

シールドトンネルの維持管理に向けた点群データの取得方法に関する一考察

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○石村 利明, 佐々木 享, 森本 智, 日下 敦

1. はじめに

シールド工法は都市部を中心にこれまで多くのトンネルに適用されている。シールドトンネルにおいても、山岳工法で施工されたトンネルと同様に種々の変状が確認されており、合理的な維持管理手法が求められている。近年では、生産性向上の観点から ICT 等を活用した施策である「i-construction」の推進に伴って三次元点群データ・CIM モデルの活用事例が増えており、今後これらデータの維持管理への有効活用が期待されている。しかし、現状では点群データをどの程度の精度で取得すればどのようなトンネル内の状況を把握できるのか、維持管理に活用できるのかなどが明らかになっていない。本報文は、今後、点群データをシールドトンネルの維持管理に有効活用するための基礎資料を得ることを目的として、シールド工法により建設された共同溝において条件の異なる方法により点群データを取得するとともに測定精度について検討した。

2. 点群データの取得と測定精度の検証方法

点群データは、シールド工法で建設された共同溝の 2 トンネルで測定した。表-1 に点群データを取得したトンネルの概要を示す。点群データは、レーザースキャナを三脚に取り付けて一定の間隔で測定する方法（以下、「設置型」と称す）、レーザースキャナを手持った状態で移動しながら測定する方法（以下、「移動型」と称す）の二つの方法で取得した。使用した測定機器（レーザースキャナ）の仕様を表-2 に示す。また、点群データの取得にあたっては、それぞれの方法について設置型は測定間隔を、移動型は移動速度と往復回数を変化させた。測定条件を表-3 に、測定時の状況を写真-1 に示す。点群データ測定時には、点群データ合成時に点群データに座標付与するための基準点となるターゲットを測定区間の起点・終点に 2 箇所、測定区間内に 4 箇所設置した。また、予めターゲットの中心位置の座標を点群データの取得機器よりも精度の高いトータルステーションを用いた測量（以下、「TS 測量」と称す）により求めた。

各共同溝において各測定条件で取得した点群データの測定精度は、各共同溝の 3 断面（内空幅・内空高さ）、側壁部に貼付した複数の小片（厚さ 1~20mm、大きさ 20×20cm）の測定値により検証した。3 断面での内空幅・内空高さによる検証は、予め TS 測量で求めた内空幅・内空高さ、と、取得した点群データから読み取った内空幅・内空高さをそれぞれ比較した。側壁部に貼付した小片厚さは小片を貼付した後に予めノギスを用いて測定した小片の厚みと、所得した点群データから読み取った小片の厚みとをそれぞれ比較した。

3. 取得点群データの測定精度

図-1 に各トンネルの検証断面における TS 測量と点群データ読み取った内空幅・内空高さの比較結果を示す。これより、TS 測量と点群データから得られた結果の差分は測定条件によって大きく異なっていることが分かる。内空幅の結果をみると、両トンネルとも設置型（S）が移動型（M）に比べて差分が小さく、平均で 2mm 程度、最大でも 3mm 程度以内であり、精度良く測定できていることが分かる。移動型は、各測定結果のばらつきが大きく、移動速度が早い・往復回数が複数の測定条件で差分が大きい傾向にある。とくに M-1H、M-5L では大きな差分が生じており、測定条件によっては誤差が

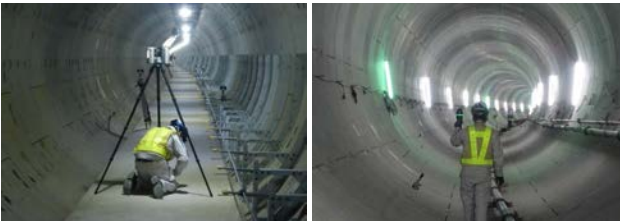
表-1 トンネルの概要

|       | 内径<br>(m) | セグメント      |           | 継手構造   |        | 点群データ取得延長 |          |           |
|-------|-----------|------------|-----------|--------|--------|-----------|----------|-----------|
|       |           | 厚さ<br>(mm) | 幅<br>(mm) | セグメント間 | リング間   | 延長<br>(m) | リング<br>数 | リングNO.    |
| Aトンネル | 3.4       | 0.19       | 1.3       | 曲がりボルト | 曲がりボルト | 65        | 50       | 921~970   |
| Bトンネル | 5.3       | 0.25       | 1.2       | コッター   | ピン     | 60        | 50       | 1991~2040 |

表-2 測定機器一覧

|          |    | 使用機器         |                                        |
|----------|----|--------------|----------------------------------------|
|          |    | 移動型          | 設置型                                    |
| 点群取得方法   |    | 手に持った状態で移動   | 三脚に据え付けて固定して計測。調査延長を一定の間隔で設置位置を盛り替えて計測 |
| スキャン範囲   | 水平 | 360°         | 360°                                   |
|          | 鉛直 | 270°         | 300°                                   |
| 測定範囲     |    | 最小0.5m~最大25m | 最小0.3m~最大130m                          |
| スキャンスピード |    | 420000点/秒    | 2000000点/秒                             |
| 精度       | 距離 | ±3mm(レンジノイズ) | 1.0mm+10ppm                            |
|          | 座標 | ±10mm(室内精度)  | 1.9mm@10m                              |
|          | 角度 |              | 18"                                    |
| カメラスペック  |    | 1200万画素      | 1200万画素                                |
| 点密度      |    | —            | 10m毎に6mm四方                             |
| スキャン時間   |    | —            | 50秒                                    |

本表はカタログ記載値をもとに作成



(a)設置型(Aトンネル)の状況 (b)移動型(Bトンネル)の状況

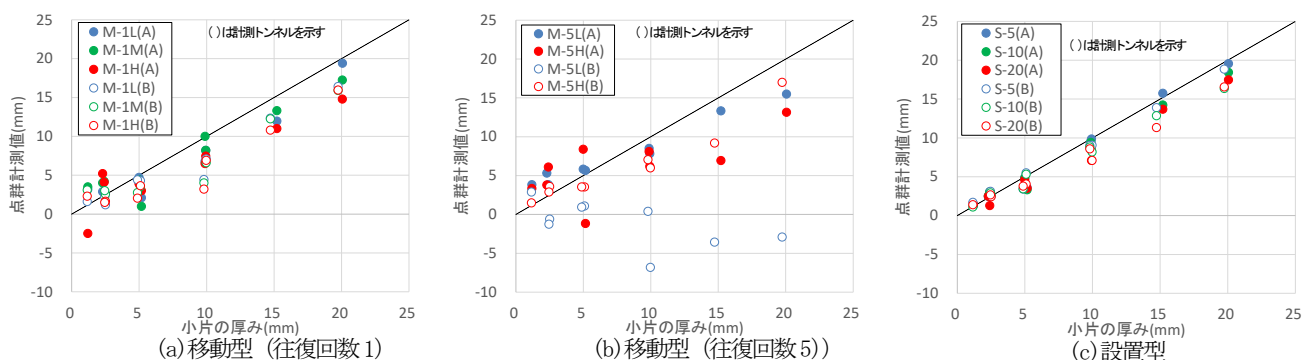
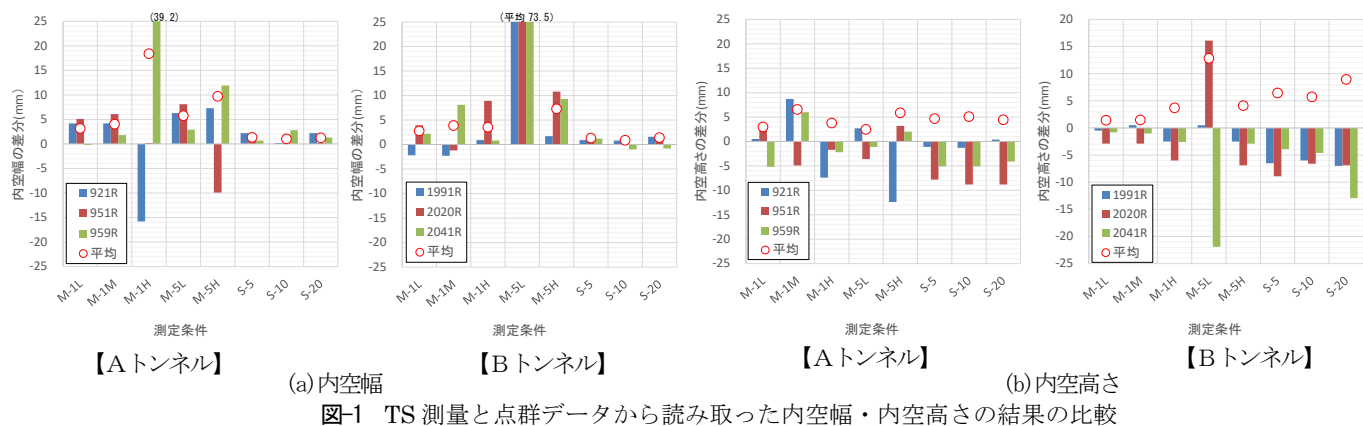
写真-1 測定時の状況

表-3 測定条件一覧

| 測定方法 | CASE<br>名称 | 移動<br>速度<br>(km/h) | 往復<br>回数<br>(回) | 機器<br>設置間隔<br>(m) |
|------|------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| 移動型  | M-1L       | 1                  | 1               | —                 |
|      | M-1M       | 2                  | 1               | —                 |
|      | M-1H       | 4                  | 1               | —                 |
|      | M-5L       | 1                  | 5               | —                 |
|      | M-5H       | 4                  | 5               | —                 |
| 設置型  | S-5        | —                  | —               | 5                 |
|      | S-10       | —                  | —               | 10                |
|      | S-20       | —                  | —               | 20                |

キーワード シールドトンネル, 維持管理, 点群データ, 取得方法, 測定精度

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 TEL 029-879-6791



大きくなる場合があることが分かった。次に、内空高さの結果を見ると、両トンネルでの測定条件ともに差分の平均は、最大で13mm程度であり、設置型と移動型で大きな違いは見られない。しかし、移動型のM-5Lで差分が大きく、一部の検証断面では20mmを超える差分となった。なお、他の条件に比べて差分が大きかったM-1Hは機器操作上の誤差、M-5Lは5往復分の点群データ合成時の誤差が生じたものと考えられることから、今後原因を確認する必要がある。設置型は、内空幅の結果と比較すると差分が大きい結果であり、機器の設置間隔が広がると差分も大きくなる傾向がある。内空高さが内空幅に比べて劣るのは、機器下型一部の範囲が点群データを取得できないこと、機器からトンネル天端までの距離が側壁に比べて長くなるため点群データの取得間隔が大きくなるなどが考えられる。

図-2に小片の厚さについて、取得した点群データによる計測値と小片の厚みとの関係を示す。移動型は往復回数1では小片の厚みとの差は一部の測定条件で最大7mm程度を示すが、概ね5mm程度以内の結果であった。往復回数5では往復回数1に比べて小片の厚みとの差が最大10mm程度となり、M-5Lでは小片の厚みが0mm以下の結果を示した。一方で設置型は、機器の設置間隔が広がると小片との厚みとの差が多少大きくなるものの、最大でも3mm程度以内の結果であり、機器の設置間隔5mでは小片との厚みとの差が1.5mm程度と高い精度で把握できていることが分かる。

#### 4. まとめと今後の課題

実トンネル（内径約3～5m）における点群データの試行計測により、測定条件によってはトンネルの内空幅・トンネル高さ、小片厚さの測定誤差が異なることが分かった。本測定条件下においては、設置型はトンネルの内空幅、小片の厚みは概ね2mm程度の誤差で把握できることから、トンネル完成後の初期段階と供用後の点群データ等とを比較することで、現時点の技術水準において2mm程度のトンネルの変形や変状の進行の程度を把握できると考えられる。一方、移動型は現時点では設置型の測定精度には及ばないものの、突発的に発生する地震や事故後等におけるトンネル内の状況の把握ができるとともに、今後、点群データの測定・処理方法の改善や機器の測定精度の向上等が図れば、設置型と同様に維持管理への活用が期待できると考えられる。

今後は、本測定において一部の測定条件で大きな誤差となった原因および点群データの再現性の確認とともに、点群密度と測定精度との関係、点群データとトンネルの変状状態や点検結果との関係について整理を行い、点群データをシールドトンネルの維持管理に有効活用するための測定条件等を提案することが重要である。