

091 遠隔計測による地すべり移動量計測手法の検討

独立行政法人土木研究所

○浅野広樹、石井靖雄、小山内信智、浅井健一

ネパール王国水資源省治水砂防局

綱木亮介

国土交通省四国山地砂防工事事務所

岡本敦、川西浩二

1. はじめに

地すべり対策においては、移動状況を的確に把握し適切な対策を講じる必要がある。3次元レーザーミラーレスキャナ（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。

しかしながら、3Dスキャナによる地すべり調査の適用範囲、条件等については明らかでない部分が多い。そこで、3Dスキャナを地すべり調査に用いるに当たって、計測可能距離と誤差について検証を行ったので報告する。

2. 3Dスキャナの概要

表-1に、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、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、距離測定と同時に受光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、高速でスキャンニングできる。また、ノンプリズムで計測が可能である。

測定範囲	2~350m (反射率80%以上の自然物)
スキャンニング角/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	ミラリアン 3 m r a d (100mの距離で30cmのビーム拡幅)
測定精度 (距離精度)	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

3. 計測地の概要

3Dスキャナで計測を行った地すべり地は、400ha以上の大規模な地すべりであり、その内の1つの移動ブロック（幅約300m、長さ約200m）全体を水平距離で120m~350m程度離れた箇所から計測した。3Dスキャナによる計測結果について計測誤差の検証を行うために、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る移動杭測量を行った。

移動杭は地すべり斜面に92地点設置した。また、3Dスキャナの計測データ上で移動杭の位置を識別するため、移動杭に正方形の反射シールを貼付した。反射シールの位置は受光強度が高いので、受光強度データを見ることにより3Dスキャナの計測データ上において移動杭の位置の特定が可能である。

移動杭の位置には大きさの異なる反射シール（3cm、5cm、9cm四方のいずれか）を設置し、①反射シールの大きさによる受光強度の違い、②反射シールの大きさによる誤差の違いの検証を行った。なお、計測に使用した反射シールは、ソキア製RSシリーズ（反射シート）を用いた。

4. 3Dスキャナの精度の検証

4.1 計測距離について

計測地点から移動杭までの距離と計測誤差の関係について、全ての移動杭の計測結果をグラフにまとめたものを図-1に示す。図-1の計測誤差は移動杭測量の値を正值とし、3Dスキャナの計測結果との差を計測誤差としている。

図-1は、各測定距離においてばらつきが見られるが、概ね計測誤差は50cm以下にデータが集まっている。図にはレーザーが平面状の物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）の値を直線で印している。なお、理論上の最大誤差は $3\text{mrad} \times \text{距離} \times 1/2$ で求められる。ここでは理論上の最大誤差より大きな誤差が生じている地点が複数ある。

図-1には1m以上の計測誤差を示していないが、実際の誤差の最大値は4.54m（測定距離193m地点）であり、計4地点で1m以上の計測誤差（測定距離-計測誤差を順に示すと、157m-1.85m、177m-1.01m、185m-2.22m）が生じている。

また、3Dスキャナのデータ上における移動杭の位置は、受光強度の違いから判別しているが、移動杭の周辺に反射率の高い物質が点在していたり、周辺のデータと比べて受光強度の違いが少なかったりしている場合には杭の

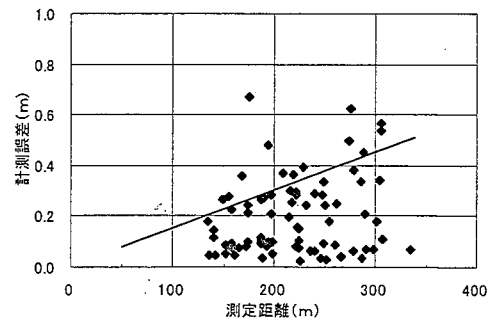


図-1 距離と誤差の関係

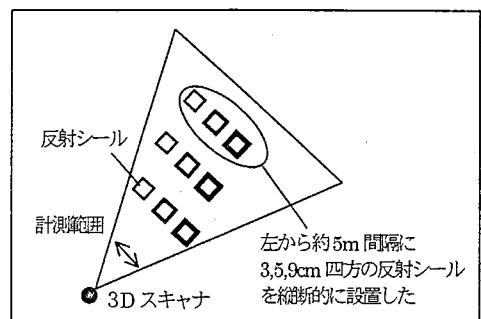


図-2 反射シール設置状況の概念図

位置の特定は難しい。今回、92点中9点では3D スキャナのデータ上で移動航の位置の特定は出来なかった。なお、1m 以上の誤差のデータを含めると、誤差の最小値は0.02m、誤差の平均は0.3m（標準偏差0.58）であった。

4.2 反射シールの大きさが与える影響

図-2に示す通り、計測した地すべりの一部の範囲に、大きさの異なる3種類の反射シール（3、5、9cm 四方を並列に約5m 間隔）を縦断的に設置し、反射シールの大きさによる受光強度や誤差に及ぼす影響について検討した。

4.2.1 反射シールの大きさによる受光強度の違い

反射シールの違いによる受光強度と距離の関係を図-3に示す。発射したレーザー光が対象物に当たり、跳ね返ってレーザーセンサーで受光した反射信号の強度の情報で、計測値は0~255の範囲となっている。

図-3では3Dスキャナからの距離が遠くなるに従って、受光強度が低下する傾向にある。計測距離200m 付近までは反射シールの大きさに関係なく受光強度が100を上回っているが、計測距離200m 以上は9cm シール以外の反射シールは受光強度が100を下回った。経験的に受光強度が100より低い場合には画像上で反射シールの位置を認識出来なくなる可能性が高くなることから、今回の計測結果からは、計測距離が200m 以上の位置に関しては9cm 四方以上の反射シールが望ましいと考えられる。

4.2.2 反射シールの大きさによる誤差の違い

反射シールの大きさと誤差の関係を図-4に示す。距離に応じて誤差が大きくなる傾向にある。また、計測距離200m 付近までは、反射シールの大きさと計測誤差の関係は認められない。しかし、計測距離200m 以上は3、5cm 四方の反射シールに比べて9cm 四方の反射シールの計測誤差は傾向として小さくなった。なお、図-4には計測誤差1m 以上は示していないが、実際の計測結果は計測距離150m 付近に1.85m の誤差（シールの大きさは5cm 四方）を生じた箇所があった。

4.3 大きな誤差が生じた箇所の検証

4.1でも述べた通り、今回の計測では4箇所において1m以上の大きさの誤差が生じた。図-5の黒丸となっている箇所は誤差が特に大きかった（50cm 以上の誤差）位置を示している（黒丸のNo.4は4.54m、No.16は0.67m、No.26は1.01m、No.35は2.22m、No.51は1.85mの誤差）。No.16,26,35は、共通して背後地に平坦面のある箇所であった。また、No.4の背後地は計測方向と平行してコンター線が延びており、No.51は階段式護岸の天端付近に位置している。

使用した3D スキャナのレーザーは3mrad の拡がりで、距離に比例して拡幅する性質を持つため、距離に比例してレーザーの照射範囲が広がる（図-6）。例えば、建物の壁の様にレーザーが垂直に当たる場合に比べ、緩い傾斜や平地の場合にはレーザーの照射範囲が広がることから大きな誤差が生じ易くなると考えられる。

したがって、反射シールを設置して、それを基準点とする場合には、反射シールの設置場所周辺の地形について特に注意が必要である。

5. おわりに

地すべりの遠隔計測手法について3D スキャナを用いて検討してきた。示したデータのみで、測定距離と誤差の生じ方について明確に述べることは出来なかったが、3D スキャナの計測誤差のばらつきは距離に応じて大きくなる事は整理された。また、反射シールの大きさや設置地点に関する留意点が明らかとなった。今後は3D スキャナにより安全で迅速な移動量計測が出来るよう計測方法及び解析方法について検討を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 浅野広樹、石井靖雄、網木亮介：3Dレーザーセンサ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講演集，pp.279-281，2001

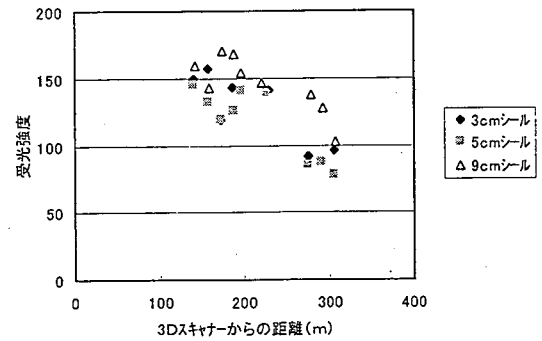


図-3 受光強度と距離の関係

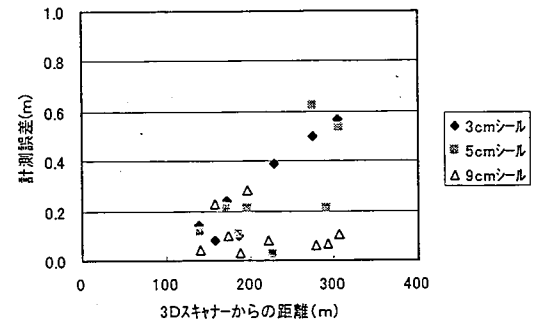


図-4 反射シールと誤差の関係

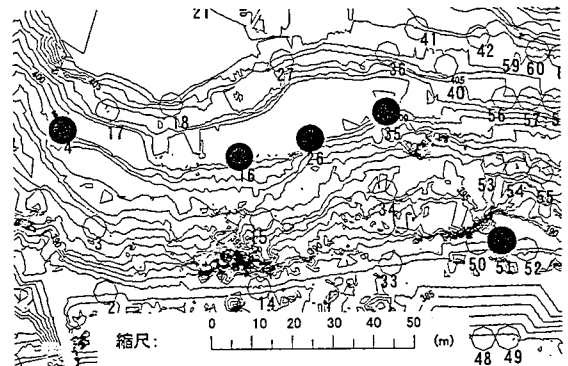


図-5 特に大きな誤差が生じた箇所

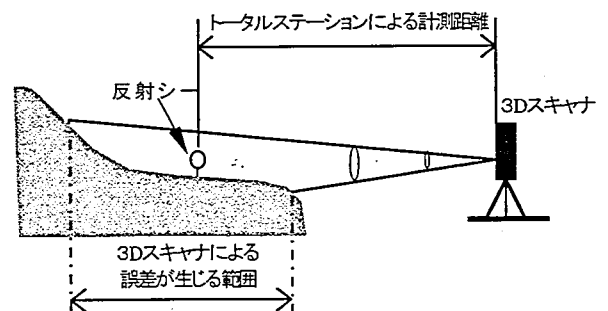


図-6 3D スキャナの誤差の生じる要因