

法面対策工事における 三次元測量技術の活用検討

竹内 信¹・岡野 聡²

¹滋賀県 長浜土木事務所木之本支所 道路計画課 (〒529-0426滋賀県長浜市木之本町黒田1234)

²滋賀県道路公社 道路部 道路整備課 (〒520-0807滋賀県大津市松本一丁目2-1)

法面対策工事は、高所かつ急傾斜地で施工されるが、施工管理や検査における計測作業についても、ロープ足場を用いて直接測定が行われており、計測の安全性や効率が課題となっている。また、現地は凹凸があり不定形な場合が多く、代表地点での単点計測はその計測精度にも課題がある。そこで、現地に立ち入ることなく面的な計測が可能であり、近年導入が進められている三次元測量技術に着目し、当所での法面対策箇所において、UAV写真測量（ドローンによる写真測量）および地上レーザ測量を試行的に実施した。本稿では、試行事例を紹介するとともに、従来の計測手法との比較により、法面対策工事への適用性を検討した結果を報告する。

キーワード 法面, UAV写真測量, 地上レーザ測量, 出来形管理

1. はじめに

土木業界は、既設構造物の老朽化や気候変動による災害リスクの高まりといった課題を抱える一方で、担い手の不足に悩まされている現状にある。担い手不足の一因として、生産性や安全性の低さが指摘されており、新技術の導入による生産性や安全性の向上が不可欠となっている。本県においても、各土木事務所および支所へのドローン配備など、新技術の導入が積極的に推進されており、現在でも、CIM推進勉強会を定期的に開催するなど、継続的に検討を行っている。

筆者らの所属する長浜土木事務所木之本支所でも、新技術の採用を積極的に検討することとし、実施している取り組みの一つが、法面対策工事における新技術の導入である。当所は、管内に山間部の道路が多く、近年豪雨災害が頻発化し道路法面の被災リスクが高まっていることから、法面対策工事を数多く実施している。法面対策工事は、高所かつ急傾斜地を対象として実施するため、施工時の危険性が高いのはもちろんのこと、出来形管理等の計測についても、ロープ足場等を用いて直接測定が行われており、危険な作業となる（写真-1）。検査や立会においても、ロープ足場の使用に慣れていない監督職員や検査職員が現地に立ち入るのは困難で、大きな危険が伴う。また、現地には凹凸があり不定形な場合が多く、代表地点での単点計測では、その計測精度にも課題がある。

そこで筆者らは、現地に立ち入ることなく、面的かつ

広範囲な計測が可能であり、様々な場面で導入が進められている三次元測量技術に着目し、当所での法面対策箇所において試行を行った。本稿では、その試行事例を紹介するとともに、従来の計測手法との比較により、法面対策工事への適用性を検討した結果を報告する。



写真-1 法面対策工事における出来形計測の様子

2. 三次元測量技術の概要

三次元測量は、現地での計測と、取得した三次元点群データ処理の、2段階の作業に大別される。

(1) 計測技術

代表的な計測技術には、UAV写真測量（ドローンによる写真測量）、および地上レーザ測量が挙げられ、両手法ともに、様々な場面において実用化が進んでいる。実用化に向けた制度面の整備も進んでおり、国土地理院から、「UAVを用いた公共測量マニュアル（2016年公表、2017年改正）」や「地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（2017年公表、2018年改

正)」等の作業マニュアルが近年公表されたことに加え、一般財団法人経済調査会から発行されている「設計業務等標準積算基準書」においても、平成30年度版から標準歩掛が定められている。

ここで、両手法の特徴を以下に述べる。

a) UAV写真測量（ドローンによる写真測量）

使用したドローンを写真-2に示す。ドローンの普及により、空中写真の撮影が手軽になったことで、従来から活用されてきた空中写真測量についても実施が容易となり、UAV写真測量として現在実用化が進んでいる。

ドローンの飛行および空中写真の撮影は、遠隔操作で実施可能であり、現地への立ち寄り不要である。また、あらかじめドローンの設定を行うことで、飛行や撮影を自動化も可能である。計測にあたっては、標定点を設置することで、世界測地系にも対応できる。

精度については、「UAVを用いた公共測量マニュアル」において、要求精度0.05mまで規定が定められており、出来形計測にも対応可能である。ただし、植生が繁茂している地点や、オーバーハング部など、写真に写らない部分については測量が不可能なため、注意が必要となる。

また、都市部（DID地区）での飛行や当日の天候など、ドローンの飛行に関する制限や条件についても、事前に確認する必要がある。



DJI社製 INSPIRE



DJI社製 PHANTOM 3

写真-2 使用したドローン



PIアサヒ社製 UAV写真測量システム UP-1 (カタログより)

b) 地上レーザ測量

使用したレーザスキャナの概要を写真-3および表-1に示す。計測対象にレーザ光を照射し、反射してきたレーザ光を受光して距離と方向を取得するシステムで、1秒間に10万点以上の大量のデータを取得できる。

トータルステーション（TS）と同様に据置き型機器のため、計測にあたっては使用機器の測定レンジ内まで計測対象に近づく必要があり、作業効率はUAV写真測量に劣るが、UAV写真測量と比較して詳細な計測が可能である。また、植生が存在する箇所についても、一部

のデータが植生の隙間を通過して地表面まで到達するような植生密度であれば、計測が可能である。計測にあたっては、標定点を設置することで、UAV写真測量と同様に世界測地系にも対応可能である。

精度については、表-1に示すように、計測距離100m以上でも数mm程度の精度で計測が可能である。ただし、測定対象のレーザ反射率やレーザの照射角度等により精度は異なるため、注意が必要である。



トプコン社製 GLS-2000 PIアサヒ社製 S-3180

写真-3 使用したレーザスキャナ（カタログより）

表-1 使用したレーザスキャナの概要（カタログより）

機器		トプコン社製 GLS-2000	PIアサヒ社製 S-3180
測定範囲	距離	500m	183m
	角度	V:270°, H:360°	V:320°, H:360°
測定精度	距離	3.5mm~4.0mm	1.6mm~10.0mm
	角度	V:6", H:6"	V:25", H:25"
スキャンスピード		最大120,000万点/秒	最大1,016,000点/秒

(2) 三次元点群データの処理技術

三次元点群データ処理の作業フローを図-1に示す。従来のTSによる測量と比較して、現地作業は効率化・安全化されるが、不要な点（ノイズデータ）の除去が必要で、内業での処理作業に労力が必要となる。

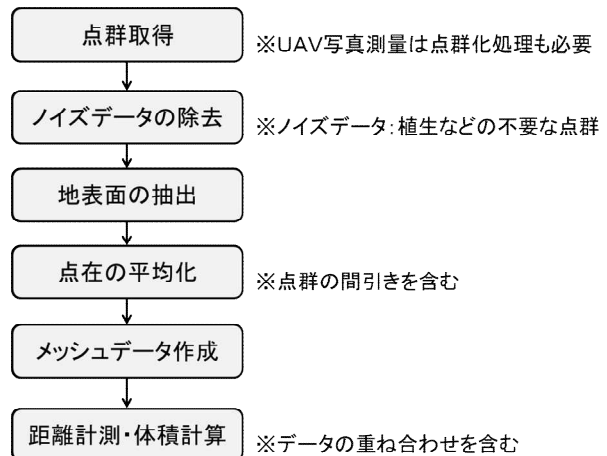


図-1 三次元点群データ処理の作業フロー

図-2に三次元点群データの加工例を示す。面的な計測データで地形的特徴を確認した上で、最適な箇所自由に横断面を作成できるため、法面対策工事のように地形変化の大きい現場においては特にメリットが大きい。また、データの重ね合わせも可能であり、施工段階別のデータを重ね合わせることで、その差分により厚さや体積を計算することもできる。なお、三次元点群データの処理作業には、アギソフト社製のPhotoScan、トプコン社製のMAGNET™Collage、福井コンピュータ社製のTREND-POINTなどの専用ソフトを活用している。処理後のデータは、本県職員が利用可能なオートデスク(株)社製のAutoCADで、閲覧や横断面作成などの編集を行うことも可能である。

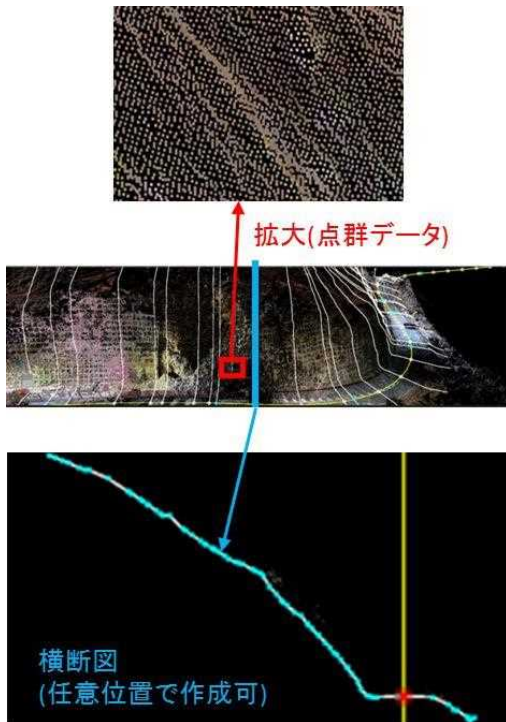


図-2 三次元点群データの加工例 (横断面の作成)



拡大

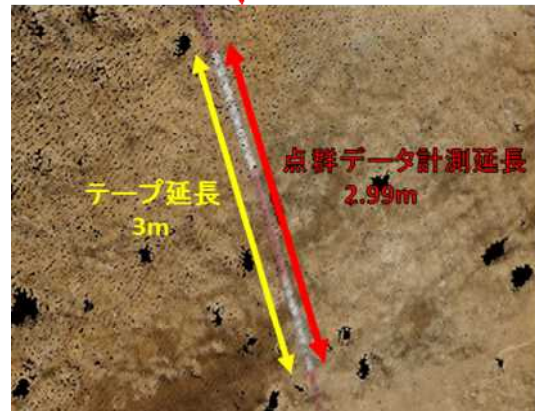


図-3 UAV写真測量の計測結果

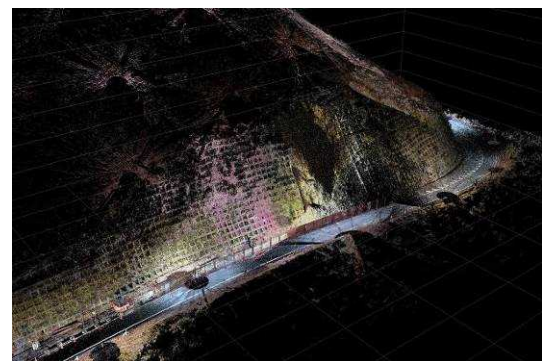


図-4 地上レーザ測量の計測結果

3. 法面対策工事における計測結果と考察

(1)計測精度の確認

a) UAV写真測量

図-3は、道路法面におけるUAV写真測量の計測結果である。点群データによる面的な計測が可能で、現地に設置したテープの長さも正確に計測可能であることを確認できた。

b) 地上レーザ測量

図-4および図-5には、地上レーザ測量の法面での計測結果を示す。UAV写真測量と同様に面的な計測が可能であることや、TSにより計測した横断面と一致することを確認できた。加えて、地上レーザ測量では、既設法枠による凹凸も計測でき、TSでの計測より詳細に形状を把握することができた。

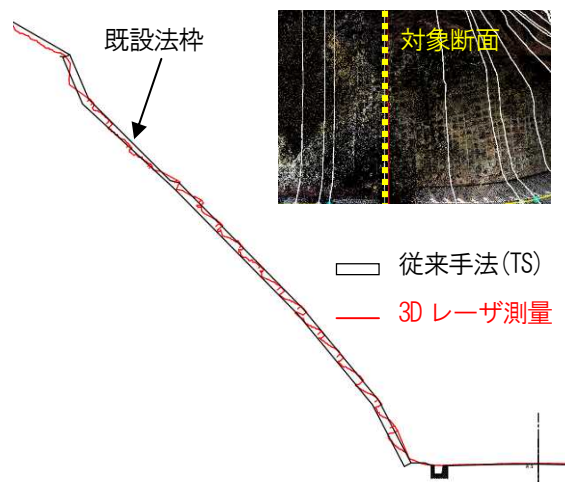


図-5 地上レーザ測量の計測結果(TSとの比較)

また図-6は、法枠工を想定して、法面上に設置したブロックを計測した結果である。ブロック設置前後の計測データを重ね合わせて差分を計算することで、ブロックの寸法を最大誤差0.011mの高精度で計測できた。

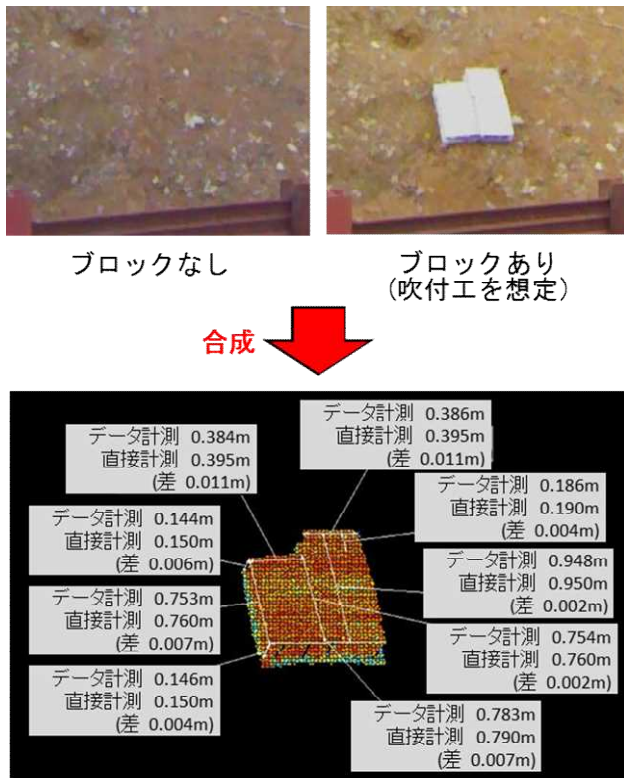


図-6 地上レーザ測量によるブロック寸法の計測結果

c) 出来形管理基準と計測精度の比較

法枠工における出来形管理基準¹⁾の規格値は、枠延長が0.2m、枠中心間隔が±0.1m、枠高さや枠幅が0.03mであるが、枠延長や枠中心間隔の出来形管理には、両手法とも適用可能な精度を有している。枠高さや枠幅についても、公共測量マニュアルの要求精度である0.05mより厳しい基準となるが、今回の計測結果からは、適用可能な精度を有していると判断できる。

(2)法枠工の出来形管理

a) 施工面積の確認

図-7は、法面対策工事の現場において、UAV写真測量で面積を計測した結果である。テープでの直接計測により計算した面積948.1m²に対し、UAV写真測量で計測した結果は966.6m²と、概ね一致する結果が得られた。

UAV写真測量の計測値がわずかに大きくなった要因としては、直接計測では直線で近似している部分の凹凸を反映できていることが考えられ、三次元測量により面的に計測を行うことで、より正確に施工面積を計測できている可能性を示唆している。

b) 法面整形の厚み確認

図-8は、UAV写真測量を法面整形実施前後で実施し、

重ね合わせた計測結果の差分により、整形部の鉛直方向の厚みの分布を自動計算した結果である。法面整形での実際の土砂処分量249.3m³に対し、UAV写真測量で計測した厚みにより計算した発生土量は結果は274.2m³と、概ね一致する結果が得られた。



図-7 UAV写真測量による法面面積の計測結果

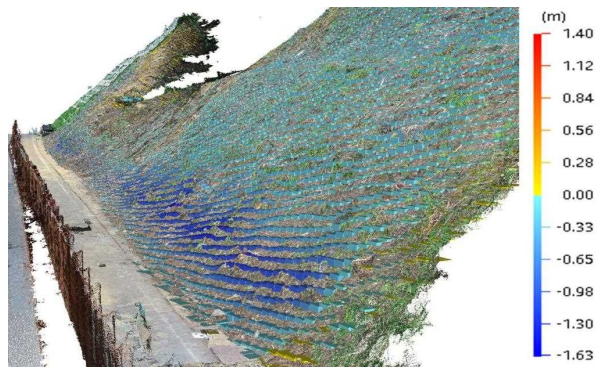


図-8 UAV写真測量による法面整形厚さの計測

c) 法枠の出来形確認

図-9は、法枠の枠中心間隔を計測した結果である。テープでの直接計測により計算した延長2.01mに対し、UAV写真測量で計測した結果は2.01mと、正確に計測可能であることを確認できた。また図-10は、法枠施工前後のデータの重ね合わせにより、法枠の枠高さを計測した結果である。テープでの直接計測により計算した延長0.33mに対し、UAV写真測量で計測した結果は0.30mと、データの重ね合わせ作業を伴うこともあり枠中心間隔の計測結果より誤差が大きい結果となったが、枠高さの管理基準値0.03m以下の誤差で計測が可能であった。

従来の直接計測のみでの出来形管理であれば、法枠100mごとに1箇所といった出来形管理基準に基づき、代表点のみで管理を行うこととなるが、三次元測量技術を導入すれば、一回の計測で全施工範囲の出来形確認が可能である。よって、法面全体の計測を三次元測量で行い、直接計測については、安全に立入りが可能で、かつ変曲点となり計測の難易度が高い地上部、法肩部、小段などで実施することとすれば、従来より安全かつ正確な出来形管理が可能となる。

また、計測にあたっては写真も同時に撮影するため、法面中央部や急傾斜部等の、近接目視が困難な箇所の出来栄の確認にも、計測結果を活用できる。

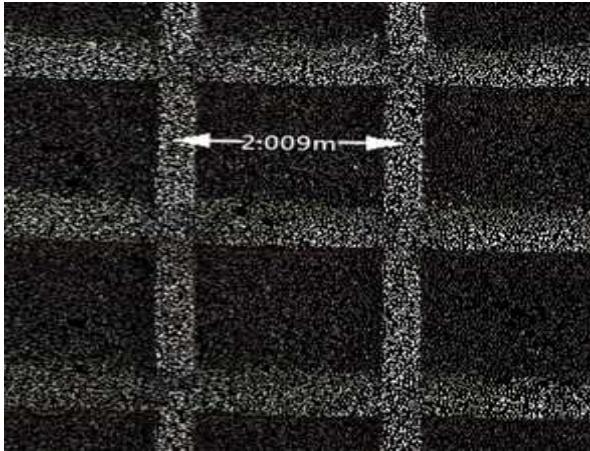


図-9 UAV写真測量による法枠の枠中心間隔の計測結果

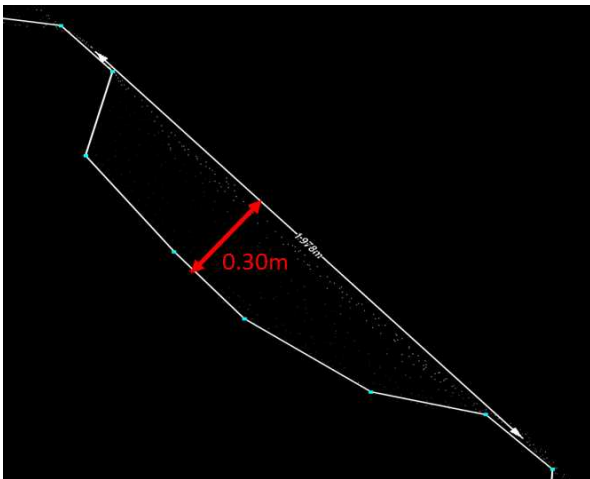


図-10 UAV写真測量による法枠の枠高さの計測結果

4. 適用先拡大に向けた検討

(1)モルタル吹付工の出来形管理

図-11は、写真-1に示すモルタル吹付工（厚さ7cm）の施工現場において、施工前後にUAV写真測量を実施し、データの重ね合わせにより鉛直方向厚さを自動計算した結果である。モルタル吹付工における出来形管理基準¹⁾では、200m²に1箇所の頻度で厚さを管理することとされているが、三次元測量技術を導入すると、全施工範囲に渡り厚さの分布を確認できる。

一方、図-11のように凹凸の多い箇所では、地表面傾斜にバラつきが大きく、今回利用したソフトでの厚さの自動計算は一方方向で差分を計算するため、計算値をそのまま施工厚さに換算することは困難であった。また、オーバーハング部の計測精度にも課題が生じた。

今後、地表面傾斜を考慮した厚さ計算ソフトや、UAVによるレーザ測量といった新技術が実用化され

ば、課題が解決する可能性があり、技術開発の動向調査や現場での試行など実用化に向けた取り組みを継続したい。

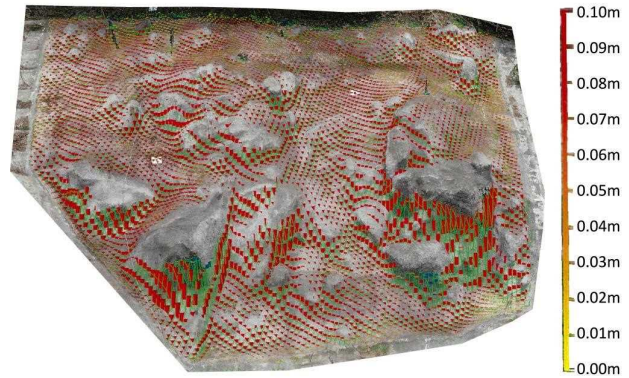


図-11 UAV写真測量によるモルタル吹付けの厚さ計測

(2)被災法面での適用

本県では、各土木事務所および支所に配備したドローンを災害時にも積極的に活用しており、現在では被災状況の把握において欠かせないツールとなっている。また、ドローンのさらなる活用に向けた検討として、本県監理課技術管理室では、写真測量システム（アギソフト社製のPhotoScan）を導入していることから、本県職員がドローンで撮影した被災法面の写真を用いて、UAV写真測量の試行を行った。

図-12は、2018年7月の豪雨災害での被災箇所において、本県職員がドローンで撮影した写真によりUAV写真測量を実施した結果である。被災時の速報写真を活用したため、標定点となるターゲットは設置されておらず、座標系への対応はしていないが、被災延長の計測結果は、テープによる直接計測と一致することを確認できた。これにより、空中写真での被災状況確認に加え、被災後の地形形状も同時に把握可能となり、被災範囲の確認といった災害査定への利用も見込めることから、今後も積極的に活用したい。



図-12 本県職員撮影写真によるUAV写真測量（距離計測）

また、図-13および図-14は、図-12の対象地で地上レーザ測量を実施した結果である。計測レンジ内まで被災箇所へ近づく必要はあるが、崩壊範囲へは立ち入ることなく、TSでの計測よりも詳細に地形形状を把握できた。加えて、滑落崖上部など植生が残る部分もレーザ光が通過する範囲で計測できることから、崩壊拡大防止等の対策工設計にも利用が可能であり、UAV写真測量とあわせて災害時の活用を引き続き検討したい。



図-13 被災法面における地上レーザ測量

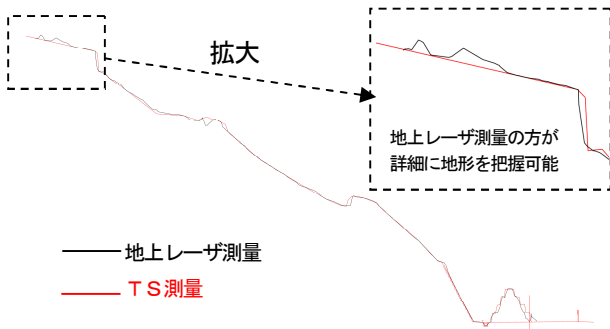


図-14 被災法面における地上レーザ測量 (TSとの比較)

(3)道路法面の維持管理への適用

法枠工の劣化が進むと、背面土砂の抜け落ちが生じることが多いが、広い範囲に施工された法枠や急傾斜地に施工された法枠について、背面の状況を現地で直接確認するのは容易ではない。そこで、地上レーザ測量により既設法枠を計測した結果から、地表面に達するデータのみを抽出することで、背面土砂の抜け落ち状況が確認出来ないか検討を行った。図-15はその結果であるが、最下点の点を結合することで、法枠背面の地形形状を把握できることを確認した。計測した法枠表面の形状および地表面の形状は、補修工の設計にも活用が可能である。

現在では、車載型のレーザスキャナなど、道路上から効率的にレーザ測量を実施して道路の維持管理に活用する技術の開発も進んでいることから、開発の動向を注視し、維持管理の効率化や安全性向上につながる新技術の導入を今後も検討したい。

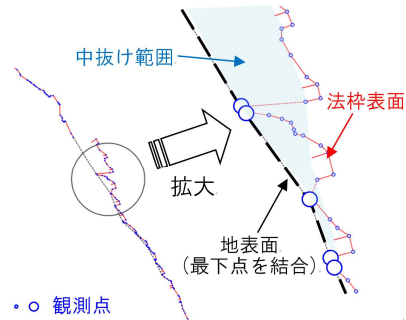


図-15 地上レーザスキャナによる既設法枠背面の状況確認

5. まとめ

本稿では、法面对策工事の出来形管理において三次元測量技術を試行し、安全かつ効率的に計測が可能であることや、面的に形状が把握でき計測精度が向上することを確認した。

平成31年4月には、「ICTの全面的活用」を実施する上での技術基準類に法面工の実施要領も加えられたことから、今後も法面对策工事における三次元測量技術の導入を進めていくとともに、三次元測量技術の適用先の拡大に向けても、本稿で述べた内容に加え、道路分野以外も含めて検討を継続していきたい。

また、三次元測量技術の試行現場の中には、若手の女性技術者がドローン飛行や点群データ処理を実施されている施工者もあり(写真-4参照)、本稿で取り上げたような取り組みは、若手技術者や女性技術者の活躍推進につながり、担い手確保に寄与するものと実感しているところである。近年では、法面对策工事受注者の多くから三次元測量の実施を提案頂くなど、技術開発も進んでいる段階にある。発注者としても、積極的な試行の実施や、技術開発の一助となるようなニーズの提供などを常に意識して、業務に取り組むよう心掛けたい。

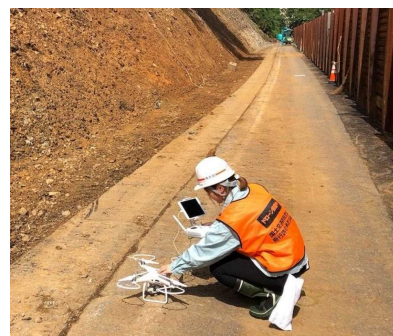


写真-4 若手の女性技術者によるドローン操作の様子

謝辞：本稿の執筆にあたり、(株)大翔、紅葉建設(株)、法面プロジェクト(株)、村上興業(株)、(有)ES Cubeの各社の皆様にご協力を賜りました。厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局：土木工事施工管理基準及び規格値(案) (平成30年4月)