

供用中トンネルにおける移動計測車両の適応性とその検証について

株式会社ネクスコ・エンジニアリング東北 正会員 ○横田光一郎
 正会員 山家 信幸, 正会員 村山 暢
 クモノスコーポレーション株式会社 正会員 亀井 志郎
 東日本高速道路株式会社東北支社山形管理事務所 南波 聡

1. はじめに

社会的役割を担う高速道路は、建設後半世紀以上経過しているものもあり、利用者の安全性や利便性を維持し続けるために定期的なメンテナンスが必要不可欠となっている。東北地方を東西に走る横断道（秋田自動車道、磐越自動車道、山形自動車道など）も建設後数十年経過しており例外ではない。その中で、トンネルに着目すると膨張性地山に起因する路面隆起（盤ぶくれ）や地すべりによる覆工目地のずれなどの変状が確認されている。こうした変状の調査手法としては、目視点検や路面縦断測量、内空変位測定等が用いられるが、交通規制を伴うことから時間的制約を受け調査範囲は限定されることが多い。そのため、近年においては移動計測車両を利用した調査例が増えてきている。MMS（モービルマッピングシステム）に代表される移動計測車両による路面計測は、高速道路本線上を法定速度で走行しながら路面情報の点群データを取得することができ、対象物を三次元的に捉えることが可能なため、高い汎用性を有する。しかしながら、トンネル本坑においてはGPSが捕捉できないことから、ばらつきが大きくなる傾向がある。本稿は、供用中トンネルの変状監視目的で設置したトータルステーション（以下、TS）の計測結果と移動計測車両による計測結果を比較することにより適応性を評価したものである。

2. トンネル内における移動計測車両によるデータ取得の問題点

移動計測車両による計測は、GPSとIMU（慣性計測装置）およびDMI（走行距離積算計）を複合計算することにより、互いの誤差を補完し、機器を搭載した車両の位置や姿勢を得ることで精度を確保している。その一方で、GPSが十分に捕捉できないトンネル区間等においては、IMUとDMIのみで位置計算処理がなされる。計測前のキャリブレーションによりIMUやDMIの校正を行ったとしてもGPSが捕捉できない区間が長い場合は、測位誤差が蓄積さればらつきが大きくなることが問題として挙げられる。トンネル内の路面隆起量や覆工のずれ等の監視を目的とした場合、mm単位での精度が望まれる。しかしながら、表-1に示すとおり一般的な移動計測車両（B）は精度が100mm以内とトンネル計測等を行うには精度が劣る。そこで、一般的な移動計測車両よりも高性能な移動計測車両（A）を用いて計測を行うこととした（写真-1）。

表-1 移動計測車両の仕様

項目(仕様)	A(採用)	B(一般的)
レーザースキャニング密度	100万点/秒	1.3万点/秒程度
レーザー距離計測精度	0.2mm	35mm程度
IMU(慣性計測装置)	200Hz	10Hz程度
絶対位置精度	15mm以内	100mm以内程度



写真-1 使用した移動計測車両

3. TS 自動計測と移動計測車両による計測結果の比較

移動計測車両による計測は図-1に示すように延長約2kmの暫定2車線のトンネルを対象とし、上下線を70km/hで10往復し計測を行った。なお、移動計測車両により取得したデータについては、両坑口部に検証点を各2箇所設け、GNSS基

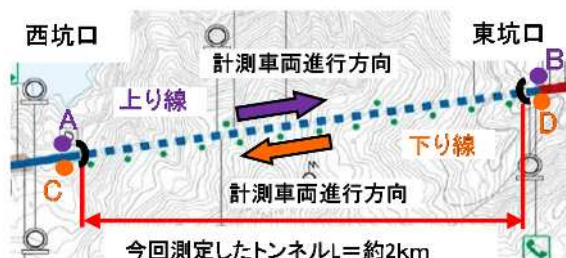


図-1 移動計測車両による計測区間

キーワード トンネル, GPS, 誤差

連絡先 〒980-0013 宮城県仙台市青葉区花京院 2-1-65 いちご花京院ビル 14F TEL: 022-713-7292

準点測量（精度 $\pm 20\text{mm}$ 程度）により取得した座標値により補正を行ったものを使用した。対象としたトンネルにおいては、監視計測を目的として TS による覆工自動観測システムを構築している。測定範囲は西坑口から約 40m の範囲であり、図-2に示す測点にて坑口直近から約 10m 間隔で計 5 断面の観測を行っている。ここでは、移動計測車両による計測値の比較

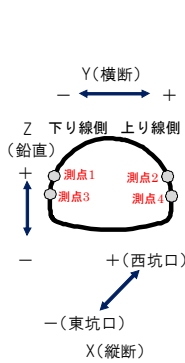


図-2 TS計測位置

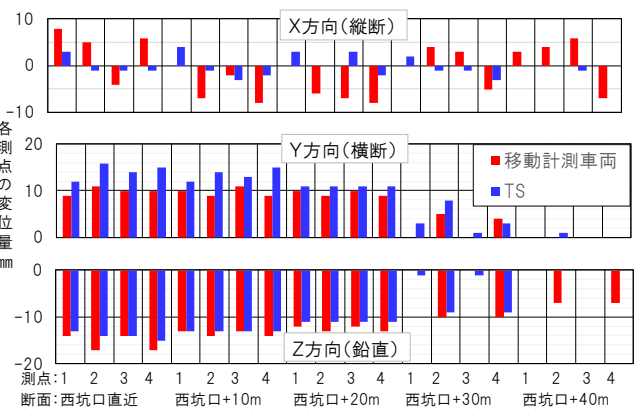


図-3 移動計測車両と TS による計測差

のため、平成 29 年 12 月と平成 30 年 11 月に計測したデータの変化量を算出した。図-3はその変化量を方向ごとに示したものであり、Y・Z方向については、変位方向が一致し差分も $\pm 10\text{mm}$ 程度の範囲にあり、トンネルの変状傾向が確認できる。X方向については、移動計測車両の進行方向となるため、70km/hで走行した場合のレーザー照射間隔が 9.7cm となり、Y・Z方向の変位と比較して差が大きくなったものと想定される。また、トンネル坑内ほど誤差が大きくなることが予想されたが、トンネル坑口から 40m 程度までの範囲ではほぼ影響は認められない。

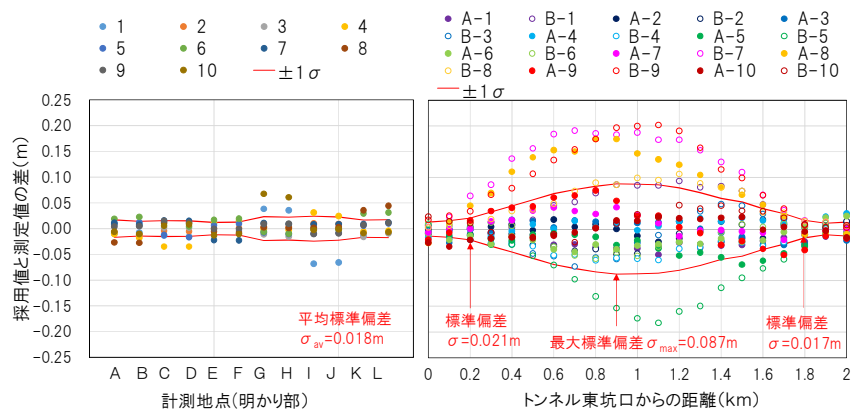


図-4 移動計測車両による採用値と測定値の差

（左図：盛土のり面路肩部路面高、右図：トンネル内距離標路面高）

4. トンネル内（衛星不可視区間）における計測精度

上述のとおり、トンネル坑口から 40m 程度の範囲について TS と比較した結果、移動計測車両による計測値は、概ね一致することが確認された。しかし、それ以上のトンネル内部に関しては、衛星不可視区間となることから計測値のばらつきが大きくなることが想定される。そこで、移動計測車両 10 往復により得た計測値と採用値との差分を算出し、明かり部とトンネル内部で比較した結果を図-4に示す。なお、明かり部は路肩部に設置した検証点から 100m 程度離れた位置（12 地点）で計測・補正したデータを、トンネル部は坑口部に設置した検証点で補正したデータであり、それぞれの採用値は標準偏差（ $\pm 1\sigma$ ）内の計測値を平均して算出したものである。図-4より、トンネル坑口から約 200m までは明かり部とほぼ同じ標準偏差（0.02m 程度）となったが、トンネル中心部では 4 倍程度の標準偏差となった。このことから、トンネル内部については坑口から 200m 程度までは明かり部と同等の信頼性を有するものと想定され、トンネル延長 400m 程度であれば衛星不可視による影響は小さくなるものと判断できる。それを大きく超えるトンネル延長の場合においてトンネル内部の計測精度を確保するためには、適切な位置に検証点を設けて点群データの補正を行うことや計測回数を増やすといった対応が挙げられる。

5. まとめ

トンネル坑口から 40m 程度の範囲における移動計測車両計測結果は、TS による計測値と比較して最大でも $\pm 10\text{mm}$ 未満の差であった。さらに、明かり部とトンネル内部の計測値のばらつきを評価した結果、トンネル坑口から 200m 程度までは衛星不可視の影響が小さいことが確認された。よって、トンネル延長 400m 程度であればトンネル内部においても移動計測車両による計測精度は明かり部と同程度であるものと判断する。

参考文献

- 1) 国土交通省 国土地理院；移動計測車両による測量システムを用いる数値地形図データ作成マニュアル（案），pp. 8-pp. 9, 2013. 6