

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

大成建設 正会員 ○谷 卓也 青木 智幸 中原 史晴
大成有楽不動産 名倉 正法

1. はじめに

山岳トンネルの施工において、施工の効率性や安全性を確保するためには、施工中の坑内から実施する計測や探査によって切羽前方の地山状況を予測する必要がある。土かぶりが大きくなるとその重要性も増す。著者らは、トンネル坑内から行う探査法について切羽前方 5～20 m の近い距離を探索対象とする予測手法「TT-Monitor (Tunnel Tilt Monitor)」を開発し、切羽近傍に生じるトンネル天端の僅かな傾斜を現場で計測し、この手法による評価精度の検証を進めてきた^{1), 2)}。その結果、地山の不良化を示唆する情報を事前に得られる可能性を確認できた。しかし、数値解析検討で得られるような不良化傾向を示す予測グラフのトレンド^{3), 4)}と比較して、現場計測では明瞭なトレンドが得られない場合があることも分かった。本報では、良好な地質区間と脆弱な地質区間において、切羽前方地山の地質を評価する予測グラフが示した地山不良化のトレンドについて、実際の地質状況との対応を比較・考察し、本手法による予測可能性についての課題を述べる。

2. 計測結果

さがみ縦貫道路葉山島トンネル工事で観測された坑内変位と天端傾斜計測による予測グラフを、概ね良好な地質区間であった TD540～660 と脆弱な地質区間の TD1390～1510 について、それぞれ図-1 と図-2 に示す。

3. 考察

(1) 良好な地質区間

図-1 に示されている天端沈下の最終値は、およそ 4 mm から 12 mm の間に分布し、傾斜角度と比較して地質状況の変化が分かりづらい結果となっている。図中、b 区間と示されている TD599 から 609 間においては、天端沈下が急に増加し、比較的短区間で地山が不良化したことがわかる。実際、TD

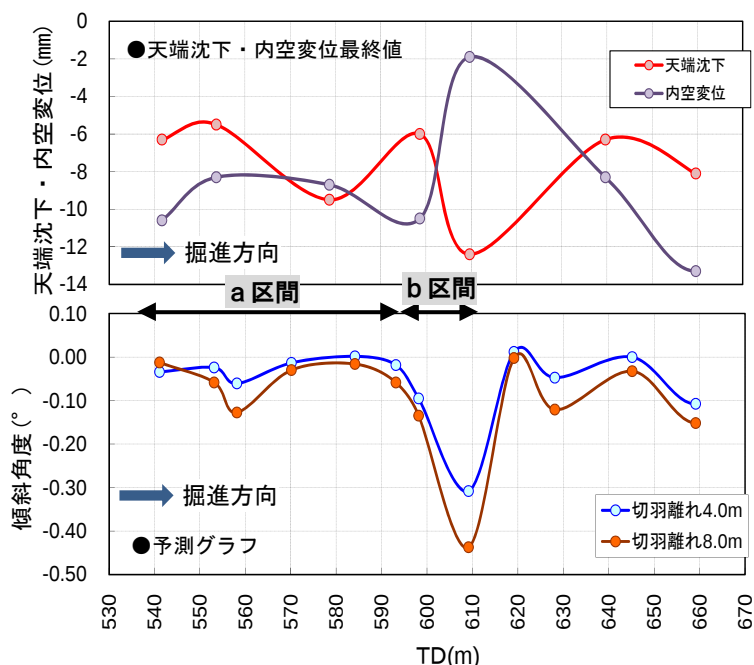


図-1 良好な地質区間における予測グラフと坑内変位 ¹⁾に加筆

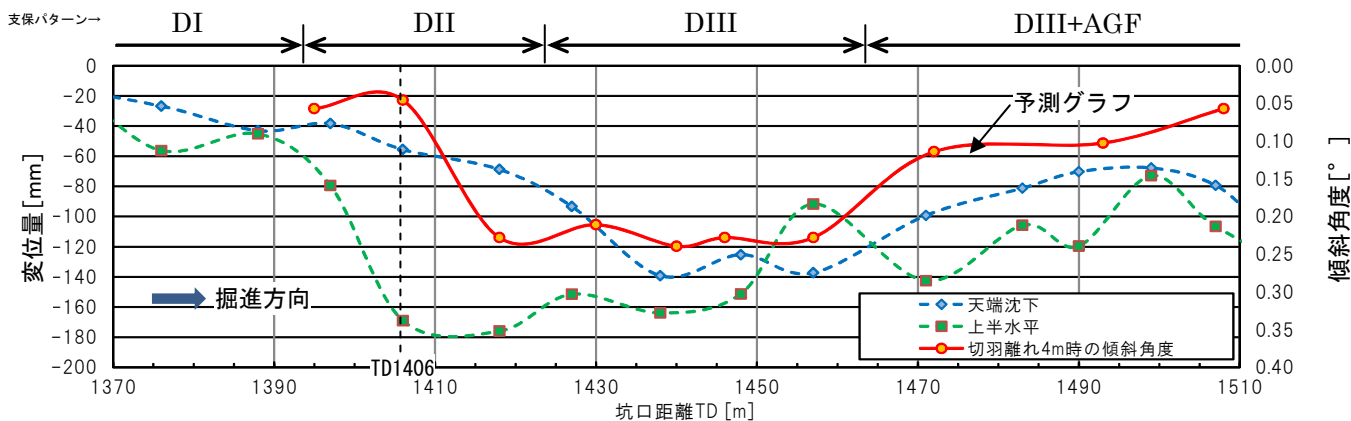


図-2 脆弱な地質区間における予測グラフと坑内変位 ²⁾に加筆

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

599 近傍の切羽評価点は 30 点前後で推移していたが、TD609 近傍のみ局所的（数メートル程度）に地質状況が悪かった。一方、図-1 中「内空変位」と示されている上半水平変位の最終値は、b 区間では天端沈下との傾向は一致せず、天端が押され内空が広げられる変形モードとなった。予測グラフによる天端傾斜角度変化については、a 区間では TD555 付近でやや傾きが大きくなったが、その後 TD570 では元に戻り、顕著な傾斜角度の変化とはならなかった。一方、b 区間では TD593 を境に予測グラフが鋭角的に下降し、TD609 で最大（絶対値）となった。TD609 は天端沈下が最大（絶対値）となった位置と一致する。切羽離れ 4 m と 9 m の違いによるトレンドの差異は無い。

切羽前方の地山予測という観点で見ると、TD609 近傍の不良地山を TD593～598 で捉えていると言える。切羽離れ 4.0 m においてこの不良化を予測しているとすれば、切羽が TD604 の時不良箇所の手前 5 m で予測できた事になる。TD593 で判断できるとすれば、10m 手前の不良化予測となる。

(2) 脆弱な地質区間

図-2 においても、上半水平変位と比較して天端沈下と傾斜角度の相関性が高いことが分かる。ただし、天端沈下の最終値は 20～120 mm の間に分布しており、図-1 で示した区間と比較すると約 10 倍大きい変位量である。この区間では、切羽評価点は全て 20 点以下であり、支保が DⅢになって直の TD1430 より先はほぼ 10 点以下であった。

図-2 中、支保が DⅡ区間の TD1406～1418 では、予測グラフである切羽離れ 4m 時の傾斜角度の変化は天端沈下と比較してその傾向が異なり、傾斜角度の方がより鋭角的な変化である。この傾斜角度の変化は、前方の TD1430 から先の地山不良化を捉えたと考えられる。実際 TD1406 では、掘削が 20 m 進行して切羽が TD1430 近傍を過ぎた後、内空変位が急増し、変位が収束するまでにさらに 100 mm 以上の変位が増加した。天端沈下は内空変位ほど変位が増加しなかったため、TD1406 と TD1418 では上半水平と天端沈下の最終値が大きく異なっている。

傾斜角度については、切羽離れ 4m で予測グラフを作成しており、切羽離れ 4 m 以降の変位の影響は受けていない。TD1406 における傾斜角度が小さいのはこの理由による。その点、TD1418 における傾斜角度は同じ切羽離れ 4 m において明らかに傾きが増加している。この時点で TD1430 より前方の切羽評価点が 10 点を切るような脆弱な地質状況の予測ができていたとすると、約 10 m 手前でこれを予測できたことになる。

4. 前方地質予測の課題

本手法では、不良化の度合いである地質変化のコントラスト（地盤の変形係数の比）が大きいほど、傾斜角度の変化が大きい事が数値解析検討で明らかになっている⁴⁾。傾斜角度の大きさは、そのまま地山の良し悪しを評価しないことに注意が必要である。図-1 で示したようなデータが得られる良好な地山区間においては、不良地山が一定の幅で前方に存在する場合、その不良化の事前予測は比較的容易である。一方、図-2 の計測区間のように脆弱な地質区間においてさらに悪い地山が存在するという場合には、内空変位の初期変位速度が小さくても、傾斜角の変化が大きい場合には前方で地質状況が悪化する可能性があり注意が必要である。また、脆弱な地質区間では地質の不良化の程度（地盤の変形係数比）が相対的に小さくなり、傾斜角度の変化も小さくなる点にも留意すべきである。

今後は、現場の日常管理計測結果と連携させ、総合的に地山状況の判定や予測を行えるよう、計測結果や判定結果による切羽近傍および前方の地山状況を視覚的に分かりやすく表示するシステムの開発も進めていきたい。

参考文献

- 1) 工藤直矢ら：天端傾斜計によるトンネル切羽前方地山予測，第 67 回土木学会年次学術講演会講演概要集，III-095，pp.189-190，2012。
- 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地質評価，資源素材学会 2013 年春季大会講演集，No.2516，pp.280-281，2013。
- 3) 工藤直矢ら：トンネル天端傾斜計測による切羽前方地山変化予測に関する数値解析検討，第 47 回地盤工学研究発表会発表講演集，G-02，pp.1263-1264，2012。
- 4) Tani, T., et al: Analytical study on the effectiveness of ground condition prediction ahead of a tunnel face by measuring the inclination at the tunnel crown, The 13th Japan Symposium on Rock Mechanics & The 6th Japan - Korea Joint Symposium, JKJS-13, pp.887-892, 2013。