

第VI部門

## 山岳トンネル (10)

2022年9月16日(金) 16:20 ~ 17:40 VI-2 (吉田南総合館北棟 共北25)

### [VI-795] 簡易3Dスキャナーを用いた面的な鏡吹付け厚管理システムの提案 Proposal of area- wide thickness control system for tunnel face shotcrete using a simple 3D scanner

\*邊見 涼<sup>1</sup>、長谷 陵平<sup>1</sup>、淡路 動太<sup>1</sup> (1. 清水建設株式会社)

\*Ryo Hemmi<sup>1</sup>, Ryohei Hase<sup>1</sup>, Dohta Awaji<sup>1</sup> (1. Shimizu Corporation)

キーワード：3Dスキャナー、鏡吹付け、肌落ち災害、切羽

3D scanner, tunnel face shotcrete, rock fall accident, tunnel face

本稿では、開発を進めている簡易3Dスキャナーによる鏡吹付け厚管理システムについて、その概略と計測精度、現場適用性について報告する。山岳トンネル工事で発生する肌落ち災害の防止措置として、鏡吹付けは有効な手法の一つであるが、その厚さ管理方法について従来の方法の場合、吹付け厚が面的に適切に確保されているかを直接確認することは困難であった。そこで、簡易3Dスキャナーを用いることでコンパクトな機械で吹付け厚を面的に管理可能なシステムを新たに開発した。

## 簡易 3D スキャナーを用いた面的な鏡吹付け厚管理システムの提案

清水建設（株） 正会員 邊見涼 長谷陵平 淡路動太

### 1. はじめに

肌落ち災害の防止措置として、掘削後、切羽に厚さ 5cm～10cm 程度の吹付けコンクリートを施工することで、地山崩落を防止し、切羽面の安定性を向上させることが一般的に実施されている。従来の吹付け厚の管理としては、切羽の断面積と吹付け厚にリバウンド率等を加味した設計数量を求めて、吹き付けコンクリートの実施数量で管理する間接的な方法や、切羽面に検測孔を削孔し、吹付け厚を直接計測する方法がある。しかし、このような管理方法では、吹付け厚が面的に適切に確保されているかを直接確認することが困難である。そこで、筆者らは簡易 3D スキャナーを用いることで、コンパクトな機械で吹付け厚の面的管理が可能なシステムを新たに開発した。本稿では、実際の山岳トンネル現場で簡易 3D スキャナーによる吹付け厚計測を行い、その計測精度と現場適用性について報告する。



図-1 簡易 3D スキャナー

### 2. 吹付け厚の計測手法

吹付け厚を管理するために、定点に簡易 3D スキャナー（図-1）を設置し、鏡吹付け前後で点群計測を行うことで、計測データの前後の差分から吹付け厚を求める。簡易 3D スキャナーには PC が内蔵されており、ボタンひとつで点群を取得可能である。計測装置は軽量・コンパクトで持ち運びが容易であり、計測時間も 1 分 30 秒と短いため施工サイクル中に計測が可能である。1 点当たりの計測精度は 2 cm 程度であるため、ある大きさの評価領域（メッシュ）を設定し、その範囲の平均値を求めることで精度の向上を試みた。

### 3. 現場での適用試験結果

計測は切羽面から 10m 以内の位置において切羽近傍の 3 箇所（切羽正面、側壁、吹付け機上）で実施した（図-2、図-3）。

切羽正面から吹付け前後で計測した結果を図-4 に示す。重機の影となる場所や反射強度が小さくなる切羽の凹部では局所的に点群の欠落がみられるが、粉塵等の影響は少なく、切羽全体を適切に計測できていた。吹付け後のデータは、吹付け前のデータより欠落が少なかったが、計測距離や切羽面の形状の変化、湧水による影響、コンクリートと岩石の色味の違いなどが原因として考えられる。

吹付け厚は、吹付け前後で取得した点群の近接点を抽出し、その差分を計算することで求めた。10cmメッシュで区切られた領域内の点群間における差分の平均値を図-5 に示す。その結果、凹部は厚く、凸部は薄くなりやすい傾向がみられた（図-6）。この差分を図示することで、十分な吹付け厚が確保されている部分と不足している部分を明確に確認することができる。現場ではこの結果を共有することで、吹付け方法の見直しを図ることが可能となった。計測場所毎の点群データを比較すると、側壁に 3D スキャナーを設置した場

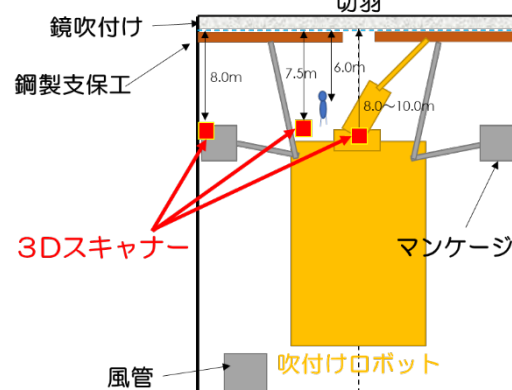


図-2 現場試験概略図



図-3 簡易 3D スキャナー設置状況

キーワード：3D スキャナー、鏡吹付け、肌落ち災害、切羽

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設（株）地下空間統括部 TEL:03-3561-3887

合、3Dスキャナーから距離が遠い切羽のデータが欠落しやすいことが明らかとなった。また、吹付け機上から計測した吹付け前後の点群データを比較したところ、共通点の誤差が10mm以内の点群の割合が93%となり、厚さ評価への吹付け機の振動による影響はほとんどないことが明らかとなった。

#### 4. 高精度 3D レーザースキャナーとの比較

同一切羽面にて、簡易3Dスキャナーと高精度3Dレーザースキャナー(P40 : 3D-Laser scanner Scan station P40 cyclone tunnel, Leica brand)<sup>1)</sup>を用いて計測を実施し、精度比較を行った。P40の計測精度は $\pm 5\text{mm}$ である。両者で得られた各点群の位置合わせを行い、相互の点間距離を評価した結果、誤差30mm以内の点の割合が95%、誤差20mm以内が87%であった(図-7)。切羽中央部の横断面では、P40に比べ簡易3Dスキャナーの分布傾向はほぼ一致しており、ばらつきが比較的大きい個所は、評価領域内の点群を平均化することで数mm単位の精度の管理が可能になると考えられる(図-8)。

#### 5. まとめ

簡易 3D スキャナーを用いて、掘削サイクル内で容易に実施可能な鏡吹付け厚管理システムを新たに開発し、現場において適用試験を行った。その結果、重機の影などで部分的にデータの欠落が見られたものの、切羽面から10m以内の切羽正面、吹付け機上から計測すれば、厚さ評価を行う上で十分なデータを取得可能なことが確認できた。また、P40と精度比較した結果、計測点の分布傾向は一致し、メッシュ領域内の平均化処理を適切に設定することで、P40と同等の精度で吹付け厚管理が可能になることが明らかになった。

今後、現場適用に向けてスキャナーの設置位置や平均化するメッシュ領域等について検討を行う予定である。

#### 謝辞

本論文作成にあたり、株式会社エス計画の皆様には多大なご協力を頂きました。厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

1) 笹嶋和彦・築地貴裕・木村厚之・谷村浩輔：低強度地山の出来形測量に3Dレーザースキャナーを試行，すさみ串本道路 二色トンネル，トンネルと地下，Vol.51, No.5, pp.47-55, 2020.5.

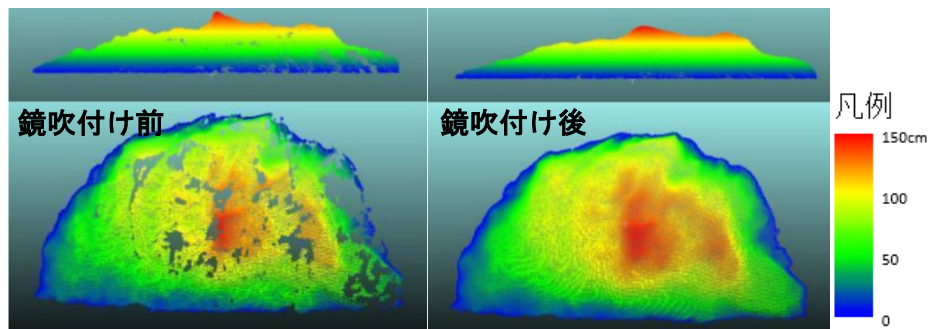


図-4 切羽面の計測結果

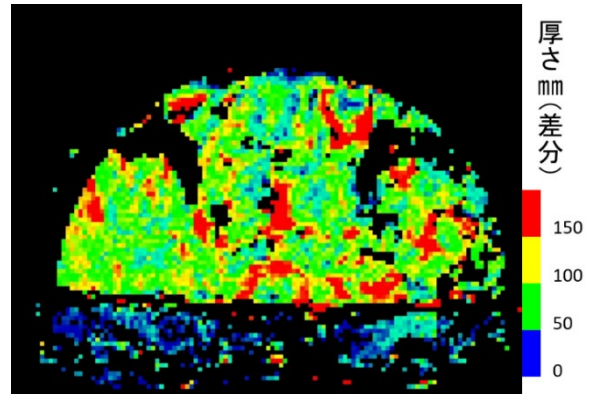


図-5 鏡吹付け厚の分布図

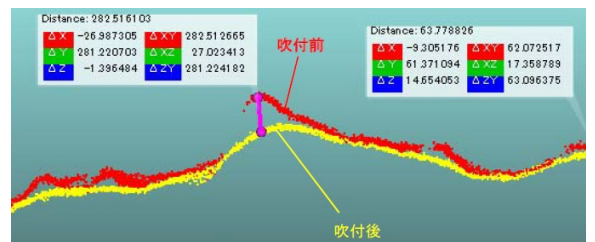


図-6 切羽中央部横断面での鏡吹付け前後の点群計測結果の比較  
(赤：吹付け前 黄：吹付け後)

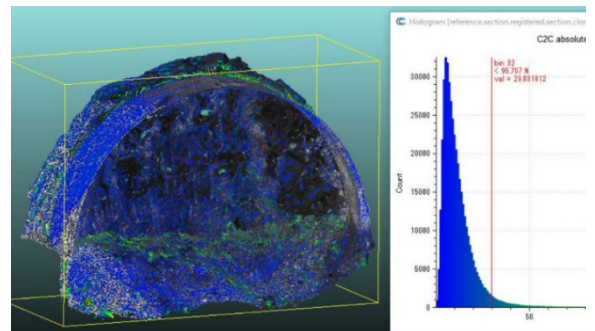


図-7 P40と簡易型との比較  
(黒：P40 青：簡易型)

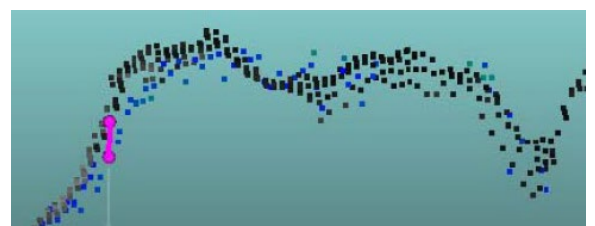


図-8 切羽中央部横断面でのP40と簡易型との比較  
(黒：P40 青：簡易型)