

3 次元点群データを用いた路盤変状の把握

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○篠原 大紀
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 小島 潤
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 石川 聖人

1. はじめに

りょう盤構造を有するトンネルにおいて、路盤コンクリートの沈下(以下、「路盤沈下」)や隆起(以下、「路盤隆起」)が生じることがある。路盤部の変状は軌道変位をもたらす重大な変状であり、変状が進行した場合には安全・安定輸送を損なう恐れがある。また、変状の発生箇所を元の状態に戻すには多大な費用を要するうえ、施工にかかる時間を考慮すると現実的ではなく、変状の進行を抑える対策を打つにとどまっているのが現状である。具体的には、路盤隆起に対しては路盤の切削やロックボルトの打設、路盤沈下に対しては路盤下空洞への注入や拡径杭の打ち込みなどである。そのため、変状の兆候を早期に把握し、いかに変状の初期段階で進行を抑制するための対策を打つことができるかが、トンネル路盤を適切に保つために重要となる。

2. 背景

現在、私の所属する職場ではトンネル路盤の変状を軌道データの分析により管理している。具体的には軌道変位計測車によって得られた軌道変位のデータを整理し、一定キロごとの軌道変位の継時変化を追跡することにより路盤変状の有無を把握している。また、幾度の軌道整備を行ってもなお軌道変位が発生する箇所についてはトータルステーションを用いた内空測量や、レベルを用いて水準測量を行い、変状規模の詳細を把握している。

しかし、軌道変位計測車が計測したデータはあくまで軌道の変位を表したデータであり、路盤部の変動を表しているわけではない。そのため、軌道変位のデータによる監視手法は軌道変位が確認された場合に、軌道原因によるものなのか路盤原因(路盤変状)によるものなのか特定しにくい。加えて、軌道整備が行われると値が不規則に変化してしまうため路盤の累積の変位量を把握することができない。これらの理由から軌道変位データによる監視手法は路盤変状の詳細を把握するのには向いていない。また、測量機器を用いた測量は内空測量と水準測量にそれぞれ 2 人ずつ必要であるという点、計測精度や計測時間が個人の技術に依存してしまい精度や時間を計算しにくいという点において課題を抱えており、労働人口の減少が叫ばれる将来においては持続性に不安が残る。

本稿では、3 次元点群データを活用し持続的かつ高精度にトンネル路盤の変状を観測できる検査手法の開発を目的として取り組んだ事項について述べる。

2. 三次元点群データの取得について

3 次元点群データを取得できるレーザースキャナーである IMS5000(スイス AMBERG TECHNOLOGIES 社)を活用してトンネル路盤変状の観測手法の開発に取り組んだ。

本機器は本体中央部から放たれるレーザーによって 1 秒間に 100 万点の点群データを取得でき、360° ほぼ全断面においてデータの取得が可能である。実際の使用にあたっては、持ち運びや組み立て、レールへの载荷に 2 人の人手が必要であるものの、一度レールに乗せてしまえば手押しで走行するだけ容易にトンネル断面の三次元点群データを取得できる。また、IMU と呼ばれる慣性計測装置を搭載しているため、原点さえ決めてしまえばそこを基準とした三次元座標の取得が可能であり、計測した三次元座標をもとに路盤の高低を把握することができる。

キーワード 鉄道トンネル, 維持管理, 路盤沈下, 路盤隆起, 3 次元点群データ

連絡先 〒983-0853 宮城県仙台市宮城野区東六番丁 東日本旅客鉄道(株)仙台土木技術センター TEL 022-266-2397

3. 取り組み内容

3-1. 得られた点群データの性能確認

得られた点群データが路盤部の変状を検知できるか確認するための検証を行った。検証は既に供用を終えた単線トンネルにおいて、路盤に5mmほどのマットを敷き路盤隆起を模した状況で測定を行った。検証の結果マットの厚さを検知したことを確認でき、数mm程度の路盤部の高低変位は把握できることが分かった。

3-2. データ収集 今回検討している手法では、異なる2時期の点群データを重ね合わせ、路盤面の高さの変動を読み取り、路盤変状の有無を評価することを目的に、2時期比較を行うためのデータ収集を行った。過去に路盤隆起と沈下の両方が確認された複線トンネルにおいて、2021年8月と2022年1月に、変状の発生が確認された箇所を含む700mを測定した。測定データから書き起こした点群データを図1(2022年1月)に示す。



図1 書き起こした点群データ

トンネル全断面を測定できている反面、トンネル断面からかけ離れた場所のデータも存在していた。このようなデータは明らかに計測上のノイズだと思われるためデータ整理の段階で省いた。

実際の計測は、上下線それぞれ700mの距離を2人体制で2時間ほどで計測することができ、従来の測量機器を用いた測量(700mの間に設定された7断面を4人体制で3時間)と比べて計測時間、計測距離、人的効率性において優位性を得ていることを確認できた。

3-3. データの2時期比較

測定したデータを整理して2時期比較を行った。まず、2021年8月と2022年1月に測定したデータから書き起こした点群データを重ね合わせた。その後、両測点間の距離を算出し、距離の大小によって色を分けて表示した。2時期比較の結果を右に示す(図2)。

二時期比較の結果、路盤部全体で0~10mmの変位が発生していることがわかるが、同時期の測量による変位量は1~2mm(表1)であり、測量による結果よりも大きな値となった。通常、路盤で10mmほどの変状が発生すれば軌道変位も発生するはずだが、同時期の軌道変位のデータを確認したところ軌道に大きな変位は確認されなかったため、多少の変位が発生している可能性はあるものの、今回の三次元点群データによる二時期比較は誤差を含んだ値となってしまったと考えられる。

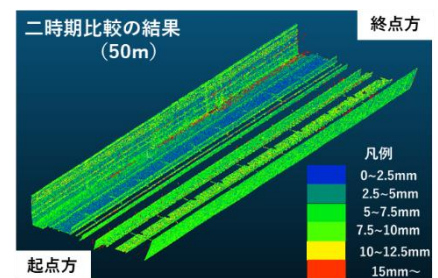


図2 二時期比較の結果

| データ | 変位量 |
|----------|----------|
| 3次元点群データ | 0mm~10mm |
| 測量 | 1,2mm |
| マヤチャート | 軌道変位無し |

表1 各計測手法の変位量

誤差が発生してしまった原因は2時期の点群データの重ね合わせがずれてしまったことによるものと考えられる。点群データの重ね合わせを正確に行うためには、重ね合わせをする際に基準となる目印をトンネル内に設置しなければならない。この目印は①位置の変化・落下する恐れのないもの②劣化等により機能を果たせなくなる恐れのないもの③奥行きがない平板上のものという3つの条件を満たしている必要がある。

また、点群データの重ね合わせ作業を現在は人手で行っており、この段階で人的誤差が生じる恐れもある。そのため重ね合わせ作業を自動化することにより誤差が生じる可能性を低減できると考える。

4. 今後の展望

今回、三次元点群データを用いてトンネル路盤の変状を計測する手法を検討し、2時期比較まで行えることは確認できた。しかし、精度面においてレベルが低く実用化に向けては多くの課題があることが分かった。

今後は、今回把握した課題を解消する取り組みを続け、三次元点群データを活用したトンネル路盤変状の計測手法を確立したい。