

◆特集：土砂災害◆

3Dレーザースキャナーによる地すべり移動計測における誤差に関する検討

浅井健一* 浅野広樹** 藤澤和範*** 小山内信智****

1. はじめに

地すべり災害発生時には、地すべりの滑動状況、滑動範囲を早急に調査し、地すべりの運動機構を把握して被害（危険）範囲の想定を行う必要がある。しかしながら、災害時には危険な区域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る遠隔からの移動杭測量（地表面移動量観測）が行われることが多い。

3Dレーザースキャナ（写真-1、以下「3Dスキャナ」という）は計測範囲等に制約があるものの、非接触で高密度の三次元座標データの取得が可能のため、①地すべりの移動方向の把握、②地すべり移動範囲の面的な把握に有効と考えられる。

筆者らはこれまでに3Dスキャナの地すべり移動計測への適用性について検討を行ってきており、



写真-1 3Dレーザースキャナの外観

表-1 3Dスキャナの仕様

計測距離	2～350m（反射率80%以上の自然物）
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 mrad（100mの距離で30cmのビーム拡幅）
レーザー照査方向に対して直交する方向の精度	3mrad × 計測距離 × 1/2（理論上の最大誤差）
レーザー照射方向の精度	± 2.5cm ± 20ppm × 計測距離（1ppmは10 ⁻⁶ m）
本体重量 サイズ	13kgf 435 × φ 210mm（高さ×直径）
電源	11～15VDC（max3A）
動作環境	-10～50℃ 雨天、霧、降雪不可

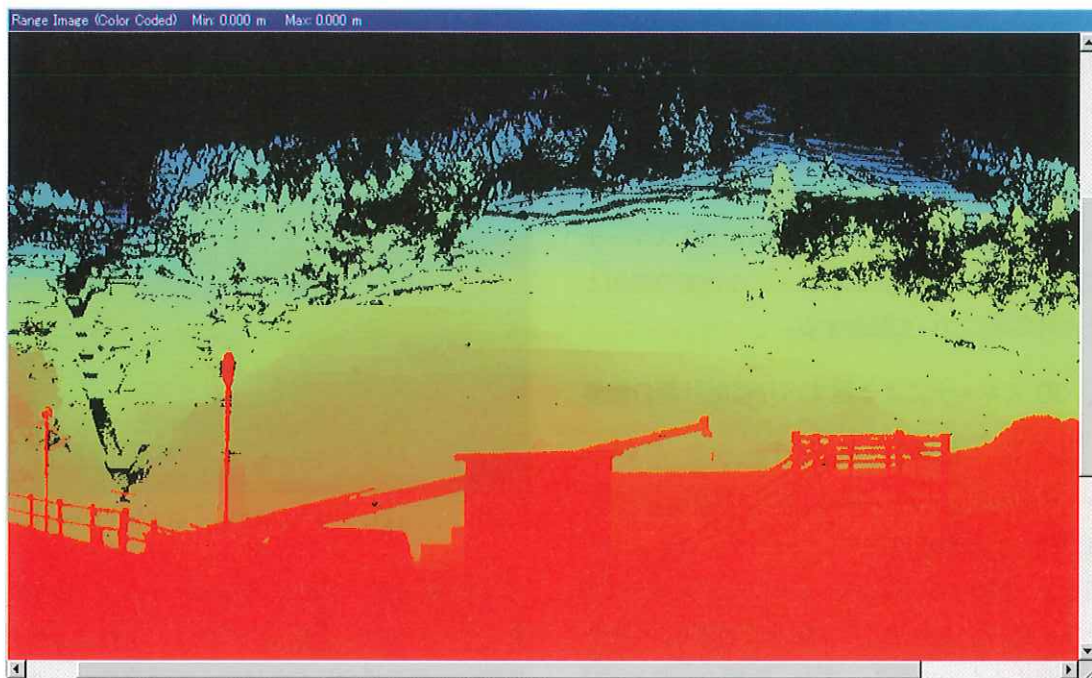


図-1 距離画像（上）及び受光強度画像（下）の例

それぞれ距離データ及び受光強度データを画像として表現したもの。距離画像は赤い部分が近く、黄→緑→青の順に遠くなる。黒い部分は距離データがない部分。受光強度画像は白い部分が受光強度が強く、黒に近づくほど弱くなる。青い部分は受光強度データがない部分。受光強度画像内に散在する白っぽい点（例えば赤丸内）は移動杭に貼り付けられた反射シールを捉えたもの。

これまでに地すべり移動量の計測、地すべり滑動範囲の面的な把握が可能であることを報告している¹⁾。また、地形条件や測定距離等の条件によっては大きな誤差が生じる可能性も指摘されているため、移動量計測時に生じる誤差とその原因について検討も行っている²⁾³⁾。本報は、3D スキャナによる地すべり移動計測時に生じる誤差の原因とその対応策について報告する。

2. 3D スキャナによる地すべり移動計測の概要

表-1 に、本研究において計測に用いた 3D スキャナの仕様を示す。3D スキャナの計測原理は、汎用的な光波測距儀やトータルステーション等と同様に、器械から発射したレーザーが対象物に当たり、反射して戻ってくる時間差を解析して距離を計測するものである。また、距離の計測と同時に受光強度データを取得する機能を有している(図-1)。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ンニングできる。また、計測する各点に反射物を設置しなくても計測が可能であるという特徴を有している。

地すべり移動計測を行うためには、2 時期の計測データを重ね合わせて処理する必要があり、そのためにはデータ上に重ね合わせのための基準点(別途トータルステーション等で測量を行い座標を求めておく)が必要である。この基準点は、反射シールを貼り付けた移動杭(写真-2)を設置して定点とすることにより、周囲より受光強度が高い点として認識が可能である。また、移動範囲内に同様の反射シール付き移動杭による計測点があらかじめ設置されていれば、その計測点の移動をベクトルとして求めることが可能である。

3. 計測誤差を生じる原因

3D スキャナの計測距離の精度は、本研究で用いた機種仕様では表-1 に示すとおり $\pm 2.5\text{cm}$

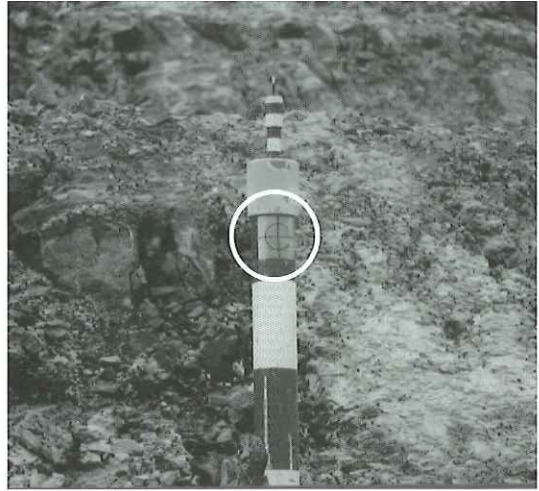


写真-2 反射シール（白丸内）を貼り付けた移動杭

(計測距離 350m の場合) または $\pm 5.0\text{cm}$ (計測距離 750m の場合) である。ただし、これは計測対象物が平面の場合にこれに対して垂直にレーザーが当たった場合の 3D スキャナ～計測対象物間の距離の精度であり、地形計測のように複雑な形状のものを計測する場合にはこれを越える計測誤差が生じる。

誤差の原因の 1 つは発射されるレーザーが広がり角を有していることであり、たとえば本研究の機種では 100m 先でレーザーの照射範囲が直径 30cm となる。計測された距離については、計算上はこの照射範囲の中心のものとして処理される

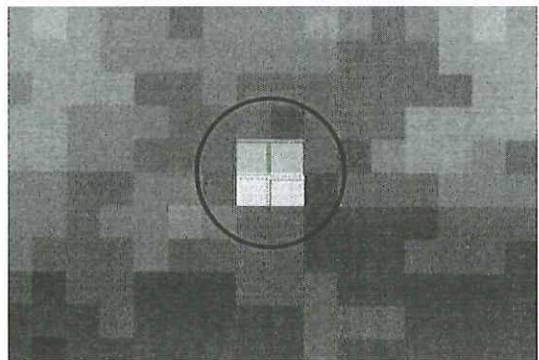


図-2 受光強度画像上で反射シールを捉えた部分
(画像の部分拡大)

黒丸内が反射シールを捉えた部分で、4 画素にまたがっており、その中でも下の 2 つが受光強度が強い。



写真-3 計測点 No.35 及び No.35-1 の設置状況

が、実際には照射範囲内のどこを代表しているかわからないため、各点の座標位置については、平面に対して垂直にレーザーが当たる場合であっても、理論上は少なくともレーザーの照射範囲の半径と同じ誤差が生じうる。また、レーザーの当たる角度が垂直でない場合や照射範囲内の対象物が平面ではなく凹凸を有する面である場合には誤差がさらに大きくなりうる。

2時期のデータを重ね合わせる場合には、各時期のデータに含まれる基準点の計測にも同様の誤差が生じることに留意する必要がある。また、実際のデータ上（あるいは画像上）においては、基準点である反射シール付き移動杭を示す受光強度が周囲より高い点が1点ではなく何点かの範囲にわたって存在し（図-2）、そのうちどの点を基準点とするかが問題となる。方法としては、例えば受光強度の高い範囲の中で最大受光強度を示す

点を基準点（移動杭）の位置とする、あるいはこの範囲の中心を基準点（移動杭）の位置とする、などが考えられるが、どの方法をとっても、特に移動杭の手前または背後に平坦地が存在する場合、決定した点の距離データが必ずしも杭までの距離を示しておらず数m手前または背後の地点までの距離を示す場合もある²⁾。

そのほか、3D スキャナーの位置から見たときに反射シール付き移動杭に近接して光を反射しやすい物体（例えば測量用プリズムなど）が存在する場合、データ上で両者の識別が困難となることも誤差を大きくする要因となりうる⁴⁾。

基準点の誤差は、2時期のデータの重ね合わせの精度に直接影響を及ぼすことから、地すべり移動の計測結果の信頼性を左右するものであり、この誤差を取り除くよう努力することが重要である。

表-2 No.35 の計測結果
2 回目の計測結果 (破線で囲った部分) において、約 7m の誤差が発生している。

No.35	トータルステーションによる計測結果			3D スキャナによる計測結果			
	X 座標	Y 座標	Z 座標	X 座標	Y 座標	Z 座標	3D スキャナからの距離 (m)
1 回目	86063.210	26257.194	402.210	86063.234	26257.180	402.058	181.30
2 回目				86062.781	26264.096	401.801	188.23
3 回目				86062.992	26257.184	402.158	181.32

表-3 No.35-1 の計測結果
4 回の計測結果とも概ね同じ値を示し、大きな誤差は生じていない。

No.35-1	トータルステーションによる計測結果			3D スキャナによる計測結果			
	X 座標	Y 座標	Z 座標	X 座標	Y 座標	Z 座標	3D スキャナからの距離 (m)
1 回目	86060.601	26256.807	401.630	86060.805	26256.869	401.798	181.11
2 回目				86060.602	26256.789	401.529	181.05
3 回目				86060.734	26256.791	401.639	181.04
4 回目				86060.906	26256.848	401.567	181.09

4. 誤差の原因に対する対応策の検討

4.1 検討を行うための現地計測

3. で述べた誤差の原因のうち、反射シール付き移動杭の背後に平坦地があるなど、移動杭の設置位置と地形の関係に起因するものは、移動杭設置位置の選定方法によって誤差を少なくすることができると考えられる。したがって、文献2) での計測地と同じ地すべりにおいて、背後に平坦地があることに起因して誤差が大きくなった計測点を選定し検討した。

対象としたのは文献2) で 1m 以上の誤差が生じた計測点のうち No.35 である (写真-3)。この計測点の反射シール付き移動杭は、平坦地上の縁辺部に設置されており、これが大きな誤差を生じる原因になったと考えられる。これに対する改善策として、平坦地手前にある 3D スキャナの方向に向くのり面部分に計測点 No.35-1 を設置し (写真-3)、設置位置の違いによる誤差の生じ方の違いを 3D スキャナによる現地計測によって検討した。なお、各計測点の座標は別途トータルス

テーションによる測量を行って求め、これを真値と見なして誤差の検討を行った。

4.2 計測結果及び評価

同一地点から複数回 3D スキャナによる計測を行ったときの No.35 及び No.35-1 の計測結果をそれぞれ表-2 及び表-3 に示す。No.35 については、3 回分の結果のうちの第 2 回目の計測において文献2) での結果と同様に大きな誤差 (3D スキャナからの距離に約 7m の差) が生じている一方、第 1 回目と第 3 回目ではこのような誤差は生じておらず、計測毎に結果が異なる不安定さが生じている。これに対し、No.35-1 については、4 回分の結果が得られたが、No.35 のような大きな誤差は生じておらず、計測毎の結果も概ね同じである。

このことから、移動杭の設置位置として、反射シール付き移動杭の背後等に平坦地が存在する場所は避け、代わりに移動杭と背後ののり面が近接するような場所を選定することが基準点位置の計測誤差を少なくする上で有効であるといえる。

5. まとめ

3D スキャナによる地すべり移動計測における誤差の原因のうち、基準点として用いられる反射シール付き移動杭の設置位置と地形の関係に起因するものについて、移動杭設置位置を変えて計測を行い、設置位置の違いによる計測誤差の違いの検討を行った。その結果、選定方法によって基準点位置の誤差を少なくすることができることがわかった。

今回の報告以外にも、既往の研究で移動杭に貼り付ける反射シールの大きさ²⁾、光を反射しやすい物体との近接を避ける⁴⁾などの留意点が明らかにされており、それらの留意点をまとめることが地すべり移動計測の信頼性向上に役立つと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 浅野広樹、石井靖雄、網木亮介：「3D レーザースキャナ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.279-282, 2001年8月
- 2) 浅野広樹、石井靖雄、小山内信智、浅井健一、網木亮介、岡本 敦、川西浩二：「遠隔計測による地すべり移動量計測手法の検討」, 平成14年度砂防学会研究発表会概要集, pp.214-215, 2002年5月
- 3) 浅野広樹、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, 第44巻第6号, pp.24-29, 2002年6月

- 4) 小山内信智、浅井健一、浅野広樹、田窪弘文：「3D レーザースキャナの切土斜面地すべり観測への適用性」, 平成15年度砂防学会研究発表会概要集, pp.186-187, 2003年5月

浅井健一*



独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ地
すべりチーム主任研究員
Ken-ichi ASAI

浅野広樹**



国土交通省北陸地方整備
局高田河川国道事務所
(元独立行政法人土木研
究所土砂管理研究グル
ープ地すべりチーム研究員)
Hiroki ASANO

藤澤和範***



独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ地
すべりチーム首席研究員
Kazunori FUJISAWA

小山内信智****



独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ火
山・土石流チーム上席研
究員(前土砂管理研究
グループ地すべりチーム
上席研究員), 農博
Dr. Nobutomo OSANAI