

追尾型三次元座標測定機（トラッカー）の山岳トンネルの施工管理への適用検討

鹿島建設(株) 正会員 小泉 悠 福島大介 宮嶋保幸 宮石雅子

松田雅和 藤井広志 女賀崇司 ○松浦 遵

東京貿易テクノシステム(株) 志水知也 山本和寛 水原弘人

1. はじめに

山岳トンネル工事においては、吹付けコンクリートの厚さ測定やロックボルトの引抜き試験等、一定の範囲を少ない点数で代表する品質・出来形管理が実施されている。また、切羽において、地山の硬軟が定性的な指標で評価されたり、5 点のターゲットを対象に地山変位が計測されるなど、施工判断の根拠となるデータの質・量が不十分であった。これに対して、3D スキャナー等、近年の ICT ツールの高精度化・低コスト化が、前述した課題の解決に有用と期待される。トンネル現場にて、①鏡吹付けコンクリート厚さの多点管理計測、②ブレイカー打撃振動に着目した地山の硬軟の定量評価 を目的に、トラッカーという専用ターゲットを自動追尾する、追尾型三次元座標測定機（以下、追尾型測定機と称する）の適用性検証試験を実施したので、その結果について報告する。

2. 追尾型三次元座標測定機（トラッカー）の概要

本検証試験では、追尾型測定機 ATS600（Leica 社製、写真-1）を使用した。近年普及が進む 3D スキャナーと比較すると、追尾型測定機の測定点数は 3D スキャナーに劣るものの、測距精度は 3D スキャナーが通常±3mm 程度であるのに対し、追尾型測定機はターゲット無の場合でも±0.3mm 程度であり、より高精度である。また、専用のターゲットを用いる場合、移動するターゲットを最大 1,000Hz の取得間隔で追尾し、三次元座標の測定および記録が可能といった特長を有する。

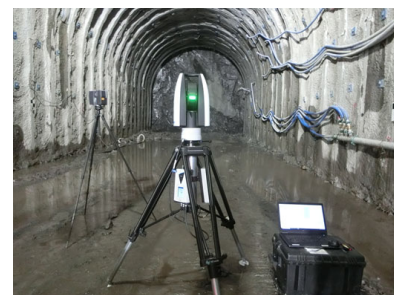


写真-1 使用した追尾型測距機
（鏡吹付け前の測距状況）

3. 鏡吹付けコンクリート厚さの多点管理計測への適用性検証

トンネル現場では、切羽近傍作業の安全確保を目的として、切羽面にコンクリート吹付けを施工する（鏡吹付け）。地山性状に応じて設定される厚さ（30～50mm 程度）まで確実に吹付けが施工できるように、単点レーザー距離計を用いた鏡吹付け厚管理システム¹⁾の開発を進めてきた。このシステムでは 10 台のレーザー距離計を制御できるが、追尾型測定機を用いることで、吹付け中の鏡吹付け厚を高密度かつリアルタイムに測定表示できると考え、計測試験を実施した。

鏡吹付けの前後で、追尾型測定機による三次元座標計測を行い、その差分から算出した鏡吹付け厚のコンターを図-1 に示す。鏡吹付け厚を高密度に測定し、面的に表示できることが示された。なお、1 回の計測に要した時間は 5 分以下で、施工サイクルに大きな影響を与えることは無かった。

また、吹付け中には、吹付け機の後方から追尾型測定機による計測を実施した。図-2 に単点レーザー距離計による吹付け厚の時間推移と、単点レーザー距離計と同一箇所での追尾型測定機による吹

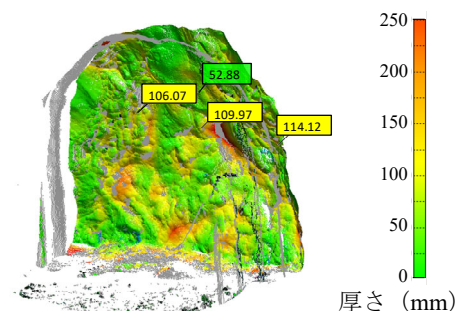


図-1 追尾型測定機による鏡吹付け厚
コンター

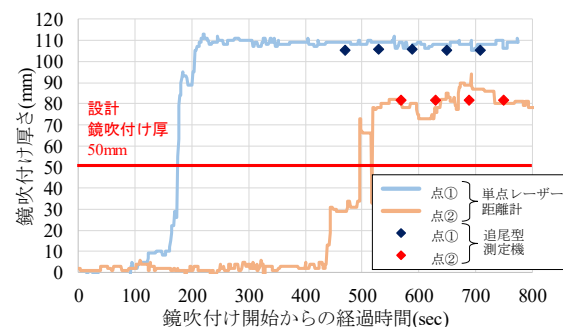


図-2 追尾型測定機と単点レーザーでの
鏡吹付け厚の時間推移

キーワード：山岳トンネル、追尾型三次元座標測定機、鏡吹付けコンクリート、打撃振動、卓越周波数

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島技術研究所 岩盤・地下水 Gr. TEL 042-489-6646

付け厚の時間推移を示す。図-2より、両者はよく整合しており、追尾型測定機を用いることで鏡吹付け厚を高密度かつ高精度に計測できることを確認した。

4. ブレーカー打撃振動に着目した地山の硬軟の定量評価への適用性検証

掘削対象となる地山が比較的軟質なトンネル現場では、ブレーカーによる機械掘削が行われる。また、発破工法が適用される硬質地山の現場でも、浮石の除去（こそく）や掘削断面の整形（あたり取り）のため、ブレーカー掘削が行われる。ブレーカーのノミ先にターゲットを設置し、掘削中、ターゲットの追尾を行うことで、打撃振動データが得られると考えた。ブレーカーのアーム部へのターゲット設置状況を写真-2に示す。ブレーカー掘削および切羽後方の安全な地点からのターゲット追尾状況を写真-3に示す。10分程度の検証試験において、追尾は予想以上に困難であり、連続で10秒間程度の追尾データを取得するに留まった。この要因として、比較的受光角度の小さい安価なターゲットを取り付けたことや坑内の粉塵の影響等が考えられた。取得間隔1,000Hzで得た三次元座標について、ターゲットの軌跡を図-3に示す。さらに、打撃方向（トンネル軸方向）であるY座標の変位速度の推移を図-4に示す。図-3より、大部分の時間でブレーカーのノミ先は空中を移動しているが、計測開始から7~8秒にかけては、切羽面を打撃している。これが、図-4においてY座標の変位速度が規則的かつ高周波で変化する7.0~8.1秒に合致することが確認できた。また、Y座標の変位速度について、ノミ先が切羽面を打撃中の7.2~8.0秒と、空中を移動中の6.0~6.8秒について周波数解析を実施した。その結果、切羽面を打撃中、6Hz程度のより高い周波数でフーリエスペクトルにピークが認められた（図-5）。地山がより硬質となるほど、卓越周波数は大きくなることが想定される。今後、受光角度の大きなターゲットを用いるなど計器を再選定し、地山性状が異なる現場でのデータの取得や卓越周波数と一軸圧縮強さとの相関などの検証を進めていく予定である。

5. まとめ

トンネル現場にて追尾型測定機の適用試験を実施した。

- 追尾型測定機により、切羽の鏡吹付け厚を多点で迅速に測定できた。また、その測定値は、実適用中の単点レーザーによる測定値とよく整合し、精度よく測定されたことを確認した。
- 追尾型測定機により、ブレーカーに取り付けたターゲットを追尾した。三次元座標の取得間隔は1,000Hzと十分に細かく、本試験における切羽面の打撃振動の卓越周波数が6Hz程度と示されたように、周波数解析が可能であることが分かった。

参考文献

- 1) 宮嶋ら：トンネル切羽の鏡吹付けコンクリートの厚さ管理システムの開発，土木学会第74回年次学術講演会，VI-733，2019。

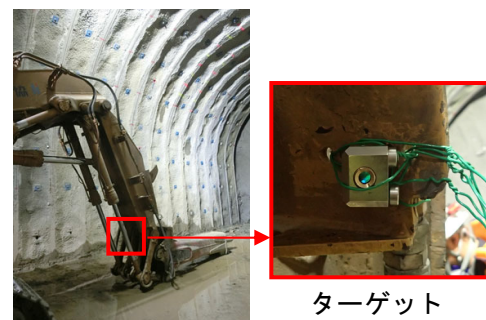


写真-2 ブレーカーへのターゲット設置状況



写真-3 ブレーカーに設置したターゲットの追尾測定状況

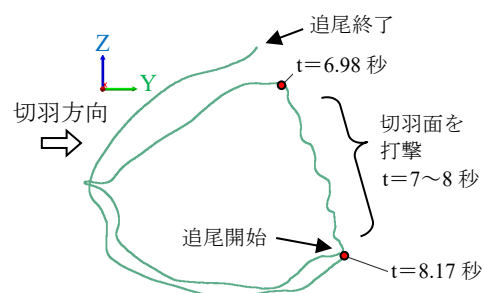


図-3 ターゲットの軌跡

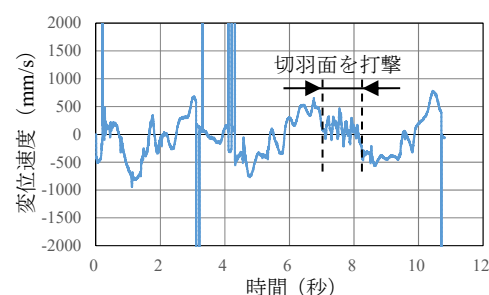


図-4 Y座標の変位速度の推移

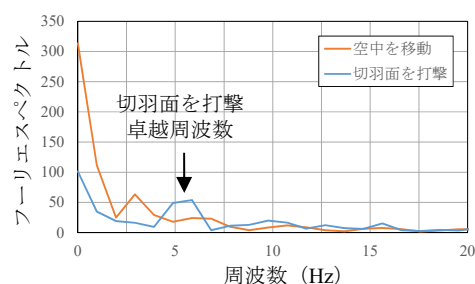


図-5 Y座標の変位速度のフーリエスペクトル