

トンネル切羽前方の地山評価に用いる天端傾斜計の現場運用結果

大成建設(株) 正会員 ○谷 卓也 青木 智幸 工藤 直矢
正会員 加藤 宏征 藤本 昭弘 三隅 宏明
西日本高速道路(株) 正会員 山下 学

1. はじめに

山岳トンネルの施工においては、地表からの調査ボーリングや弾性波探査などによって、トンネル計画線上の断層や地層境界などが調査される。しかしながら、技術的な制約や経済性などの理由から地質状況の完全な把握は難しく、例えば大土被り下での探査では情報量や精度が低下する。また、坑内からの弾性波探査でも切羽前方地山の予測は可能であるが、探査コストや施工の進捗の遅延といった問題がある。

著者らは、施工中に実施される日常管理計測のように、トンネル天端生じるトンネル軸方向の傾斜角度の変化を、一定の位置間隔で連続的に計測することで、切羽前方 20 m までの地山評価を行う手法を開発した^{1),2)}。本手法およびこの傾斜計測システムを「TT-Monitor(Tunnel Tilt Monitor)」と称している¹⁾。特に切羽前方の地山状況が不良な場合、その影響を受けて直近の計測点における傾斜角の変化が大きくなる。この傾斜角の変化量のトレンド分析により、これまで 3 現場において地山不良化の兆候を事前に捉えることができた²⁾。

本報では、今後の現場展開を進めるために開発した普及型天端傾斜計(写真-1, 表-1)の仕様や特徴を述べる。また、この傾斜計を新名神箕面トンネル東工事の上り線の 100 m 区間で運用して得られた傾斜角の連続データと、坑内変位とを比較・分析した結果について報告する。

2. 普及型天端傾斜計の特徴

この天端傾斜計は、外管と内管で構成される(図-1)。外管の外径は 45mm であるため、ロックボルトと同径の孔にモルタルを使って固定できる。また、軽量で扱い易いため、作業員一人で安全に設置作業が可能であり、施工サイクルにもほとんど影響を与えない(図-2)。内管には MEMS 式小型傾斜計とデータロガー、bluetooth 機器等が内蔵されており、外管の内部で一体化した状態で設置される。内管は防水・防塵仕様であり、切羽からの距離が 15 m となった時点で回収し、盛替えて再び利用する。地山評価には、傾斜計を 5 m 間隔で設置することが推奨されるので、一切羽当たり 3 台必要である。傾斜計測システムは、坑内にパソコンを必要とせず、タブレット端末で機器制御とデータ収集を行うため、外部電源や一切のケーブル養生が不要である。

3. 現場運用結果

天端傾斜計の運用は、土かぶりが 50~70 m、中生代ジュラ紀の頁岩主体の約 100 m 区間において実施した。図-3

表-1 普及型 TT-Monitor の仕様

外径(mm)	42(外管), 34(内管)
長さ(cm)	60(外管), 37(内管)
質量(kg)	0.8
測定範囲(°)	±15
測定分解能(°)	0.001
動作温度(°C)	-10~80
電源	Li-ion電池
動作電圧(V)	3.1~4.4
メモリ	EEPROM
記録容量	2,000, FIFO
測定インターバル	1, 2, 3, 5, 10, 20, 30min
無線規格	Bluetooth (Class 2)

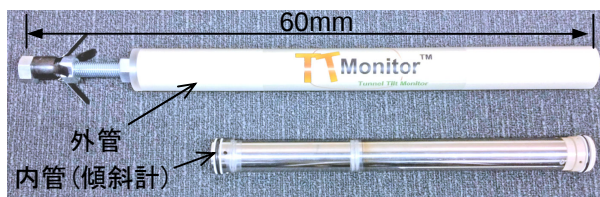


図-1 TT-Monitor の外観

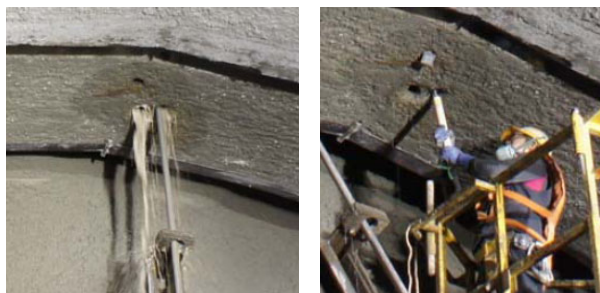


図-2 作業員による TT-Monitor の設置状況

キーワード 山岳トンネル, 傾斜計, 地山評価, 前方予測, 天端沈下, 不良地山

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社技術センター TEL045-814-7236

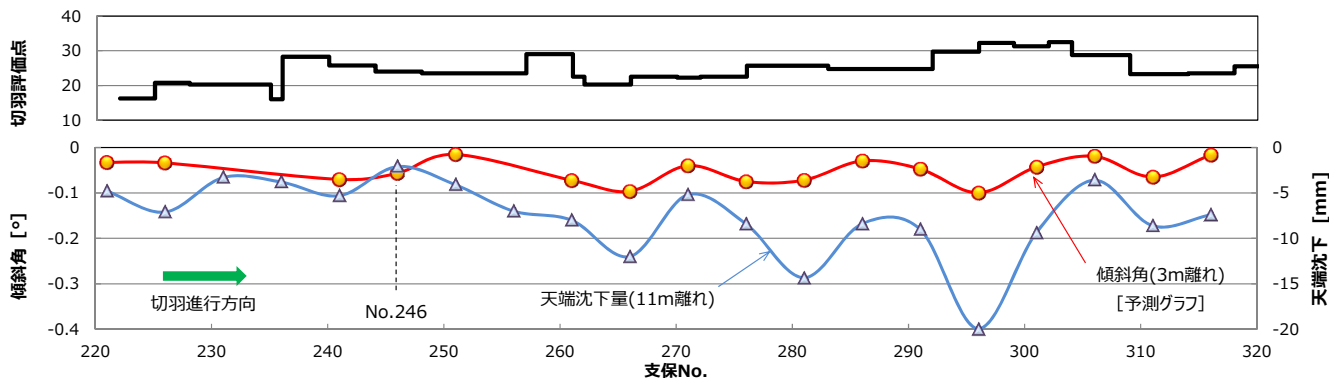


図-3 坑内変位と傾斜角 (変化量) のトレンド

天端沈下量について、横軸を支保番号 (トンネル距離, 支保のピッチ 1.0 m) のグラフとして示す。

運用区間は、切羽評価点が概ね 20~30 点程度の D 級相当の地山であった。長尺先受け工等の補助工法が採用され、切羽 11 m 離れにおける天端沈下量が 20 mm を超えた計測断面はない。また、切羽離れ 3 m の傾斜角のトレンドに顕著な変化がみられた箇所はなく、全般的に 0.1° 未満の小さな値が継続する結果となった。坑内計測においても、大きな変形挙動を生じるような地山不良箇所はなかった。

4. 考察

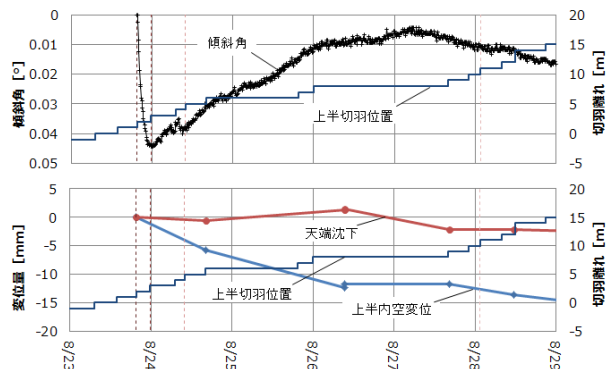
今回の運用は、天端傾斜計測による切羽前方地山の予測効果が発揮され難い、急激な地山変化の少ない地山が継続する区間で行われた。本手法は、切羽前方地山の剛性の差異が大きい場合にその変化の兆候を見いだすが、今回は切羽 3 m 離れの傾斜角のトレンドが切羽 11 m 離れの天端沈下量 (ほぼ収束値) の傾向をよく捉えており、計測点近傍の地山挙動をわずか 2 m の掘削後のデータで予測できることが確認できた。ただし、図-4(a) に示すように、切羽離れ 3m 以降に天端が上昇に転じる (同時に傾斜角も減少する) 挙動が観測された箇所では、その傾向は一致しなかった。切羽観察では下半部が硬く上半は変質して亀裂の多い状態であったことから、内空変位が卓越してこのような変形挙動となった可能性がある。通常は図-4(b) に示すような時間変化図が得られる。図-5 は切羽 11 m 離れの天端沈下と切羽 3 m 離れの傾斜角の関係であるが、両者には正の相関がみられた。

5. まとめ

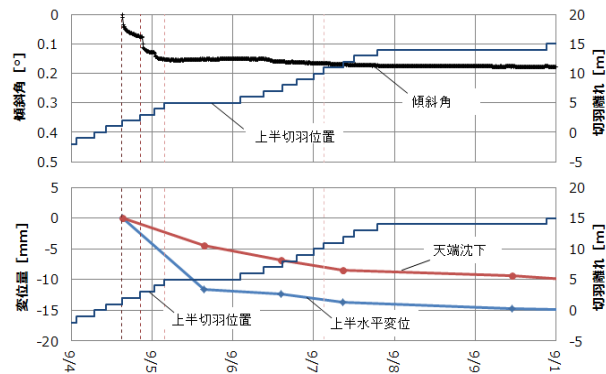
今回の普及型天端傾斜計の現場運用では、地山変化の差が小さく、予測グラフもそれに応じた傾斜角のトレンドを示した。切羽前方の地山予測という点では期待した結果を得られなかったが、切羽進行 2 m の傾斜角のデータで、切羽近傍の地山挙動が早期に評価可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 谷卓也ら：天端傾斜計によるトンネル切羽前方の地山評価手法の開発：大成建設技術センター報 No. 45, 2012.
- 2) 谷卓也ら：トンネル天端の傾斜計測による切羽前方地山の予測可能性, 土木学会第68回年次学術講演会, III-244, pp. 487-488, 2013.



(a) No. 246 計測断面



(b) No. 276 計測断面

図-4 坑内変位と傾斜角 (変化量) の時間変化

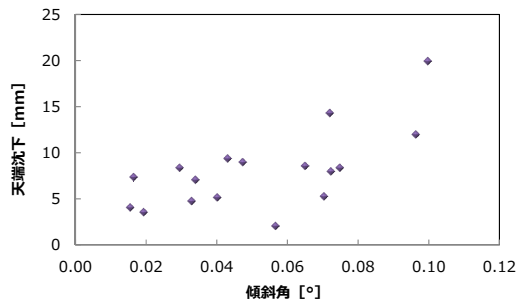


図-5 天端沈下と傾斜角の関係 (絶対値)