大きく蛇行する左岸（南向き斜面）の尾根部末端を道路改良に伴って約20年前に切土施工し、昨年になって地すべりが発生した箇所である。計測地の全景を写真-1に示す。写真-1の法工の右手上部付近は地すべりの移動により手前に大きく押し出され、モルタル吹き付けが剥がれ落ちる等の被害が出た。

地山を構成する地質は、三波川帯の結晶片岩からなる。結晶片岩は、黒色片岩が主体で緑色片岩や石灰質片岩を挟在する。片理面構造は、河床部新鮮硬岩部では、走向が概ねN75°Eで、傾斜は北側に70°前後となっている。地すべり地で今回発生したクラックの伸長方向は、片理面の走向に概ね一致する。また、クラックの分布は尾根の東側斜面に多く、西側斜面には少ない。図-1に自動追尾型のトータルステーションによる移動杭測量の結果を示す。移動量計測結果は、切土法面上部付近の移動量は大きく、下部付近の移動量は小さいものであり、トップリング型の移動形態を示している。図-1の計測結果から西側斜面に比べ東側斜面の変位が大きいことが示されている。なお、自動追尾型の反射プリズムは反射シールの位置とは若干異なっている。

3. 計測手法

3Dスキャナで計測を行った切土法面部は幅約70m、長さ約40mの規模で、よく見通せる箇所から水平距離で25m～90m程度の範囲を計測した。3Dスキャナの計測とほぼ同時期にトータルステーションにより反射シールを視准して移動杭測量を行っている。3Dスキャナの計測誤差は、移動杭測量の座標値の比較により算出した。移動杭としている反射シールは5×9cm四方の正方形のものが貼付されており、27地点を計測した。3Dスキャナの計測データ上では反射シールの位置は特に反射強度が高いことから、反射強度データを確認することにより、3Dスキャナの計測データ上で移動杭の位置の特定が可能である。

3Dスキャナの測定日は4月4, 6日、4月26日である。4月24日以降は、法面下部に押え盛土が行われたため、法面下部の反射シールが計測できなくなった。このため、3Dスキャナのデータを公共座標系に変換するために、移動杭の座標値を挿入する点（4点）は計測時期によって異なっており、変換作業に使用する点は次の様に観測可能な範囲をとり囲む一番外側の点を基準点として使用した。

4月4, 6日：No. 4, 6, 30, 32、4月26日：No. 4, 6, 9, 1

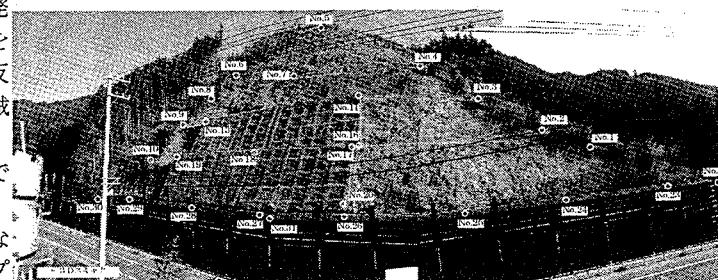
4. 計測結果と考察

4. 1 最大反射強度を示す点を移動杭（反射シール）の位置とした方法

トータルステーションによる移動杭の座標値を正値とし3Dスキャナの移動杭の座標値との差を誤差として、4月4日に計測した3Dスキャナデータの誤差の検証を行った。3Dスキャナのデータ上における全ての移動杭（27点）の計測距離と誤差の関係をグラフにまとめたものを図-2に示す。3Dスキャナのレーザーは3mradの角度で拡幅する。図-2にはレーザーが平面上のものに垂直に当たった場合の理論上の最大誤差（レーザーの照射範囲である円の半径）の値を直線で示している。

表-1 3Dスキャナの仕様

測定範囲	2~350m
スキャニング角/速度	上下方向：80°（スキャン範囲）/20スキャン/秒 左右方向：340°（スキャン範囲）/5°/秒
レーザーの広がり角	ミリラジアン 3 m r a d (100mの距離で30cmのビーム拡幅)
測定精度（距離誤差）	測定距離350m:標準±2.5cm 測定距離750m:標準±5.0cm
本体重量	13kg
サイズ	435×φ210mm (高さ×直径)
電源	11~15VDC (max3A)
動作環境	-10~50°C 雨天、霧、降雪不可



○ 移動杭測量の反射シールの位置と測点番号

写真-1 調査地全景 (2002年4月4日撮影)

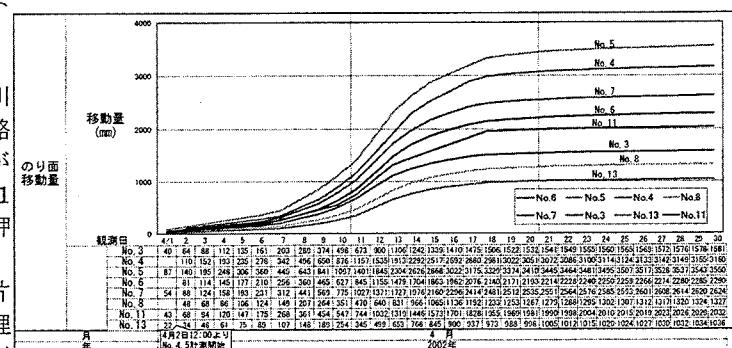


図-1 移動杭測量結果 (自動追尾型トータルステーション)

図-2の結果は、計測距離と誤差の相関性が少ないような結果となった。移動杭の全27点のうち、11点が理論上の最大誤差以内に収まり、誤差の大きさが理論上の最大誤差を上回る点は半数以上の15点であった。誤差の平均値は0.145mであった。図-2は、3Dスキャナデータ上の反射強度が最大級の点を各測点の移動杭の位置として解析を行ったものである。レーザーが3mradの角度で拡幅するためにレーザーの間隔を密にするとレーザーの照射範囲がオーバーラップすることから、3Dスキャナデータ上の反射シールの位置は、複数の点で反射強度は高い状態となる³⁾。これまでの計測では最大級の反射強度を示す点をそのまま移動杭(反射シール)の位置としていたが、特に問題となることはなかった。しかしながら、今回のデータは明らかに反射強度の大きな点が広範囲に分布しており、反射強度が同程度の点同士でもスキャナからの計測距離が大きく異なる場合が認められた。なお、このデータを使用した断面図や平面図による面的な移動状況については問題なく把握できた。

4.2 大きな誤差が生じた原因として考えられる事項

大きな誤差が生じた移動杭の設置状況を調べると、誤差が生じた原因と考えられる事項として以下の状況が見受けられた。

①測定地点から対象法面までの距離が比較的近いにも関わらず、サイズの大きなシールが張られている。②反射シールに隣接して自動追跡用のミラー・シール面から突出した物体(トタンによる庇)が存在している。③草が繁茂しているすぐ脇に設置されている。④落石防止のネットがかぶせられている。⑤測定地点との間にフェンスがある。

これらのことから、反射シールを設置する際、少なくとも次のような点に配慮する必要があると考えられる。①測定地点から60m以内の区域では、反射シールの大きさを5cm四方以下にする。②反射シールは、地形面から突出した草木やミラー等からできるだけ離して設置する。③反射シールの設置場所は、できるだけ広い面を形成する地形面の中心付近とする。

4.3 反射強度画像の目視による移動杭(反射シール)の抽出方法

ここでは、今回取得された3Dスキャナのデータから、精度良くターゲット座標に近い点を抽出することを目的に、反射強度の分布とスキャナからの計測距離の分布を目視で確認することにより反射シールの位置を判断し、反射シールの位置の抽出作業を行った。また、3Dスキャナのデータ上における全ての移動杭の計測距離と誤差の関係をグラフにまとめたものを図-3に示す。

その結果、反射強度の最大級の位置をそのまま反射シールの位置として抽出した座標値は理論上の最大誤差よりも大きいものが多かったことに対し、今回の目視によるターゲットの抽出では理論上の最大誤差を若干上回るもののが数例認められたものの、ほぼ理論上の最大誤差の範囲内に収まることがわかった。図-3の誤差の平均値は0.057mであった。理論上の最大誤差を若干上回るものがあることに対しては、スキャナからの距離に対して反射シールの大きさが大きいこと、距離が近いためレーザースポットの照射範囲(3mradで拡幅)の外側でもレーザーの減衰が小さく高い反射強度が得られると考えられること等から、多数の点で反射強度が大きく、かつ計測される距離が同程度であったことから正しい点の抽出が困難となった結果と考えられる。

4.4 立面図による地すべり移動特性の検討

3Dスキャナの2時期(4月4日と4月26日)のデータから立面図を作成し、図-4に示すとおり同一コンター間のズレ範囲を塗色することで地すべりの移動特性の可視化を検討した。塗色したコンターや間の幅は立面上での見掛け変位(立面に対して法線方向の変位)の大・小を示し、コンターが上方に移動している場合には手前方向の変位があることを示している。

図-4から、のり面の全体にせり出しが大きく、のり面上部の図中(A)では60cm~120cm程度コンターが手前に、のり面中段の図中(B)では、(A)に比べて上方へ最大3m程度、移動している。また、のり面中段では移動量の大きい範囲がのり面の右側に偏っているように見える。

実際の変位は、図-1の計測値に示したとおり、切土法面の上段部付近の変位が最も大きいものとなっており、立面上の変位を用いたとしてもトップリング傾向を面的に把握することが難しい。ただし、(A)、(B)との境界部はコンターの移動が相対的に小さく、のり面上段部と中段部では異なるブロック運動をしていることが伺える。今後、3Dスキャン計測データの3次元比較により、3次元上での定量的かつ可視的な把握を試していくことが必要であると考えられる。

5.おわりに

今回は、実際の反射シールの位置と3Dデータ上での反射強度の最大級の点が一致しなかったため、人為的に目視による抽出作業を行ったところ多くの測点において理論上の最大誤差以内となった。また遠隔地からの計測により断面図や平面図が比較的容易に作成が可能で、面的な移動状況について容易に把握が可能であり、実際の移動状況と同様の計測結果が得られた。したがって、災害時の地すべり計測手法としての活用が可能であることが確認できた。

最後に愛媛県久万土木事務所の方々及び国際航業株の三戸氏、新谷氏には数多くのご助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 渡野広樹、石井靖雄、網木亮介：3Dレーザースキャナーによる地すべり移動量計測の検討、第40回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp.279-281、2001
- 2) 渡野広樹、石井靖雄、小山内信智、浅井健一、他：遠隔地からの計測による地すべり移動量計測手法の検討、平成14年度防災学会研究発表会概要集、pp.214-215、2002
- 3) 渡野広樹、石井靖雄、網木亮介、小山内信智：3Dレーザースキャナの地すべり計測への適用性、土木技術資料、VOL44、NO.6、pp.24-29、2002

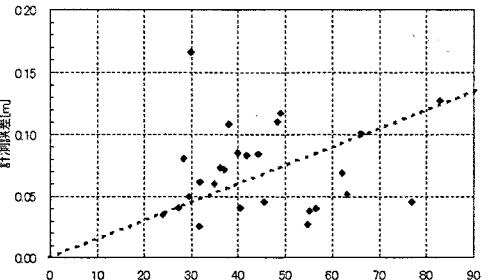


図-2 距離と誤差の関係(最大反射强度)

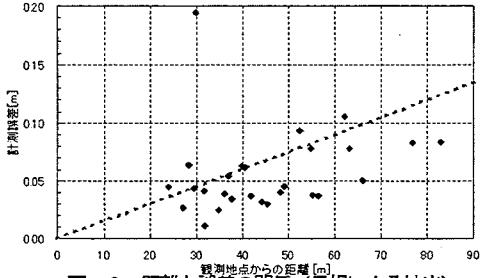


図-3 距離と誤差の関係(目視による抽出)

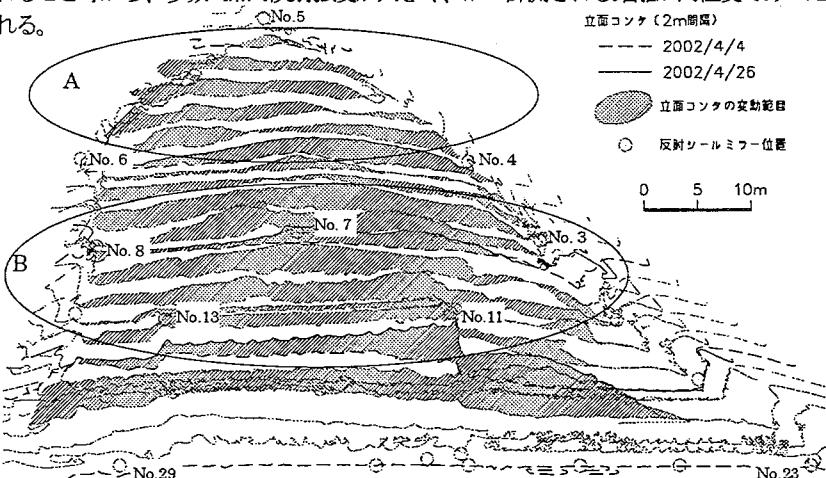


図-4 立面図 (No.23とNo.29を通る鉛直面を基点とした、2mコンタ)