

トンネル切羽の不連続面の走向・傾斜を安全に測定するためのシステム開発と現場実証実験

鉄建建設(株) 正会員 ○中原法久 小山俊滉 舟橋孝仁 宇田誠
マック(株) 宮地順吾 宮原宏史

1. はじめに

山岳トンネル工事では、掘削するたびに变化する不均質な地山に対応しなければならない。そのため、切羽観察として、掘削直後の地山の状態を観察し、切羽の自立性、地質とその分布、風化・変質の状態、割れ目の間隔・状態・方向性、湧水状況等について調査するとともに、切羽状況のスケッチや写真撮影を行い記録する。岩盤の性状を把握するために節理や層理等の不連続面の走向・傾斜を把握することは重要であるが、従来のクリノメーターを用いて切羽に近づいて計測する方法は、切羽の肌落ち等に遭遇する危険を伴う。また、切羽上部の不連続面の走向・傾斜の測定は困難であるため、實際上走向・傾斜の測定は頻繁には行われていないことが問題であった。

そこで筆者らは、トンネル現場に従事する技術者が、日常の切羽観察時において、切羽から離れて任意の箇所の走向・傾斜を測定できる安全な方法で、かつ容易に測定できる方法について検討を行った。

本稿では、著者らが開発した、走向・傾斜測定システムの概要と現場での実験結果について報告する。

2. 走向・傾斜システムの概要

走向・傾斜測定システムによる測定概念図を図-1に示す。測定に使用する測量機器は、トンネル坑内の変位計測や測量、掘削管理、支保工建込み管理等に使用するトータルステーション（以降、TSと呼ぶ）を用いている。測定は、測定者が専用のタブレット端末を操作することにより、TSから照射されるレーザー光を誘導し、測定対象とする不連続面上の任意の3点をそれぞれ指定する。なお、計測する3点は自由に指定できるため、不連続面の形状や大きさ等に応じてその都度対応は可能である。タブレット画面の測定開始ボタンを押し、指定した3点をTSにより計測し、それぞれの3次元座標を取得する。

そして、走向・傾斜は3点の3次元座標をパソコン内部で計算処理し、面のデータに変換される。走向・傾斜の測定結果は、即座にタブレット画面に表示され、その場で確認できる。結果のデータは、測定時の基本情報（測定日時、測点、測定位置、座標等）と共にシステム内に保存される。タブレット画面に表示される走向・傾斜の結果は、以下の2パターンで表現される。

(a)地質学の分野で従来から用いられる北（真北）を基準とした表現方法。

(b)トンネルセンター方向（トンネル掘削方向）を基準とした表現方法。

(a)は、いわゆる、「走向・傾斜」で、地質縦断図や平面図の作成や、トンネル全体の地質構造の把握等に用いることができる。(b)は、トンネルセンター方向を基準とした表示となっているため、現場で従事するトンネル技術者や作業員でも切羽面に対して直感的に、かつ容易に不連続面の姿勢（流れ目や差し目、方向）が理解できるようになっている。

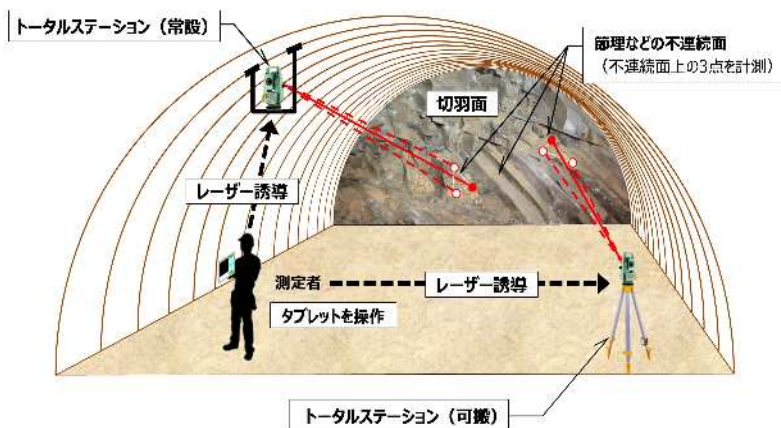


図-1 走向・傾斜測定システムによる測定概念図

3. 現場実証実験

3.1 実験概要

開発したシステムを用いて現場環境で実証実験を行った。実験は不連続面に見立てた硬質発泡ウレタンボード（以降、UBと

キーワード 山岳トンネル、切羽、肌落ち、不連続面、走向・傾斜、安全性向上

連絡先 〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町2-5-3 鉄建建設(株)土木本部 TEL:03-3221-2298

呼ぶ)と実際の切羽面(今回は、鏡吹付けコンクリート面で実施)を使用した。走向・傾斜の測定は、UBではクリノメーターと本システムの両手法で測定を行い、双方のデータの比較を行った。また、切羽面を使つての測定では本システムのみで実施し、操作性、有効性等について検証を行った。写真-1に走向・傾斜の測定に使用したUBの設置位置(①~②)および切羽面の測定位置(③~⑤)を示す。なお、測定は切羽から約43m離れた箇所にTSを設置し、タブレット操作は切羽から約10m離れた箇所より実施した。UBはそれぞれの設置位置において、ボードの向きや傾きを変化させた。

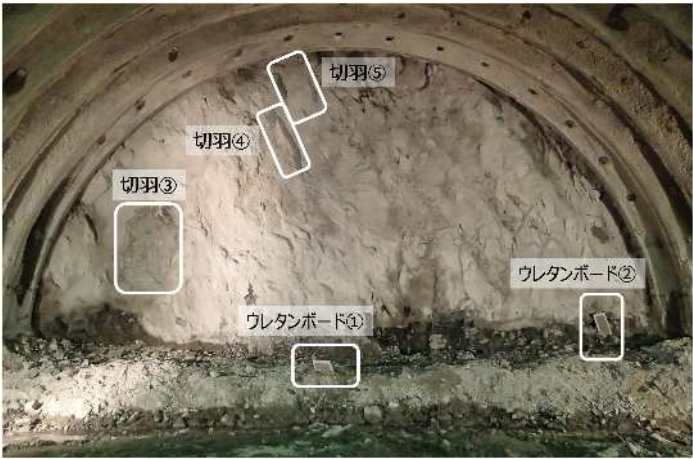


写真-1 ウレタンボード設置位置および切羽面測定位置

3.2 実験結果

表-1にウレタンボードを用いた走向・傾斜の測定結果を示す。なお、クリノメーターの読み値は磁北を基準とするため、測定を行った地域周辺の偏角(8°)

表-1 ウレタンボードを用いた測定結果

により補正を行っている。トンネルセンター位置における測定結果では、本システムにより測定した走向・傾斜とクリノメーターによる測定値は概ね一致しており、本システムでもクリノメーターと同等の測定結果が得られることが確認できた。一方、トンネル右端位置(鋼製支保工の近傍)における測定結果は、走向の値に5°程度の誤差が生じた。これは、測定が鋼製支保工近傍で行われたため、少なくとも鋼製支保工(鋼材)の磁性の影響を受けたことによるものと考えられる。

測定位置 (切羽~TSの距離:43m)		硬質発泡ウレタン ボードの姿勢		北基準		トンネルセンター基準	
				走向	傾斜	走向	傾斜
		ボードの向き	差目/流目	上段値(システム値)	下段値(クリノメーター値 [※])	システム値	
①-1	トンネルセンター		差目	N16°E	68°SE	CL87°右	68°左差目
				N16°E	70°E		
①-2	トンネルセンター		差目	N73°E	69°SE	CL36°左	69°右差目
				N72°E	71°E		
①-3	トンネルセンター		差目	N46°W	66°NE	CL24°右	66°左差目
				N44°W	67°E		
②-1	トンネル右端 (鋼製支保工付近)		流目	N7°W	73°W	CL65°右	73°右流目
				N11°W	74°W		
②-2	トンネル右端 (鋼製支保工付近)		差目	N53°E	77°SE	CL56°左	77°右差目
				N48°E	80°E		
②-3	トンネル右端 (鋼製支保工付近)		流目	N90°E	40°N	CL20°左	40°左流目
				N88°E	37°N		

※クリノメーター値:クリノメータにより測定した値(磁北基準)を偏角8°で補正した値

表-2 切羽面で測定した走向・傾斜結果

次に表-2に切羽面で測定した走向・傾斜結果を示す。タブレット操作は切羽から離れた箇所より行ったが、それぞれの測定面③、④、⑤において面の形状に応じて任意の3点を指定することができ、走向・傾斜を得ることができた。また、同時にトンネルセンター基準表示で測定面の姿勢が定量的に把握でき、実施の状況と照らし合わせても整合は取れており、測定の有効性が確認できた。

測定位置 [概略寸法] (切羽~TSの距離:43m)		北基準		トンネルセンター基準	
		走向	傾斜	走向	傾斜
③	切羽面 [1.5m×1.0m]	N15°E	87°NW	CL87°右	87°右流目
④	切羽面 [1.2m×0.3m]	N37°W	76°SW	CL35°右	76°右流目
⑤	切羽面 [0.9m×0.6m]	N22°E	81°SE	CL87°左	81°右差目

4. まとめ

- (1) 操作はタブレット画面で照射箇所を確認しながらレーザー誘導を行い、測定開始ボタンを押すのみであるため、測定に要する時間も短く、日常に行う切羽観察時にも十分活用できる。
- (2) レーザー照射方向(視準方向)と平行に近い、小さく細長い測定面は、任意の3点を指定するための調整に若干の時間を要したが、問題なく測定できる。
- (3) 本システムによる測定値は、座標値により算出するため、磁性の影響を受けず正確な走向・傾斜が得られる。
- (4) トンネルセンターを基準とした走向・傾斜のタブレット画面の表現は、不連続面の姿勢(方向、傾き、差し目、流れ目)を、定量的に分かりやすく、実際の不連続面と視覚的に比較しても正しく表示できている。

今後、本システムを掘削中のトンネル現場に導入し実用性の検証を行う予定である。