山岳トンネルにおける三次元レーザースキャナの適用について

ハザマ土木事業本部　　正会員○湯本健寛　　正会員　河邉信之
ハザマ技術研究所　　正会員　黒台昌弘

１．概要

近年，山岳トンネルの施工において，三次元レーザースキャナはトンネル壁面の形状を詳細に測定できるため，従来の測量メジャー等を使用した測定より詳しく出来形管理を行える技術として注目されている．例えば，山岳トンネルにおいては，吹付けコンクリート完了後や覆工コンクリート完了後の断面形状データより，内空幅や内空高さの過不足を確認する手法として用いられている．また，最近では，吹付けコンクリート，覆工コンクリートの施工前後の断面形状の差分からコンクリートの巻厚を管理する手法なども開発されている．

三次元レーザースキャナの器械性能を**表-1** に示す．三次元レーザースキャナは，水平方向と延長方向に同時に回転しながらトンネル壁面にレーザー光を照射し，反射光が器械の光源へ返ってくるまでの時間と角度から壁面の三次元座標を非接触で測定する（ノンプリズム測定）ものである．測定間隔は器械からの距離とレーザーの発射角度により定まるが，レーザーの照射を開始する地点が常に同じ位置でないため，測定毎に取得する位置が異なる．また，特に山岳トンネルにおいては吹付け面の凹凸の影響を受けやすいため，測定して得られた断面形状データに差異が生じやすい．したがって，同一地点の断面形状を測定したとしても測定毎にデータに差異が生じることから，山岳トンネルの出来形管理に適用するにあたって，測定精度を見極めていく必要がある．本研究では，実際の山岳トンネル現場において，三次元レーザースキャナを用いて断面形状を繰り返し測定し，同一位置における断面形状を比較することで，測定精度を確保した適用手法を確立した．

表-1　三次元レーザースキャナの器械性能

製品名	Surphaser25HSX
測定方式	フェーズシフト回転ミラー
レーザー波長	685nm(赤色)
測定可能距離	器械点より 1.5m～30m
測定可能範囲	水平方向 360°，鉛直方向 270°
ノンプリズム測距精度	±1mm

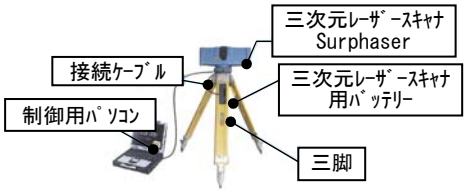

図-1　三次元レーザースキャナ

２．試験方法

試験施工を行った現場は，内空幅 11.1m，内空断面積 62.7m^2 の 2 車線道路トンネルで，吹付けコンクリート施工完了後の壁面において行った．三次元レーザースキャナの測定間隔は器械からトンネル壁面までの距離，レーザー照射角度の大きさ（解像度）に応じて変化する．したがって，器械からの距離と解像度が三次元レーザースキャナの測定精度に影響を及ぼす要因であると考え，この 2 項目に着目して検証を行った．

(1)器械点からの距離に応じた測定精度の検証

三次元レーザースキャナをトンネル中心線付近に固定した状態で，解像度を水平方向 1/12°，鉛直方向 1/24° で吹付け面のトンネル断面形状を 3 回繰り返して測定した．器械点からトンネル縦断方向に 5m, 7.5m, 10m 離れた位置の断面形状データを 1 回目と 2 回目，2 回目と 3 回目，1 回目と 3 回目で重ね合わせ，上半部分についてトンネル断面方向に等間隔で抽出した 17 箇所での測定値の差分を算出した．

(2)解像度に応じた測定精度の検証

表-2 に示す異なる解像度で，(1)と同様に吹付け面のトンネル断面形状を測定した．器械点から 5m 離れた位置で断面形状データを重ね合わせ，測定値の差分を算出した．

表-2　解像度に応じた試験パターン

	解像度		測定点数の理論値	側壁部での測定ピッチ（器械から5m離れた断面）
	水平（度）	鉛直（度）	（点）	（mm）
パターン①	1/12	1/24	27,993,600	15
パターン②	1/6	1/24	13,996,800	29

キーワード　三次元レーザースキャナ，出来形管理，測定精度，解像度
連絡先　　〒105-8479　東京都港区虎ノ門 2-2-5　ハザマ土木事業本部技術第三部　TEL 03-3588-5771

３．試験結果および考察

(1)器械点からの距離に応じた測定精度の検証

図-2～4 に器械から 5m，7.5m，10m 離れた位置での測定値の差分を示す．5m，7.5m，10m と器械から離れるにつれ，差分の平均値は 1.7mm，4.3mm，5.9mm と増加しており，最大値も 4.0mm，12.0mm，15.0mm と増加する．また，器械から 5m 離れた位置でのデータはほぼ 4mm 未満に分布しているのに対し，器械から 7.5m，10m 離れた位置でのデータは，分散して分布している．以上は，トンネル壁面に対するレーザーの入射角度が小さくなることで，測定精度が低下したと考えられ，器械から 7.5m 以上離れた測定断面では，この測定精度の低下が顕著に現れたと考えられる．

(2)解像度に応じた測定精度の検証

図-5 に解像度の違いによる測定値の差分を示す．解像度の大きいパターン①の最大値は 4.0mm，解像度の小さいパターン②の最大値は 3.0mm である．平均値についてもパターン①で 1.0mm，パターン②で 1.7mm となり，0.7mm の差で実用上問題ない結果となった．解像度を大きくした場合，データ処理に要する時間は解像度に比例して多くなり，作業性にも影響を及ぼすことを考えると，**表-2** に示した解像度パターン②（水平方向 1/6°，鉛直方向 1/24°）で，十分測定精度を確保できることがわかった．

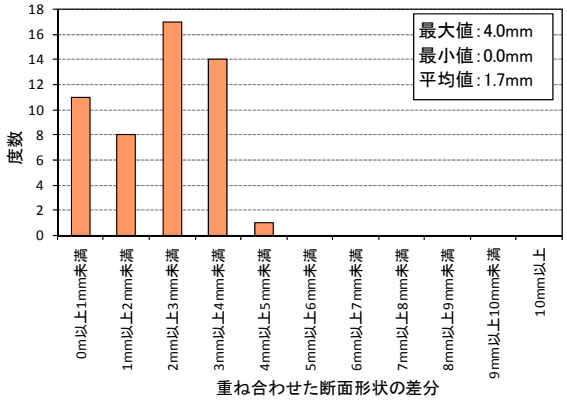

図-2　5m 離れた断面での測定値の差分

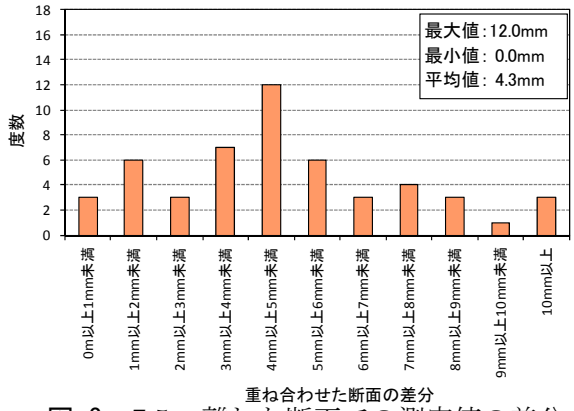

図-3　7.5m 離れた断面での測定値の差分

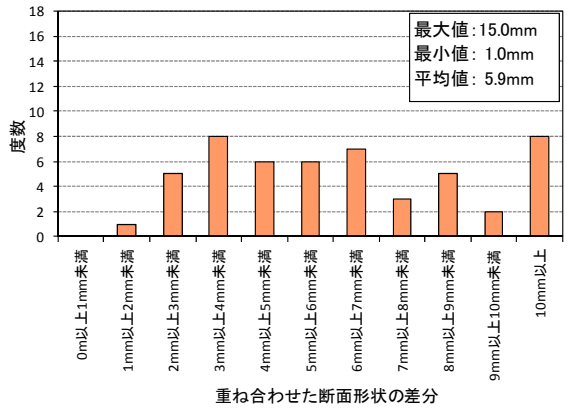

図-4　10m 離れた断面での測定値の差分

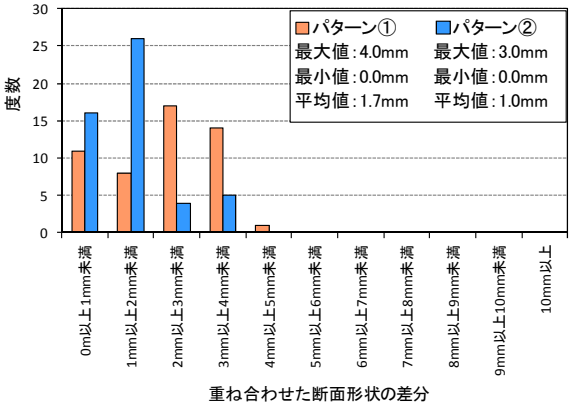

図-5　解像度の違いによる測定値の差分

４．まとめ

器械からの距離と解像度が三次元レーザースキャナの測定精度に及ぼす影響について検証した．その結果，器械からの距離に応じて測定精度が低下することから，測定精度を保つためには測定する断面から 5m 以内に器械を設置する必要があることがわかった．また，解像度の違いが測定精度に及ぼす影響は大きく見られず，山岳トンネルにおいては今回行った解像度が水平方向 1/6°，鉛直方向 1/24° で十分測定精度が確保できることがわかった．