

トンネル工事未舗装区間における MMS トンネル点検車を用いた断面計測の実績および考察

日本国土開発(株) 正会員 ○佐野健彦, 正会員 細井泰行
アジア航測(株) 長尾孝幸, 正会員 小野田敏

1. はじめに

i-Construction の推進に伴い 3D データを活用する機会が増えている。2012 年に導入された CIM は、事業全体にわたり情報を共有し、一連の建設生産システムにおける受発注者双方の効率化・高度化を図る目的がある。両者の利活用によって計測から施工、維持管理まで一元的に情報を管理することが可能である。供用中のトンネルでは、これまでに計測車両¹⁾を走行させ、断面計測および写真撮影を行い、画像データからひび割れ位置の特定、長さや幅の測定実績が報告されているが、舗装された道路を走行して計測する場合をターゲットとして開発されており、トンネル工事完了直後の凹凸が多い未舗装道路の走行を想定してはいない。また、トンネルの維持点検を目的に開発された専用車両であり、一般的な 3D 空間位置計測システム(MMS : Mobile Mapping System)²⁾での代替可能性を確認することには価値がある。

本稿では、CIM の高度活用を目的として維持管理を視野に入れ、MMS を用いた出来形計測をトンネル覆工コンクリートに対して適用した結果について報告する。

2. 計測概要

国土交通省中部地方整備局発注の小洞トンネル、大洞トンネルの 2 本のトンネルを対象として工事の竣工時点における覆工コンクリート出来形について図-1 に示す 2 種類の車両を用いて計測した。

(1) 使用した計測技術とその特徴

トンネル内の 3D 計測は、図-1(a)に示す、走行しながらデータの取得が可能な一般的な MMS と、図-1(b)に示す、MMS の機能に加え、走行型画像計測システム(MIS : Mobile Imaging Technology System)を搭載した、両者の同時計測が可能なトンネル計測専用車である走行型高速 3D トンネル点検システム車³⁾を使用して、トンネル工事未舗装区間におけるトンネル覆工出来形に対して実施した。表-1 に使用機材の諸元を示す。主要レーザースキャナーは、どちらも位相差方式を採用し

キーワード 出来形管理, 維持管理, MMS, i-Construction, CIM



(a) MMS (Mobile Mapping System)



(b) 走行型高速 3D トンネル点検システム車

図-1 3D 計測に使用した車両

表-1 使用機材の装置諸元

機器名称	MMS (Mobile Mapping System)	走行型高速 3D トンネル点検システム車
LED 照明	—	70W×60 台
カメラ	—	38 万画素×20 台
GPS	2 周波×3 台 GPS 精度 Heading:0.18°(rms), Pitch:0.36°(rms), Roll:0.72°(rms)	2 周波×1 台, 1 周波×2 台 GPS 精度 Heading:0.18°(rms), Pitch:0.36°(rms), Roll:0.72°(rms)
IMU	3 軸加速度計 ×1 台	3 軸 FOG/3 軸加速度計 ×1 台
オドメトリ	右後輪×1 台	右後輪×1 台
主要レーザースキャナー	PENTAX S-2100×1 台 1,060,000 点/秒(位相差) スキャンレート 200Hz	Z+FProfiler9012×1 台 1,000,000 点/秒(位相差) スキャンレート 200Hz
カメラ	500 万画素×2 台	500 万画素×2 台

点密度が高い装置を採用している。また、走行型高速 3D トンネル点検システム車は、LED 照明装置と 20 台のカメラを装備していることが特徴的である。トンネルは、閉鎖空間であるため、計測車両は、GPS を用いた位置情報補足が出来ない。そのため、トンネル坑口での GPS による位置情報に基づき IMU(Inertial Measurement Unit)を利用した角度および加速度データ、車輪に搭載したオドメトリによる移動距離から同時調整して位置と姿勢を補正している。

(2) 計測データの処理

図-2(a)は、MMS で計測した点群データを補正せずに可視化したものである。GPS からの位置情報を取得出来ないために路面の凹凸によって、トンネル形状が変形していることが分かる。図-2(b)は、計測した点群データに対して、クラウン頂部における断面データの

連絡先 〒107-8466 東京都港区赤坂 4-9-9 日本国土開発(株)土木事業本部 TEL.03-5410-5750 E-mail : takehiko.sano@n-kokudo.co.jp

最大標高部を合致させて変換した図である。補正前と比較してトンネルの形状が修正されていることが確認出来る。

3. 実測データと 3D 計測データ比較

図-3 に示すように 20m 毎の管理断面のポイントを中心に、トンネル軸方向に 100mm の幅で 3D 点群データを抽出した。この抽出した 3D 点群データをトンネル軸方向に水平投影し、2D データに置き換えた。図-4 上段は、小洞トンネルにおける断面全幅実測値の設計差分値について、巻き尺で実測した旧来法、MMS と走行型高速 3D トンネル点検システム車について管理断面毎に比較した図である。図-4 下段は、旧来法に対する差分値を示している。図中の点線は、レーザースキャナーを用いた出来形管理の試行要領³⁾に示された規格値の上限下限値を示している。この図から、それぞれの方法によるデータは、全幅で計測した場合でも $\pm 5\text{mm}$ 程度の誤差であり、非常に良く一致していることが読み取れる。また、管理要領に示された基準値は、固定式のレーザースキャナーを想定した値であるが、MMS のような移動する方式でも規格値を満足する計測方法であることが分かる。図-5 は、大洞トンネルの結果であるが、図-4 と比較すると、多少誤差が大きい、実用上は十分な精度を有している結果であると言える。

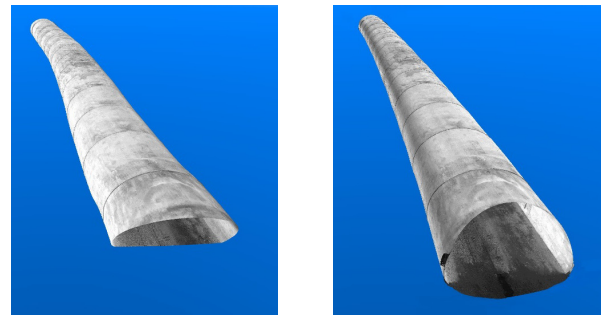
4. まとめ

GPS による位置情報の取得が困難な閉鎖空間であるトンネル工事を対象とし、走行面に凹凸が存在する未舗装区間における 3D 計測を実施した。今回の検討範囲内で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 国土地理院の測量規定(1:500)にも盛り込まれた MMS は、走行面に凹凸がある未舗装区間を対象にした計測であっても、適切な補正を行うことで管理基準値を概ね満足するとともに断面形状の正確な把握が可能であることが分かった。
- 2) MMS を用いた計測は、RGB を有する高密度な点群データを取得出来、維持管理における初期データとして CIM 活用の可能性があることが確認出来た。

参考文献

- 1) 重田佳幸, 田近宏則, 西川啓一, 下澤正道, 安田亨: トンネル維持管理における走行型計測の適用, トンネル工学報告集第 21 巻, 土木学会, pp.209-214, 2011
- 2) 平井智, 松本直樹, 佐藤秀人: 路面性状機能付き MMS の事例紹介, 日本写真測量学会平成 28 年度秋季学術講演会発表論文集, 日本写真測量学会, pp.15-16, 2016
- 3) レーザースキャナーを用いた出来形管理の試行要領(案)(トンネル編), 国土交通省, 2017



(a)補正前

(b)補正後

図-2 MMS による 3D 点群データ

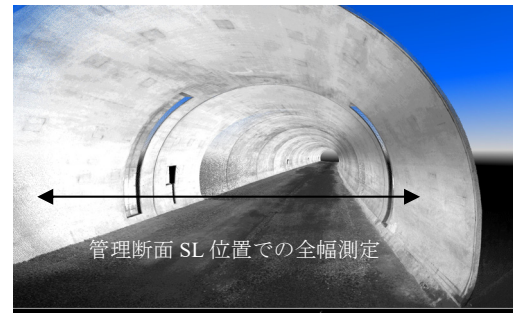


図-3 3D 点群データと実測値の比較概要

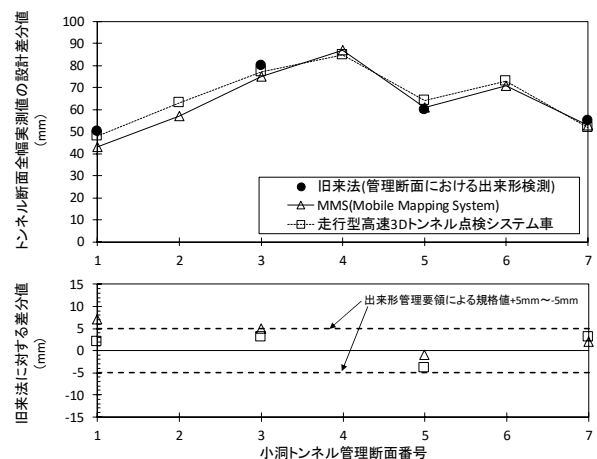


図-4 小洞トンネルの実測値と 3D 計測の比較

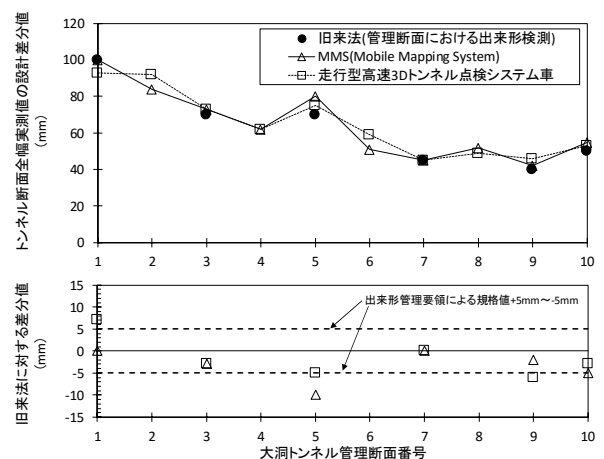


図-5 大洞トンネルの実測値と 3D 計測の比較