

レーザー距離計を用いたトンネルの簡易な3次元変位計測

Simplified Measuring Method for Three Dimensional Displacement in Tunnels by means of a Single Laser Distance Meter

熊谷 幸樹^{*1}
Koki Kumagai
森脇 文滋^{*1}
Takeshi Moriwaki

築地 功^{*1}
Isao Tsukiji
塩満 剛治^{*1}
Gouji Shiomitsu

澤井 茂^{*1}
Shigeru Sawai
寺島 佳宏^{*2}
Yoshihiro Terashima

【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

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し実施することとされている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、全変位を推定しているのが現状である。

本報では、同一のタイミングで測定した初期値に基づき、支保設置直後からの地山変位を正確に把握することを目的として考案した、1台のレーザー距離計による地山の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報告する。

2. レーザー距離計による3次元変位計測の概要

2.1 計測の目的

NATMの計測Aでは、例えば図-1に示す測定点を吹付けコンクリート硬化後に設置し、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、DIパターンの2車線道路トンネルでは約2.5時間かかるため、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となる。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支保工設置直後から連続的に自動計測することとした。

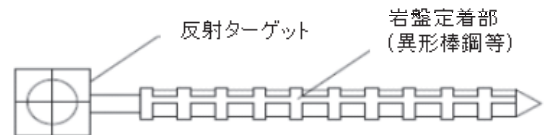


図-1 計測Aの測定点の一例²⁾

2.2 3次元変位計測の概要

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, $L1(t), L2(t), L3(t)$:

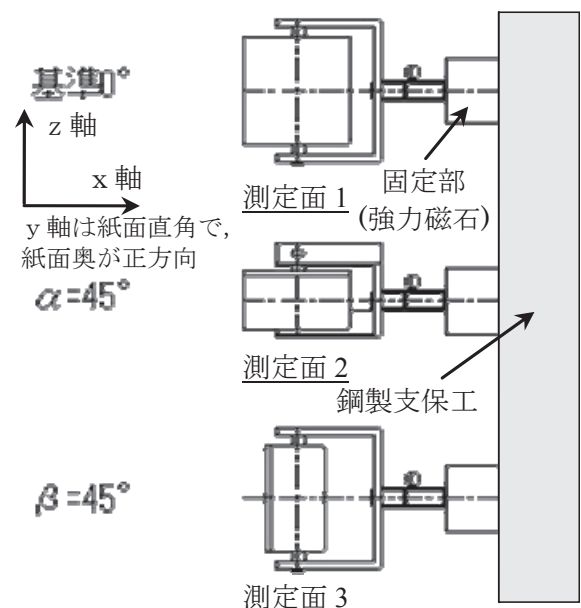


図-2 3次元変位計測の測定点の一例³⁾

1. 建設事業本部 土木事業統括部 トンネルT 2. 東北支店 郡山浄水場作業所

それぞれ時刻 t での各測定面までの水平距離、 $L1(t_0), L2(t_0), L3(t_0)$: それぞれ初期値とした時刻 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。

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。このため、測定点の時刻 t における変位を求めるには、数秒から数十秒の時間を要する。よって、本計測では、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. 室内精度試験の結果

3.1 室内精度試験の概要

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: $100 \times 10^{-6} / \text{mm}$)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 $\pm 1.0 \text{mm}$ 以内)である。変位は水平、鉛直とも $0 \text{mm} \sim 50 \text{mm}$ 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。

3.2 精度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° の場合の試験結果を図-3 に示す。なお、各測定値は 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。図-3、表-1 より以下のことが分かる。

①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のばらつきは、標準偏差 σ で 0.4mm 以内であるが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 $\pm 1 \text{mm}$ 以内で水平距離を測定できる。

②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。

③測定距離 15m 以内で、測定面の傾斜角が 45° から 90° 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。

4. まとめ

本報では、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次元変位を把握するための簡易な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可能性を示した。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の安全管理に適用し、簡易な地盤変位の計測手法として実用化を進めていく予定である。

【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，pp.1269-1270，2012.
- 4) 寺島佳宏，小川勲，熊谷幸樹，松田浩朗，楢岡民幸：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.

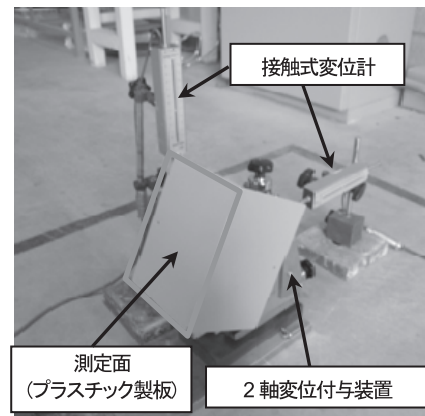


写真-1 測定面と変位付与装置

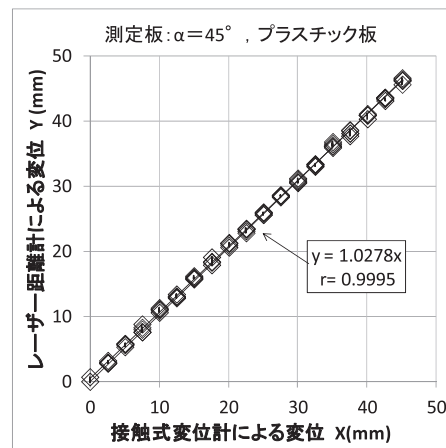


図-3 測定面が 45° の場合の試験結果, $L=15 \text{m}$

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