

## 天端傾斜計によるトンネル切羽前方地山予測

大成建設株式会社 正会員 ○工藤 直矢 青木 智幸  
大成建設株式会社 正会員 中原 史晴 上岡 亮一

### 1. はじめに

土被りの大きい山岳トンネルでは、掘削対象地山の状態を精度良く事前に調査することは難しい。そのため、施工時に切羽前方の地山状況を簡易に知ることができれば、施工の効率性や安全性の向上に大きく貢献できる。著者らは、掘削作業を妨げることなく、日常の施工管理レベルで実施可能な切羽前方地山予測手法を開発してきた。本手法は、切羽近傍の天端部に傾斜計を設置して、トンネル軸方向の傾斜角度を計測することで、迅速かつ高精度に切羽前方地山状況を予測するものである<sup>1)</sup>。本報では、さがみ縦貫葉山島トンネルでの計測結果に基づき、本手法による地山変化の早期検出および前方予測を検証した結果について述べる。

### 2. 予測手法の原理と計測装置

予測手法の概念図を図1に示す。傾斜計は、概ね切羽離れ2mの位置に鉛直に削孔を行い、孔内に固定・設置する(図1(a))。傾斜計設置段階では、地山の变形は進行途中であるが、傾斜計設置位置から切羽が離れると、地山の变形は収束する。すると、図1(b)に示すように、傾斜角度は切羽側に増加する。この傾斜角度の増加量は、設置位置周囲の地山の物性により異なる。この性質を利用して、切羽前方の地山の硬軟を予測するものである<sup>2)</sup>。

### 3. 予測手法の特徴

トンネルの三次元逐次掘削解析を実施し、下記に示す本予測手法の特徴を明らかにした。

- ① 切羽が軟弱部に到達する約10m程度手前の範囲から、前方の軟弱部の影響を受けて、単位掘進あたりの傾斜角度の増加量が大きくなる<sup>1)</sup>。
- ② 各計測位置の天端傾斜は、天端沈下と比較して切羽離れがより小さい段階で収束する<sup>2)</sup>。

### 4. 葉山島トンネルでの適用結果

#### 4-1. 計測区間の概要

さがみ縦貫葉山島トンネルは、相模原市城山町に位置する全長2100m、掘削面積67m<sup>2</sup>の山岳トンネルである。天端傾斜計による計測区間は、186m区間の計14測点である。同区間は主に頁岩および砂岩が分布する地質であり、実施支保パターンはD I-bとなっている。

#### 4-2. 計測結果

図2に、いくつかの計測断面の天端沈下と天端傾斜角度の経距変化を示す。左上のグラフは三次元解析<sup>2)</sup>をもとに作成したものであり、天端沈下・傾斜角度ともに、収束値を1として正規化した値で示した。この図から、天端沈下よりも傾斜角度の方が、切羽進行が早い時期で収束することが分かる。具体的には、切羽離れ4m時点で天端沈下変化が43%であるのに対し傾斜角度は57%である。切羽離れ8m時点では、天端沈下78%・傾斜角度86%となる。その他の5つのグラフは、実測データである。解析結果と同様に、傾斜角度の方が早期に収束する傾向が明らかである。したがって、天端傾斜を測定することにより、掘進早期の測定値から計測位置周辺の地山変化を早期に予測できる可能性が確認できたと考える。

図3に坑内変位と天端傾斜角度の距離程に沿った分布を示す。天端変化および内空変位のは最終収束値であり、天端傾斜角度変化は切羽離れ4m時点(設置後2掘進

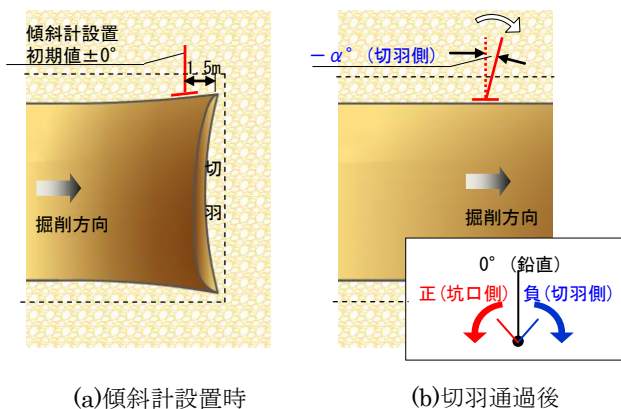


図1 予測手法概念図

キーワード 山岳トンネル, 切羽前方地山予測, 天端傾斜計

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)技術センター土木技術研究所 TEL:045-814-7236

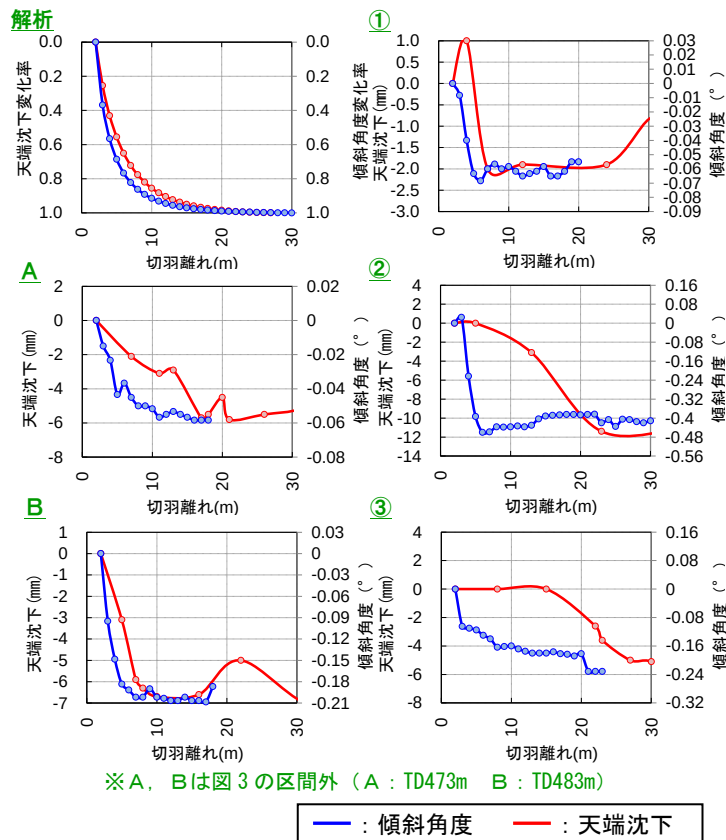


図2 天端沈下・傾斜角度の経距変化

比較的短区間で地山が軟弱になったことがわかる。一方、内空変位も約 2mm から 13mm の間で変化しているが、天端沈下が大きい区間と内空変位が大きい区間は必ずしも一致せず、変形モードが複雑に変化しているようである。

次に、天端傾斜角度変化による予測グラフに着目する。まず、a 区間を見ると、TD555m 付近でやや下降の傾向が見られたものの、その後 TD570m では元に戻り、顕著な傾斜角度の変化は見られなかった。この区間では、坑内変位との関係は明瞭ではない。

一方、b 区間では、TD593m を境に予測グラフが鋭角的に下降し始め、TD609m にかけては大きく下降した。TD609m は、傾斜角度が最大となった位置であり、天端沈下の最大位置と一致する。すなわち、傾斜角度は、内空変位よりも天端沈下と相関が強いと言える。さらに、TD593m から 598m にかけての天端沈下グラフの下降は、前方の地山が軟弱化する予兆を示している可能性が高い。10m 程度の計測間隔を取れば、このように切羽前方の地山変化の予兆を捉えられる可能性があると考えられる。

また、切羽離れ 4m to 8m の 2 本の予測曲線は、非常に類似した形状を呈している。切羽離れ 8m 時点では、各測点とも傾斜角度の変化が収束傾向にあり、概ね最終値と考えて差し支えない。このことから、各測点において、切羽離れが 4m (設置後 2 掘進後) と小さい段階で描いた予測グラフをもとに、早期に地山の硬軟を評価することが可能であると言える。

## 5. まとめ

施工中のトンネルにおいて天端傾斜計測を行い、切羽前方地山予測の可能性を検討した。その結果、天端傾斜変化が地山変化を掘進早期の段階で捉えることを確認した。また、切羽前方の地山変化の予兆を捉える可能性があることを確認した。今後もさらに適用事例を増やし、本計測手法の実用化を図る所存である。

## 謝辞

本実証試験に御協力いただいた、国土交通省関東地方整備局・相武国道事務所に感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 工藤直矢, 他: トンネル天端傾斜計測による切羽前方地山予測, 第 41 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.23-28, 2012.
- 2) 工藤直矢, 青木智幸, 坂井一雄: 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的検討, 第 47 回地盤工学研究発表会 (投稿中), 2012.

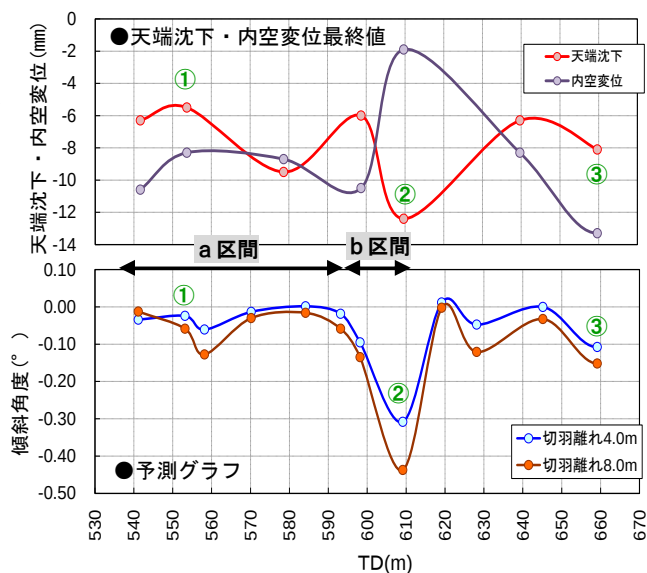


図3 坑内変位と天端傾斜

後) と切羽離れ 8m 時点 (概ね設置後 1 日経過) での傾斜角度を距離程に沿って曲線で結んだものである。

天端沈下は 4mm から 12mm 程度の間分布するが、変位の変化が大きい。特に、TD599m から 609m 間においては、天端沈下が急に増加し、