

MMSによるトンネル出来形管理への適用検証

株式会社 パスコ 正会員 ○井関 禎之, 五十嵐 善一, 非会員 浅井 亮治, 其阿彌 大祐, 林 大貴
株式会社 奥村組 正会員 宮田 岩往, 倉田 桂政, 高尾 篤志
国土交通省 中国地方整備局 非会員 塚本 勝幸

1. はじめに

従来、トンネルにおける出来形管理は、巻尺やトータルステーション（TS）を利用して、管理断面ごとに内空の幅、高さ、及び厚さを計測している。この手法は、各管理断面以外の出来形の把握ができず、各管理断面間の出来形を把握するには、面的な3次元データの取得が必要と考えられる。近年、国土交通省では、ICT技術を活用した情報化施工やCIMの取り組みの一つとして、面的な3次元データが取得可能な地上レーザスキャナ（TLS）によるトンネルの出来形管理への適用が試行されている[1]。しかし、TLSは、一定区間ごとに機器の設置・計測・移動を繰り返すため、計測に時間と手間を要する。一方で、車両を用いたモバイルマッピングシステム（MMS）は、車両を走行しながら周辺の形状を面的に取得し、計測機器の設置作業を少なくできることから、現地作業の効率化が期待される。そこで、本稿では、MMSによるトンネルの出来形管理への適用実験を実施して、TLSと同等の計測精度を得られるかを検証した。

2. 実験場所と出来形計測

実験計測は、広島県呉市にある呉市街地と阿賀・広方面を結ぶ約2.6kmのバイパス道路の休山トンネルにおいて、掘削・支保完了後（17/08/06）及び覆工コンクリート打設後（18/02/24）に行った。本実験では、坑口から約300mまでの区間を対象とし、坑口から50m、140m、及び280mの3箇所を管理断面と設定して、TS、TLS及びMMSによる出来形計測を行った。図1に計測状況を示す。また、各手法で取得したデータを工事で管理している座標へ位置補正を行うための調整点と位置精度の確認をするための検証点を設置した。そして、それらの位置座標をTSで取得した。

MMSの機器仕様と計測諸元を表1に示す。「レーザースキャナ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（平成29年3月）（TLS要領）」では、計測密度を5000点/m²以上に保つことが推奨されており、MMS計測では、この計測密度を確保する計測諸元を設定した。

表 1 MMS の機器仕様と計測諸元

項目		内容
走行速度		10km/h
レーザースキャナ	台数	1台 RIEGL社VQ-450
	照射数	550,000発/秒
	スキャン数	200回転/秒
	照射角度	360°
	計測精度	0.008m(50m先)
計測点間隔	進行方向	0.014m
	横断方向	0.014m(6m先)



図 1 計測状況（左：MMS，右：TLS）

3. MMSの位置補正

MMSは、搭載されたGNSS、IMUなどを用いて自己位置を測定するため、GNSSの衛星情報が不可視となるトンネルでは、MMSで取得される点群（MMS点群）の位置精度が低下する。位置精度の低下を防ぐため、調整点を用いた位置補正を実施した。位置補正は、調整点とMMS点群の三軸方向の較差を補正量としてシフト補正し、調整点間の補正量は前後の調整点とMMS点群の較差から線形補間により求めた。調整点の設置間隔は、トンネル出来形管理における管理断面の間隔である40mごとに設定した[2]。表2に位置補正前後のMMS点群の位置精度を示す。最大1.5m程度あった検証点の位置座標との較差が0.05m以下に改善された。

表 2 位置補正前後の MMS 点群の位置精度

	掘削・支保完了後				覆工コンクリート打設後			
	位置補正前		位置補正後		位置補正前		位置補正後	
	平面位置	標高	平面位置	標高	平面位置	標高	平面位置	標高
最大値(m)	1.498	0.631	0.048	0.030	0.757	0.725	0.020	0.010
平均値(m)	0.818	0.304	0.025	0.010	0.365	0.605	0.012	0.002
標準偏差(m)	0.473	0.203	0.011	0.010	0.218	0.088	0.005	0.005
平均二乗誤差(m)	0.976	0.377	0.028	0.015	0.439	0.638	0.013	0.006

キーワード MMS, TLS, 面的な3次元データ, トンネル出来形管理, CIM

連絡先〒556-0017 大阪市浪速区湊町 1-2-3 マルイト難波ビル 8 階 (株)パスコ 関西事業部 TEL06-6630-1933

4. MMSによる断面形状の再現性

従来のトンネル出来形管理において、巻尺を用いた手法では内空の幅や高さの2点間距離を確認し、TSやTLSを用いた手法では管理断面における断面形状と設計図面を比較している。これらを踏まえ、(1)2点間距離の評価及び(2)断面形状の評価を行った。

2点間距離の評価は、TSで取得した2点間距離と、対応する点間をMMS点群及びTLSで取得した点群(TLS点群)から読み取った距離を比較した(表3)。MMSとTSによる2点間距離の較差は、0.004m以下であり、TLSも同様に較差は、0.004m以下であった。この結果は、TLS要領で示される精度基準の0.005mを満たしている。実験計測で使用したMMSの計測精度(機器スペック)は、50m先で0.008mであり、機器スペックと同等の位置精度を確保できている。また、図2に示すように凹凸度が異なる掘削・支保完了後と覆工コンクリート打設後のトンネル内面では、どちらの場合においても、MMSは、TLSと同等の計測精度で出来形計測ができた。

断面形状の評価は、MMS点群とTLS点群の位置較差と、掘削・支保完了後と覆工コンクリート打設後のMMS点群の重ね合わせから算出した覆工コンクリート厚により行った。MMSとTLSの断面形状の位置較差は0.01m程度であった。さらに、図3に示すようにMMS点群の重ね合わせから算出した覆工コンクリート厚は、TLS点群の重ね合わせから算出した覆工コンクリート厚と同様に、設計値である350mmを確保できていた。そのため、MMSは、位置精度及び断面形状の再現性について、TLSと同等の出来形計測を実施できることが確認できた。

表3 2点間距離の評価

	掘削・支保完了後		覆工コンクリート打設後	
	MMS	TLS	MMS	TLS
最大値(m)	0.003	0.002	0.004	0.004
平均値(m)	0.001	0.002	0.003	0.002
標準偏差(m)	0.001	0.000	0.002	0.001
平均二乗誤差(m)	0.002	0.002	0.003	0.003
精度基準(m)	0.005			



図2 トンネル内面(左:掘削・支保完了後、右:覆工コンクリート打設後)



図3 掘削・支保完了後と覆工コンクリート打設後のMMS点群の重ね合わせ(50m地点)

5. 作業時間の比較

表4に各手法の作業時間を示す。この作業時間は、調整点・検証点の計測時間を除いたものである。TSの作業時間が60分、TLSが120分であったのに対し、走行しながら計測できるMMSは6分と大幅な作業時間の削減を確認できた。実験計測では3断面のみであったが、対象とする断面数が多くなるほど、作業時間の短縮が期待できる。

表4 各手法の作業時間

作業項目	作業時間	内訳
TS	60分	設置・計測・移動×3断面
LS	120分	設置・計測・移動×6回
MMS	6分※	移動計測×1往復

※別途トンネル外での計測準備に50分要する

6. まとめ

MMSによるトンネル出来形管理への適用検証を実際の工事現場で実施した。その結果、掘削・支保完了後及び覆工コンクリート打設後において、TLSと同等の位置精度及び断面形状の再現性で出来形計測ができた。MMS計測は、TSやTLSを用いた手法に比べ、作業時間を削減できた。よって、MMSはトンネル出来形管理へ適用可能で、TSやTLSに比べ作業の効率化に寄与できると考える。さらに、掘削・支保完了後や覆工コンクリート打設後に、トンネル坑外の工事基準点をトンネル坑内にも設置できれば、調整点の設置時間を大幅に削減可能と考える。

参考文献

- [1]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(平成29年3月)
- [2]井関禎之, 其阿彌 大祐, 五十嵐 善一, 浅井 亮治, 間野耕司, 西村 修, 倉田 桂政, 2017.11, MMSによるトンネル出来形管理への適用検証, 日本写真測量学会平成29年度秋季学術講演会発表論文集, pp.93-96.