

3次元点群データを活用した 道路沿い斜面の変状把握手法に関する一考察

西村 海知¹・西田 秀明²

¹正会員 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 熊本地震復旧対策研究室
(〒869-1404 熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字河陽3574番地)

E-mail:nishimura-k29k@mlit.go.jp

²正会員 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 熊本地震復旧対策研究室
(〒869-1404 熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字河陽3574番地)

E-mail:nishida-h92ta@mlit.go.jp

平成28年熊本地震では、地震動の影響に加えて斜面崩壊に伴う地盤変状の影響により道路機能に支障をきたす被害が発生し、その中には急峻な斜面沿いにあり復旧に長時間を要した道路もあった。このような条件の道路の機能を地震後に早期に回復させるためには、斜面の状態をできる限り速やかに把握することが重要な要素の一つとなる。そこで本研究では、異なる時点の3次元点群データの差分から安全にかつ面的に斜面の状態を速やかに把握するための方法について検討した。その結果、点群データによりある程度斜面の状態を把握可能であること、3次元点群データの取得方法の違いにより、把握できる斜面変状の程度に差が生じることが明らかとなった。

Key Words : road, slope, grasp of the condition, 3D point cloud data

1. はじめに

平成28年熊本地震では、地震動の影響に加えて斜面崩壊等に伴う地盤変状の影響により道路機能に支障をきたす被害が発生し、その中には急峻な斜面沿いにあり復旧に長時間を要した道路もあった。このような条件の道路の機能を地震後に早期に回復させるためには、斜面の状態をできる限り速やかに把握することが重要な要素の一つとなると考えられる。しかしながら、とりわけ大規模地震後の斜面の状態調査は、調査者が斜面に近接することに危険を伴うこと、また、ある特定の箇所のみでなく面的に確認が必要になることから、速やかな状態把握が容易にはしがたいところがある。

このような背景から、安全にかつ面的に斜面の状態を速やかに把握することができる方法として、調査者が斜面に近接せずに取得できる3次元点群データを活用した斜面変状の把握について検討している。本稿では、斜面の表面性状や計測方法等の違いが、斜面変状の評価に与える影響に関する基礎的検討を行った結果について述べる。

2. 斜面変状把握方法

(1) 点群データの取得方法と斜面変状の評価方法

斜面の3次元点群データを取得するための計測方法は、大規模地震後に接近が容易ではない斜面を対象に面的にかつ速やかに行えると考えられるUAVレーザを用いた方法によることとした。また、計測方法の違いが変状把握結果に及ぼす影響を検討する観点から地上レーザスキャナ(TLS)を用いた方法も併せて実施した(写真-1)。UAVレーザ計測では、UAVレーザ機材におけるGNSS観測データ、IMU観測データ及びレーザ測距データ並びに固定局におけるGNSS観測データを取得した。地上レーザ観測は、地形、地物等に対する方向、距離及び反射強度を観測するものとし、計測から3次元モデル作成までの一連は、「UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)」及び「地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)」に示される標準にて実

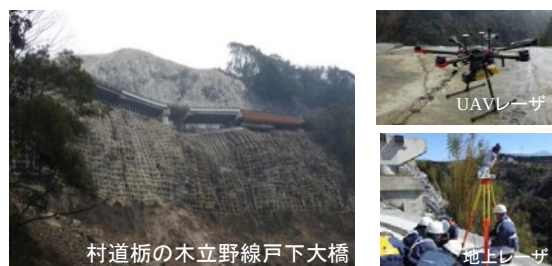


写真-1 計測対象箇所及び計測方法

施した。

上記マニュアルでは、植生の影響が大きい箇所のグラウンドデータを成果品目とする場合、オリジナル点群データの要求点密度を20～200点/m²以上とすることが定められている。このため、本検討での計測にあたっては、これ十分満足できるように400点/m²以上となるよう計測条件を設定した。計測により取得した3次元点群データから、植生等の影響を除去するフィルタリングを行い地表面の高さを示すデータのみを抽出したグラウンドデータを作成し、これを元に斜面の3次元モデルとしての面データ（TIN：不等三角網）を作成した。なお、フィルタリングにはTerasolid社のTeraScanが用いられている。

(2) 計測対象斜面及び計測時期

本検討で対象とした道路沿い斜面は、熊本地震で被災し復旧工事が行われている熊本県南阿蘇村の村道栃の木～立野線戸下大橋下側斜面（幅約100m、高さ約70m）である（写真-1）。これは、復旧工事の過程での斜面の形状変化を模擬的な斜面変状とみてることで変状把握が可能かどうかを検討しようとするものである。この戸下大橋の下部斜面は、複数の斜面対策工法が採用されており斜面の表面性状は多様であることから、表面性状別に変状把握の可能性を検討することとした。本稿では以下の2地点を対象に検討を行った結果を示す（図-1）。

地点A：法枠＋枠内鉄筋挿入工法面（2020年3月～8月施工）

地点B：モルタル吹付法面（2020年8月～11月施工）

計測時期は、補修工事前（2020年3月）、地点Aの補修工事後（2020年8月）、地点Bの補修工事後（2020年11月）である。なお、TLSの各計測時期における器械点は図-2の通りである。

(3) 斜面変状の評価方法

本研究では、斜面変状は、異なる時点・方法で取得した3次元モデルの差分で評価した。3次元データの比較は、点群編集・解析ソフト（I-Site Studio）を用い、比較TINデータを構成する三角網の構成点位置において、点から最短距離にあたる基準面（基準面からの法線方向）または基準面上の点までの距離を求めることにより行い、本研究ではこの距離を斜面の変化(変状)として定義した（図-3）。なお、使用したUAVレーザ機材は同一仕様であるが、オリジナルデータの点密度は同一であるものの計測諸元については要求点密度を満足するように表-1の通り設定されている。

3. 異なる時点での計測結果の差分に基づく変状の検討

(1) UAVレーザでの取得データに基づく変状の評価結果



図-1 計測結果の比較における着目箇所

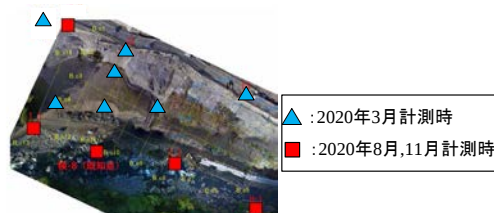


図-2 TLS計測における器械点

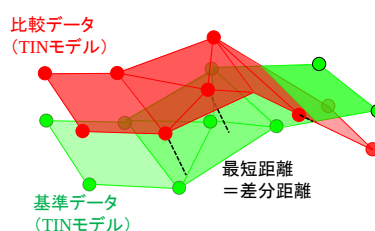


図-3 斜面変状の評価方法

表-1 UAVレーザの計測諸元

項目	2020年3月計測時	2020年8月, 11月計測時
コース間重複度	30%	75%または81%
対地飛行高度	50m～100m	40m(橋梁付近50m)
飛行速度	3～7m/s	4m/s

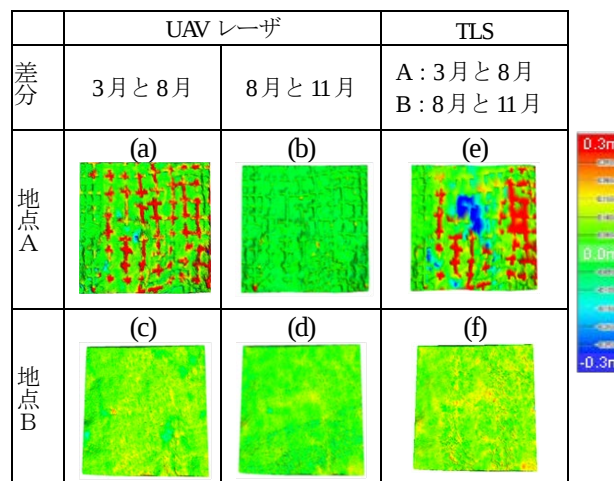


図-4 変位の差分図（異なる時点での計測結果の差分）

法枠と枠内アンカーの施工を行っている地点AのUAVレーザによる計測結果の差分図を図-4(a)(b)にそれぞれ示す。図-4(a)では設計厚30cmの受圧板が施工された箇所が30cm以上の正の差分を表す赤色に着色されており、図-4(b)では差分がほとんどない緑色となっていることから、30cm程度の変化を伴う面的な形状変化は把握できていることがわかる。

また、地点Bのモルタル吹付前後（8月と11月）の UAVレーザによる計測結果の差分図（図-4(d)）では、部分的に10～15cm程度の正の差を意味する黄色となっておりモルタル吹付による形状変化による影響を捉えている可能性があるが、モルタル吹付け前の差分（図-4(c)）でも黄色に着色されている。これは、どの計測ケースでも存在する差分をとる前の計測誤差のほか、モルタルの設計の吹付厚8cmであるものの実際の吹付厚さは必ずしも均一ではないこと、3月と8月ではUAVの飛行高度の条件が異なっていること（図-5）や計測諸元が異なること（表-1）などが影響していると考えられる。

以上より、UAVレーザにより取得した点群データの差分からある程度の形状の変化は把握できるものの、捉えられる変状の程度（精度）は斜面の表面形状や計測条件等により異なるといえる。

(2) TLSで取得したデータに基づく変状の評価結果

地点A及び地点Bの施工前後のTLSによる計測結果の差分図（図-4(e)(f)）をみると、いずれもUAVレーザの場合と同様に差は生じているが、地点Aで受圧板の形状が盛り上がりだけでなく施工前より凹んでいると評価された部分（青色箇所）も確認された点は明らかに異なっている。これは、青色部分の下部は局部的に突きだした斜面形状となっているが、TLSでは現地条件の制約から主に斜面下方に器械点を設置したために、レーザがこの部分に妨げられ青色部分付近の形状把握に必要なデータが得られなかったことが要因となっている可能性が考えられる。

4. 斜面変状評価に影響を及ぼす要因の検討

前章より、斜面の表面性状に応じて点群の計測方法の違いが斜面の形状の把握に影響を及ぼしていることが示唆されたため、このような影響の要因を明らかにするために、斜面の状態が変化していない同一時期、同一箇所において、計測方法や条件を変えて取得した点群データを元に影響要因の分析を行った。計測方法の違いとしては UAVレーザとTLSを対象とした。また、UAVレーザにおける計測条件の違いとして飛行経路を高高度で一定とした条件（高度一定）と斜面に沿って高度を変化させた条件（高度変化）の2条件（図-5）を対象とした。比較は図-2における2地点の補修工事後（2020年11月）の測定データを対象として行った。

(1) TLSとUAVレーザの計測結果比較

2地点のTLSと高度変化条件のUAVレーザの計測結果の差分図と点密度分布図を図-6にそれぞれ示す。地点Aでは、差分が0に近い領域が多い一方、枠内の一部が30cmの負の差分を表す青色に着色されている（図-6(a)）。

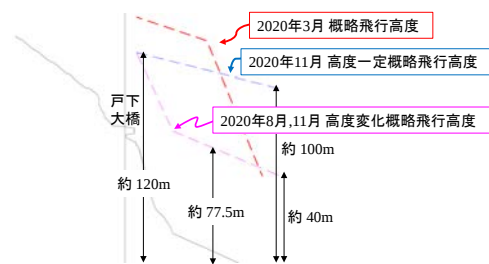


図-5 UAVの飛行高度（P1橋脚位置付近）

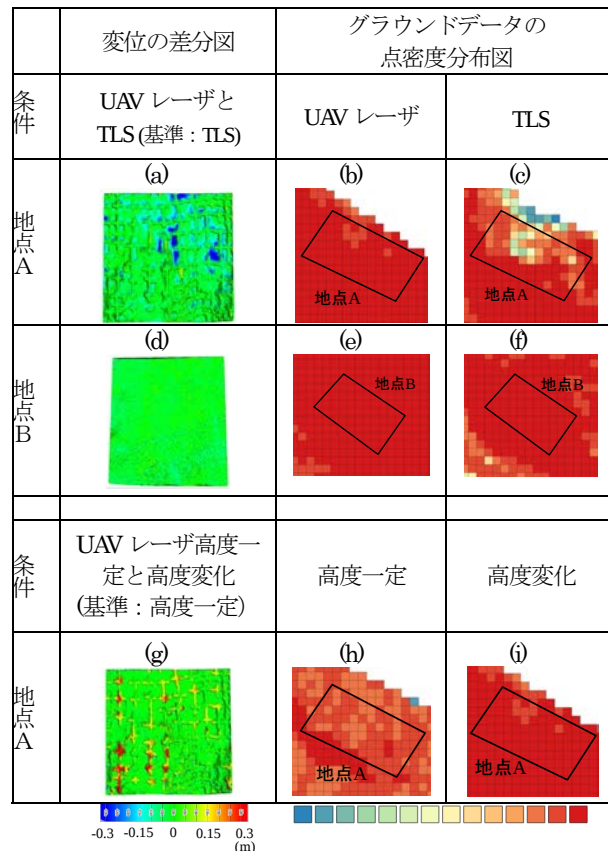


図-6 変位の差分図及び点密度分布

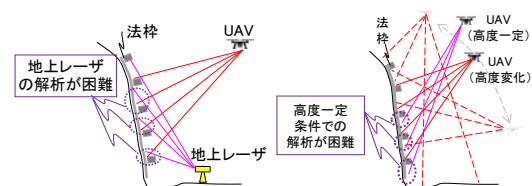


図-7 解析が困難となる飛行条件の例

負の差分は、図-6(c)でグラウンドデータの点密度が低い部分と対応しており、点密度が低い箇所は、地上から見てオーバーハング部や受圧板により遮蔽されている部分である。これより、TLSでの点密度が低い要因として、オーバーハング部や受圧板の影となる部分を捉えられなかったこと（図-7(左)）が影響していると考えられる。

地点Bでは、全面的に差分が0に近くなっており（図-6(d)）、差分絶対値の平均値も0.023 mと小さい結果となった。図-6(e)(f)では、点密度が全体的に400点/m²を超え

ており、UAVレーザとTLSにおいて同程度の精度で評価可能であることがわかる。これは、地点Bが斜面下方に位置する吹付法面で形状が滑らかであり、かつ植生も少ない条件であり影となる部分が少なかったためと考えられる。以上の結果より、斜面形状によっては固定された位置からの計測ではグラウンドデータの点密度が減少し、凹凸を捉えきれない箇所が生じるため、このような条件の斜面では変状を捉えきれないことが示唆された。

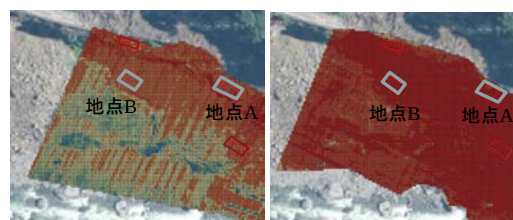


図-8 斜面全域の点密度分布
(高度一定 (左) , 高度変化 (右))

(2) UAVレーザの飛行高度が形状計測に及ぼす影響

地点Aの高度一定と高度変化の差分図（基準：高度一定）と点密度分布図をそれぞれ図-6(g)及び(h)(i)に示す。図-6(g)の赤で示される十字形状のものは施工された受圧板であり、高度を変化させた計測で盛り上がっている。地点Aでの点密度は高度変化条件の場合よりやや低い高度一定条件の場合でもかなりの密度で取得できているにも関わらず下部に差分が生じているのは、図-7(右)に示すように、凹凸の斜面において、高度一定による測定は、前節のTLSによる計測と同様に、受圧板の盛り上がりをつまえていないためと考えられる。計測範囲全体の点密度分布（図-8）より、高高度から測定した高度一定条件では、斜面下側との距離が遠く、グラウンドデータの点密度が減少するため、影部分の形状を捉えにくくなる。そのため斜面全体の形状を計測するためには、UAVの飛行高度を変化させることが必要である。以上より、凹凸形状のある斜面においてUAVレーザを活用する場合には、点密度のみではなく、照射角度が形状の計測結果に影響を与えるため、多角度からレーザを照射させることで凹凸を含めたデータの取得が可能といえる。

状とみても、道路沿いの斜面の変状を震災後に面的にかつできるだけ早期に把握する手法について検討した。この結果、公共測量マニュアル（案）に従い、オリジナルデータの要求点密度400点/m²とした場合、30cm程度の差分は捉えることが可能であるが、8cm程度の差分は捉えきれないことが示された。また、固定された位置から計測したTLSや飛行高度一定としたUAVにより取得した差分からは、急斜面や凹凸のある複雑な形状を捉えることが難しいことが示された。このことから、道路沿い斜面の変状を異なる時期における点群データの差分から把握する方法を標準化するには、公共測量マニュアル(案)で定められている最低限の条件に加えて、変状を捉えるために考慮すべき、求められる精度と対象構造物の構造を踏まえた計測条件等をあらかじめ定めておく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 西田秀明，西村海知：3次元点群データを活用した道路沿い斜面の状態把握手法の検討，第34回道路会議，2021.
- 2) 西村海知，西田秀明：点群データの取得方法の違いが斜面形状計測に及ぼす影響，第34回道路会議，2021.

(2021. 10. 受付)

5. まとめ

復旧工事の過程での斜面の形状変化を模擬的な斜面変

CONSIDERATION OF DEFORMATION MEASURING METHOD OF SLOPE ALONG ROAD USING 3D POINT CLOUD DATA

Kaichi NISHIMURA and Hideaki NISHIDA

In the 2016 Kumamoto Earthquake, the functions of roads were affected by ground deformation caused by slope collapse in addition to the seismic motion, and some of these roads took a long time to investigate and restore because they were located close to steep slopes. It is considered that one of the most important factors is understanding deformation on the slopes as soon as possible in order to restore the function of roads early after an earthquake. In this study, a maintenance method using 3D point cloud data that contributes to the early and areal understanding of the deformation of slope along the road were considered. As a result, it was clarified that when using 3D point cloud data for road shape maintenance, the change in areal shape due to installation is possible to be grasped and differences in acquisition methods of 3D point cloud data such as the measurement angle greatly affect the measurement accuracy.