

(30) 三次元レーザースキャナー測量による 吹付厚さ管理への適用に関する一考察

永峰 義寛¹・團 昭博²・山中 清次³

¹ 中央復建コンサルタンツ株式会社 環境・防災系部門 測量・補償グループ
(〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4丁目11番10号)
E-mail: nagamine_y@cfk.co.jp

² 正会員 中央復建コンサルタンツ株式会社 道路系部門 道路第一グループ
(〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4丁目11番10号)
E-mail: dan_a@cfk.co.jp

³ 中央復建コンサルタンツ株式会社 環境・防災系部門 測量・補償グループ
(〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4丁目11番10号)
E-mail: yamanaka_k@cfk.co.jp

土木工事では、測量技術や建設機械の自動化技術の進歩により情報化施工が積極的に導入されている。工事の出来形管理手法においてもトータルステーションに代わり、面的な広範囲の計測が容易なレーザースキャナー技術の利用が進められている。本稿は、のり面保護工や斜面安定工等で行われているコンクリート等の吹付厚さを管理する手法として地上型レーザースキャナー技術の活用を目的として、植生基材吹付工を対象とした三次元測量を行った。さらに、三次元データの差分解析により吹付厚さの分布ならびに測定精度の把握を試みた。この結果、地上型レーザースキャナー測量により吹付厚さを精度よく把握でき、吹付厚さの管理手法への適用には有効であることを確認した。

Key Words: 3-d laser scanner, surface of slope, work quality control, finite difference

1. はじめに

のり面保護工や斜面安定工等の出来形管理には、従来、せん孔による測定やトータルステーションによる測量¹⁾等が行われている。しかし、急斜面や崩落の発生箇所では精度よく、かつ、安全に出来形を確認することは容易ではない。このような背景を踏まえ、国土交通省においては、地上型レーザースキャナー技術を活用した出来形管理²⁾を推進しているが、地上型レーザースキャナー

(以下、「TLS」と称す)は高い測定精度を有する³⁾ものの、例えば部材の厚さを評価する等、その精度を十分に活かした取り組みは途上段階にあるのが現状である。

そこで、三次元測量データの差分解析技術に着目し、TLSにより測定した吹付工の前後の点群データに対して差分解析により吹付厚さを定量的に把握することにより、出来形管理手法への適用性を評価した。

2. 三次元レーザースキャナー測量概要

(1) 対象箇所および測量範囲

三次元測量を実施した工事は、京奈和自動車道雄ノ山高架橋付近にて実施された切土のり面の修景工事を対象とした。測量の範囲は、隣接する橋面上に測量機器を据付けることが可能であったことから、この位置より測定が可能な範囲(測定面積 $A \approx 215 \text{ m}^2$)を対象とした(図-1、図-2)。

(2) 使用機器および測定方法

三次元測量は、表-1に示す仕様のTLSを用いて吹付工の前後で点群データを取得した。なお、吹付厚さの面的な分布の整理に際しては、事業者の定める出来形管理要領²⁾に記載されている規格値のうち「標高較差」に着目してデータを整理することとした(表-2)。

(3) 測定データの解析方法

吹付工の前後で取得した点群データ(図-3)を用いた差分解析により、吹付厚さの面的な分布を算出した。また、測定精度を評価するために、鉄筋挿入工の間隔ならびにアンカーキャップの突出量にも着目し解析を行った。

三次元測量対象範囲
(植生基材吹付工)

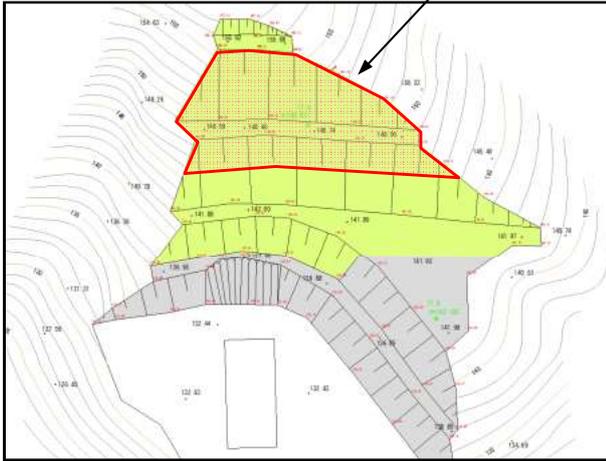


表-1 測量機器の基本仕様

| 機器 | | GLS-2000(TOPCON) |
|----------|----|---------------------|
| 測定範囲 | 距離 | 40~500 m |
| | 角度 | 水平: 270° / 鉛直: 360° |
| 測定精度 | 距離 | 3.5~4.0 mm |
| | 角度 | 水平: 6" / 鉛直: 6" |
| スキャンスピード | | 48,000~120,000 点/秒 |

表-2 出来形管理基準および規格値²⁾

| 工種 | 計測場所 | 計測項目 | 規格値 (mm) | |
|-----|------|------|----------|------|
| | | | 平均値 | 計算値 |
| 掘削工 | 法面 | 標高較差 | ±70 | ±160 |

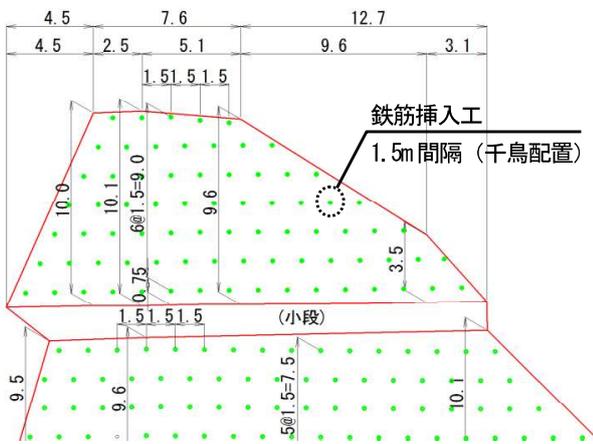


図-1 三次元レーザースキャナー測量の対象箇所



図-3 三次元測量による点群データ

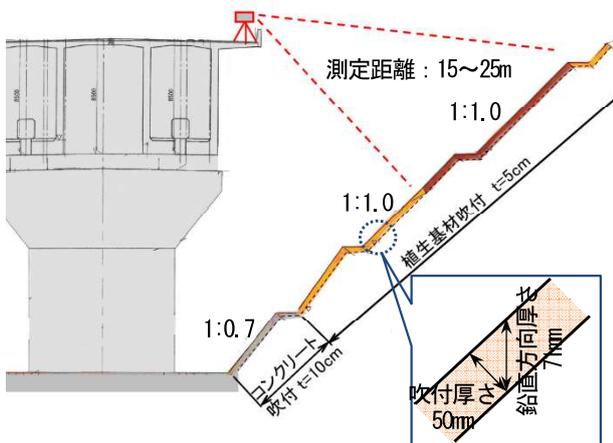


図-2 測量機器の据付位置と測定範囲の関係

3. 解析結果および考察

(1) 吹付厚さに対する評価

差分解析により得られた吹付厚さに対する評価は、設計吹付厚さ 50mm の標高較差に相当する鉛直方向厚さ 71mm (図-2) を閾値として設定し、これと測定値とを比較することで妥当性を検証した。

差分解析により得られた、のり面における吹付厚さの分布を図-4 に示す。ここで、差分解析により得られた測定値が出来形管理要領に定める「個々の計測値の規格値」に相当する±160mm を 100%とし、段階毎に設定した。なお、吹付厚さに相当する鉛直方向厚さは 71mm であるため、規格値 160mm に対する比率は 44%に相当する。

差分解析の結果、測定範囲の鉛直方向吹付厚さは平均 78mm であり、設計吹付厚さ 50mm に相当する鉛直方向厚

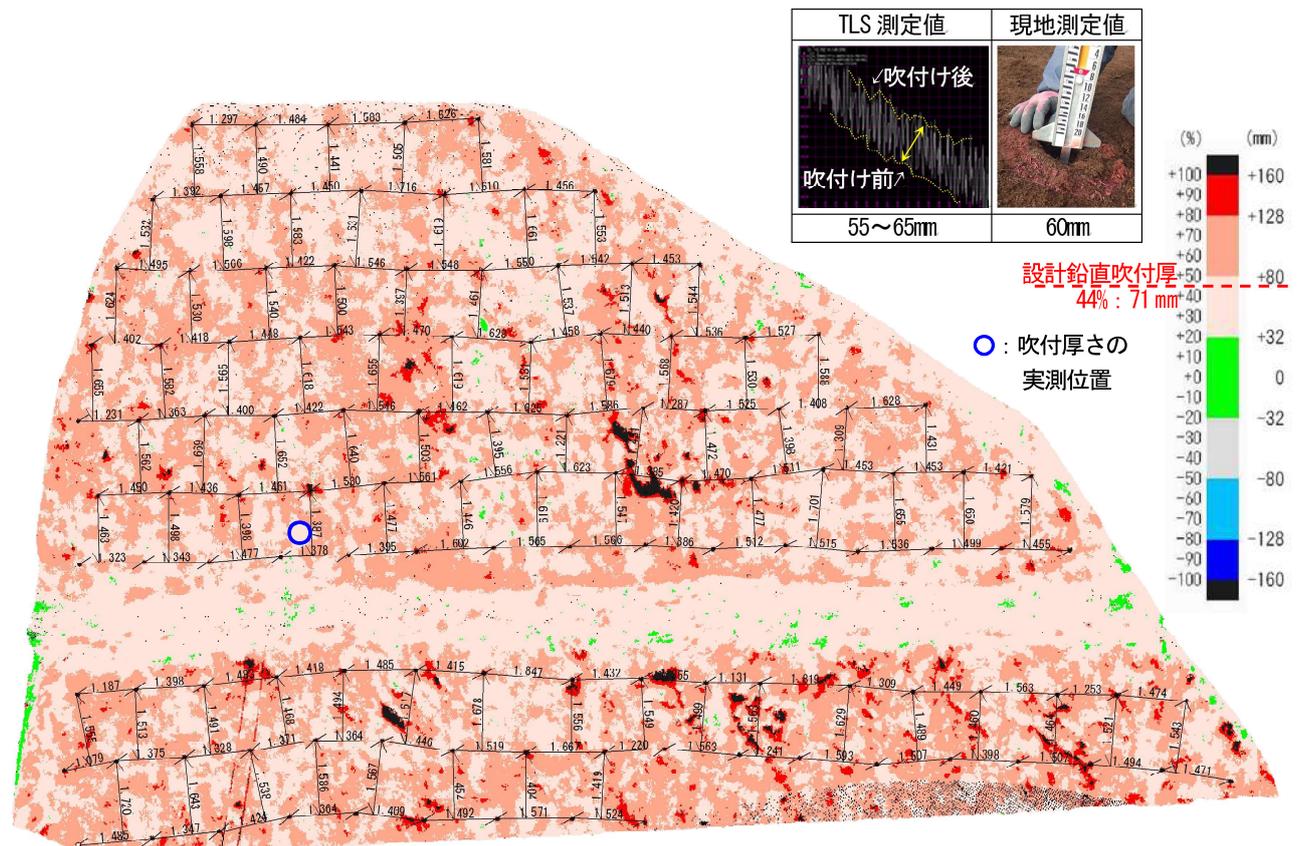


図4 種子吹付の鉛直方向厚さ分布ならびに鉄筋挿入位置の測定結果

さ71mmを満足していることが確認できた。

ここで、現地で実施した吹付厚さの確認結果と比較すると、現地で確認された実測値は60mmであるのに対し、TLS測定値は55~65mmであり、約±5mmの誤差が認められる。この誤差は測定機器の測定誤差程度であることを考慮すると、本手法は吹付厚さを面的かつ定量的に把握し、その分布を視覚で容易に確認することができるなど、吹付厚さの出来形管理には有効であると考えられる。

これに対し、小段の測定値のほとんどが+32~80mmに分布しているが、これはレベルで施工されている小段部の鉛直方向厚さは吹付厚さに相当することによる。ただし、小段位置はレーザー入射角が鋭角であったために測定誤差が顕著に表れやすく³⁾、吹付厚さが薄く評価されやすいことも影響していると考えられる。なお、最新の出来形管理要領によると、TLSによるのり面の出来形測定を行う際、小段を管理対象から除外されていることから、小段の出来形を精度良く管理するためにはTLSとは別の方法により測定を補完する必要があると考える。

以上より、設計吹付厚さが50mm程度であればTLSにて精度よく測定することが可能と判断されたことから、吹付厚さが10cm前後に及ぶコンクリートやモルタル等の吹付においても十分に適用できるものとする。

(2) 鉄筋挿入工に関する分析結果

a) 設置間隔

図4には、三次元点群データより分析した、鉄筋挿入の設置間隔の結果を併記している。これより、補強用の鉄筋は千鳥に設置されていることが確認でき、その間隔は多少のばらつきが認められるものの、1.5m前後にあることがわかる。なお、測定範囲内の設置間隔を分析したところ、設計値の1.5mに対し、それらの平均値は1.495mであった。

以上のことから、TLSにより鉄筋挿入位置を精度よく把握することが可能と判断される。

b) アンカーキャップの突出量

TLSの測定精度を確認すべく、ここではのり面の補強用鉄筋の先端部に設置するアンカーキャップに着目し、点群データよりその測定状況を分析した。なお、アンカーキャップの形状寸法は図5に示すように、直径はφ10cm、突出高さはプレートを含めて16cmである。

アンカーキャップ突出量の分析結果を図6に示す。これより、アンカーキャップ部のデータ数が少ないためキャップの形状を鮮明に確認することはできなかったが、突出量は設計値15.9cmに対し測定値16.1cmと概ね合致していることが確認できた。ただし、アンカーキャップのような限定された範囲ではデータ数が乏しく、例えばデータの自動化処理を行う場合にはアンカーキャップの

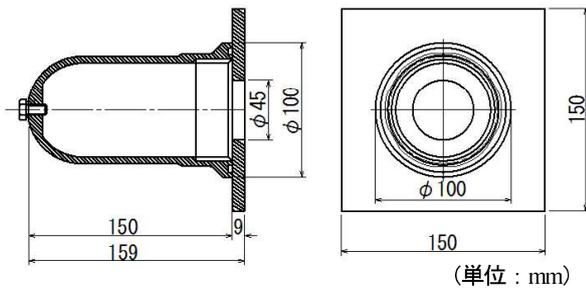


図-5 アンカーキャップの形状寸法

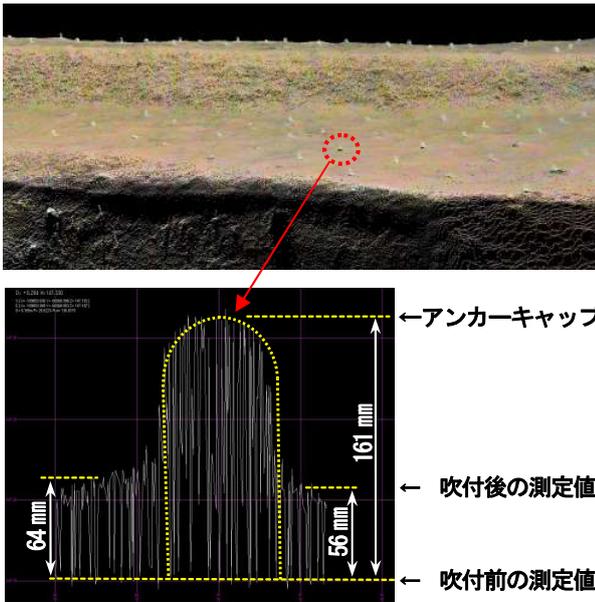


図-6 点群データによるアンカーキャップ突出量の分析結果

形状まで認識できない可能性があることから、データの適切な処理方法について、今後の検討が必要である。

4. まとめ

以上、三次元測量データの差分解析により、吹付厚さの把握を試みた。本取り組みにより得られた知見を以下に列挙する。

- ・設計吹付厚さ 50mm であれば TLS にて精度よく測定することが可能であることから、吹付厚さが 10cm 前後に及ぶコンクリートやモルタル等の吹付厚さの管理には十分に適用できる。
- ・点群データの分析の結果、鉄筋の設置間隔を精度よく捉えることが可能と判断されたことから、対象物の寸法が $\phi 10\text{cm} \times$ 高さ 15cm 程度であれば TLS にてその位置を測定することが可能である。
- ・アンカーキャップの形状を分析した結果、データ数は少ないものの形状を認識可能であったことから、測定距離 15~25m 程度であれば 10~20cm 程度の対象物を測

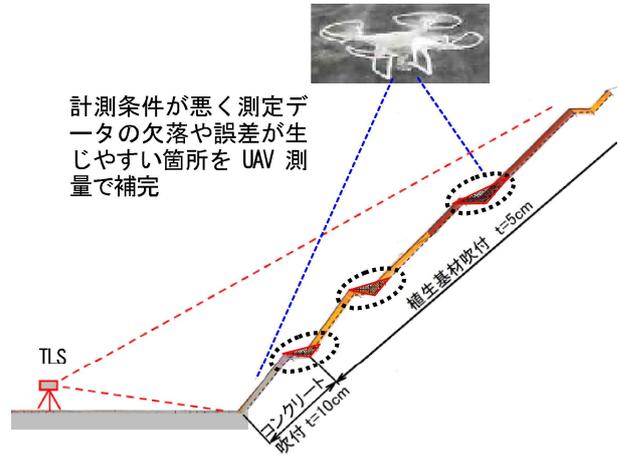


図-7 TLS と UAV を併用した三次元測量イメージ

定することが可能である。

以上、出来形管理に用いる TLS による測定データに対し、差分解析を行うことにより吹付厚さを面的に可視化することが容易に実現できることを確認した。

TLS によるのり面の出来形管理では、測定精度が劣る小段を管理対象から除外している²⁾が、作業空間が制約され対象物に対して TLS の据付位置が近接するような場合についても測定精度の課題が残される。このような場合、UAV を用いた空中写真による三次元点群測量⁴⁾を実施し、TLS の死角となる範囲を補完する手法が考えられる。また、法尻や法肩を正確に捉える必要があれば、トータルステーションを用いた従来の計測方法も非常に有効であることから、今後、これらを併用した合理的な管理手法について検討を進めたい。

謝辞： 今回の三次元測量を実施するに際し、現場での作業をご了承頂いた国土交通省和歌山河川国道事務所、また、工期が迫る中で現場作業の調整など多大なるご尽力を頂戴した鹿島建設株式会社の田中啓之氏ならびに渡邊有輝氏に対し、ここに深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省：施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理要領（案），2010。
- 2) 国土交通省：地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）（案），2017。
- 3) 福森秀晃，佐田達典，大久保秀晃，清水哲也，村山盛行：3次元レーザースキャナーの測定精度に関する基礎的実験，土木情報利用技術論文集，Vol.18，pp.193-200，2009。
- 4) 国土交通省国土地理院：UAV を用いた公共測量マニュアル（案），2017。