

レーザー距離計による山岳トンネルの簡易な3次元変位計測

飛鳥建設 建設事業本部 正会員 ○熊谷 幸樹
 飛鳥建設 建設事業本部 築地 功
 飛鳥建設 建設事業本部 塩満 剛治

1. はじめに

山岳トンネルの施工では、周辺地山の安定性や支保工の作用効果を評価するため、切羽観察や坑内変位計測が実施される。このうち、坑内変位計測は、掘削後できるだけ早く初期値を測定することとなっている¹⁾²⁾。しかしながら、測定点の設置時期がまちまちであったり、設置した測定点が破損したりして信頼性のある計測値を得ることは容易ではない。そのため、変位速度の最も大きい掘削直後の地山変位が正確に計測されないまま、全変位に対する計測可能な変位の比率を仮定して全変位を推定しているのが現状である。本論文では、同じ施工のタイミングで測定した初期値に基づき、掘削直後からの地山変位をより正確に把握することを目的として、1台のレーザー距離計を用いて地山の3次元変位を計測する手法を示すとともに、本計測手法の測定精度に関する室内試験結果について考察する。

2. レーザー距離計による3次元変位計測の目的と概要

(1) 計測の目的

NATMの計測Aでは、図-1に示す測定点を吹付けコンクリート施工後に地山と一体化させて設置し、天端沈下や内空変位の計測を行う。1掘進の掘削、ずり出し後、吹付けコンクリートの施工が完了するまでの時間は、2車線道路トンネルのDIパターンで2～2.5時間程度であるため、初期値測定は掘削後3時間以内には可能である。しかしながら、切羽近傍に設置した測定点は重機の接触や発破の飛石による損傷を受けやすく、信頼性のある初期値を得ることは容易ではない。一方、初期値測定までの間に脚部沈下や押し出しなどの変形が発生する不良地山では、ずり出し完了直後に初期値を測定して地山変位をリアルタイムに把握することは、地山の安定性評価のために重要である。そこで、本計測の目的は、不良地山で鋼製支保工が設置される支保パターンを想定し、図-2に示す3種類の測定面から成る、強力磁石などで鋼製支保工に容易に着脱できる測定点の3次元変位を、切羽後方の不動点に設置した1台のレーザー距離計を用いて鋼製支保工建込み直後から連続的に自動計測することとした。

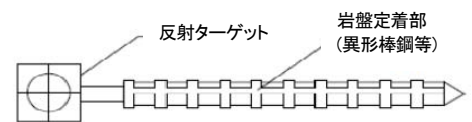
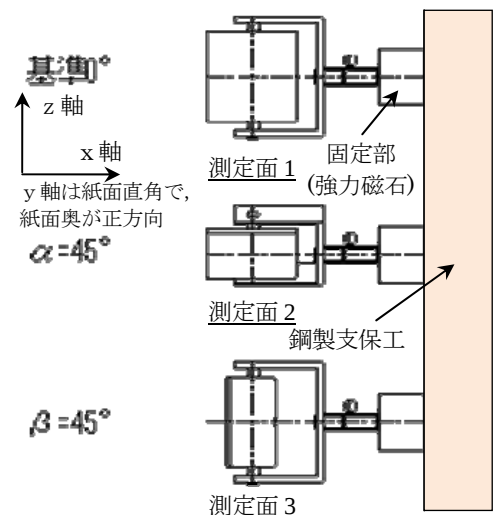
図-1 計測Aの測定点の例²⁾

図-2 3次元変位計測の測定点の例

(2) 3次元変位計測の概要と算定方法³⁾

図-2に示す3つの測定面の図心はすべて、当該測定点の同一座標にあり、測定面1はzx平面に平行に、測定面2はxy平面となす角 α で、測定面3はyz平面となす角 β でそれぞれ設置されているものとする。1台のレーザー距離計の光軸をy軸正方向の各測定面の図心に向けて照射、測定した距離をL1, L2, L3とすると、時刻tにおける測定点の初期(時刻 $t=t_0$)からの3次元変位は式(1)～(3)で表わされる。

$$\Delta x(t) = -(L3(t) - L3(t_0) - \Delta y(t)) \cdot \tan \beta \quad (1)$$

$$\Delta y(t) = L1(t) - L1(t_0) \quad (2)$$

$$\Delta z(t) = -(L2(t) - L2(t_0) - \Delta y(t)) \cdot \tan \alpha \quad (3)$$

ここで、 $\Delta x(t), \Delta y(t), \Delta z(t)$ ：それぞれ測定点の時刻tにおけるx軸、y軸、z軸方向の変位、 $L1(t), L2(t), L3(t)$ ：時刻tでの各測定面までの水平距離、 $L1(t_0), L2(t_0), L3(t_0)$ ：初期値とした時刻 t_0 での各測定面までの水平距離、 α ：測定面2がxy平面となす角で、x軸の反時計回りが正、 β ：測定面3がyz平面となす角で、z軸の反時計回りが正とする。

キーワード トンネル, 3次元変位計測, レーザー距離計, リアルタイム

連絡先 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP R&D 棟 2F TEL 044-829-6713

1 台のレーザー距離計で測定点の 3 次元変位を測定するには、図-2 に示す 3 種類の測定面の水平距離を手動もしくは自動で順次測定する。また、3 台のレーザー距離計を使用する場合には、光軸をずらして同時に 3 つの測定面の水平距離を測定することで測定点の 3 次元変位を算定できる。前者の場合、測定点の時刻 t の変位を求めるには、数秒から数十秒の時間を要することから、地山変位が漸次変化するような静的な変位挙動が計測対象となる。

3. 室内精度試験結果とその考察

(1) 室内精度試験結果の概要

変位測定において、測定面の傾斜が測定精度に及ぼす影響を把握するため、測定面を水平面に対して鉛直(90°)、60°、45°に固定し、水平変位もしくは鉛直変位を付与して接触式変位計(東京測器研究所、SDP-100R、分解能：100×10⁻⁶mm)による測定値と比較した。使用したレーザー距離計は、Leica 製 DISTO D8(公称精度±1.0mm 以内)である。変位は水平、鉛直とも 0mm～50mm 程度の範囲で 2.5mm ピッチで付与した。レーザー距離計と測定面の距離は、5m、10m、15m の 3 ケースとした。なお、測定面は灰色に着色されたプラスチック板である。写真-1 に測定面と 2 軸変位付与装置を示す。

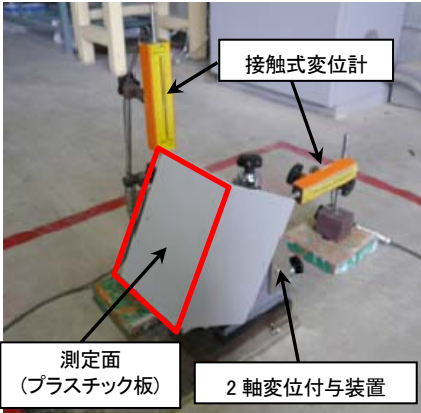


写真-1 測定面と変位付与装置

(2) 試験結果とその考察

実験結果のうち、測定距離 15m で、測定面が 45° と 60° の場合の試験結果を、図-3、図-4 にそれぞれ示す。なお、各変位での測定値は 5 個のデータをプロットとした。また、表-1 に、全ケースのレーザー距離計と接触式変位計による測定値間の相関係数を示す。

これらの図表より以下のことが分かる。

- ・測定面が 45° の場合、接触式変位計に対しレーザー距離計の測定値には、過去の実験と同様のばらつき(標準偏差 σ : 0.4mm 以内)があるが⁴⁾、相関係数 r は 0.9995 と高いことから、45° 傾斜した測定面でもレーザー距離計により公称精度±1mm 以内で水平距離を測定できる。
- ・測定面が 60° の場合も、45° と同等の相関係数($r=0.9976$)が得られていることから、測定面の傾斜が 60° でも測定精度の点で問題はない。
- ・測定距離 15m 以内で、測定面の傾斜角が 45° から 90° の範囲内では、測定点の傾斜が水平距離の測定精度に及ぼす影響は認められない。このことから、式(1)～(3)により測定点の 3 次元変位を公称 1mm 以内の精度で測定できる。

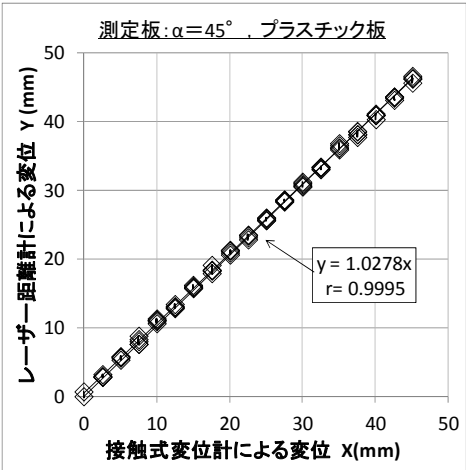


図-3 測定面が 45° の場合、L=15m

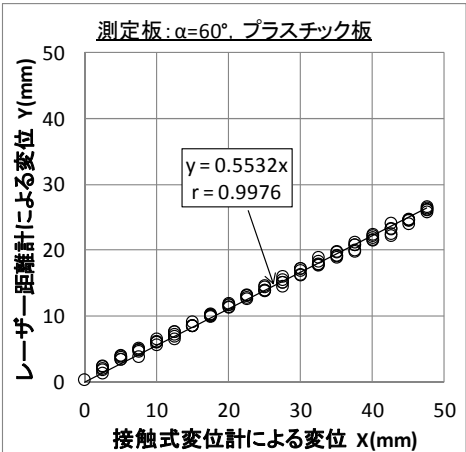


図-4 測定面が 60° の場合、L=15m

4. おわりに

山岳トンネルの計測 A において、1 台のレーザー距離計により地山の 3 次元変位を初期段階から正確に把握するための計測手法を示すとともに、室内精度試験結果に基づき 3 次元変位を精度良く測定できることを示した。今後は、大きな初期変位が発生すると想定される実トンネルの計測管理や切羽作業の安全管理に適用し、実用化を図っていきたい。

参考文献

1)日本道路協会:道路トンネル観察・計測指針(平成21年改定版), pp.30-36, 2009.
2)地盤工学会:地盤工学会基準(案), JGS3711 岩盤の内空変位・天端沈下測定方法, 2011.
3)熊谷幸樹, 澤井茂, 森脇丈滋, 塩満剛治, 寺島佳宏:レーザー距離計を用いたトンネルの3次元変位計測に関する基礎実験, 第47回地盤工学研究発表会, 投稿中.
4)寺島佳宏, 小川勲, 熊谷幸樹, 松田浩朗, 檜岡民幸:多点同時変位計測による切羽安全監視システムの開発と不良地山における試験適用, トンネル工学報告集第20巻, pp.219-223, 2010.

表-1 室内精度試験の相関係数

		測定面の傾斜角		
		90°	60°	45°
測定距離 (m)	5	0.9997	0.9987	0.9994
	10	0.9993	0.9981	0.9995
	15	0.9995	0.9976	0.9995