

AIを用いたトンネル切羽の岩判定について

【イノベーション部門】

柴崎 知令¹・中山 隆士²

¹関東地方整備局 高崎河川国道事務所 碓氷出張所 (〒370-0841 群馬県高崎市栄町6-41)

²関東地方整備局 長野国道事務所 工務課 (〒380-0902 長野県長野市鶴賀字中堰145)

山岳トンネルは、事前調査において正確な地質状況を把握し、設計（支保パターン等）するのは難しいことから、施工中にトンネル切羽を直接観察して地質を確認・再評価し、切羽の状況に応じた支保パターンを確定する作業が重要である。切羽での地質評価は重要なものであるが、施工現場では掘削作業の合間に目視観察を中心とした地質評価が行われており、評価の精度や定量化に課題がある。そこで、山岳トンネル工事における生産性の向上及び観察者の安全性向上を目的にトンネル切羽の情報を短時間で簡易な操作で高精度にセンシングする「切羽情報取得システム」の実証実験を行った。

キーワード 山岳トンネル，切羽，AI，地質評価

1. はじめに

山岳トンネルは、地中深くに構築されることから事前の設計段階の調査で、正確な地質状況を正確に把握するのは難しい。よって、施工中にトンネル切羽を直接観察して地質を確認・再評価し、切羽の状況に応じた最終的な支保パターンを確定する作業が行われる。

このように切羽での地質評価は重要なものであるが実際の施工現場では、トンネルの掘削作業の合間を縫った短い時間で目視観察を中心とした地質評価が行われており、評価の精度や定量化に課題がある。

そこで、山岳トンネル工事における生産性の向上を目的としてトンネル切羽の情報を短時間で簡易な操作で高精度にセンシングする「切羽情報取得システム」を採用し、トンネル切羽における地質評価項目のうちの主要な評価項目である「①岩質部の硬さ、②風化度、③割れ目の状態・間隔」に着目し、これら3項目を自動でセンシングして取得したデータを切羽情報取得システムで処理し、定量的に評価する。

得られた評価結果と従来手法による評価結果との比較検討を行い、有効性の評価を行った。

2. 工事概要

工事名称：山清路防災1号トンネル工事

施工者：株式会社安藤・間

施工場所：長野県東筑摩郡生坂村東広津地先

検証期間：令和元年11月～令和2年3月中旬

工事内容：

掘削延長 L=632.0m

掘削断面積 A=65m²

掘削方式 NATM（機械掘削方式）

3. 地質概要

本トンネル周辺の地質は、中新世中期の青木層を主体とする。青木層は砂質泥岩および砂岩で構成される海成層で、岩相によって細分化される。本トンネルの施工基面に出現する岩盤は、砂岩、シルト岩およびシルト・砂岩互層からなり、層理が発達するとともに岩相が繰り返し変化する。

一部で炭質部の挟在や偽礫として取り込まれたシルト岩が分布する（図-1）。また、向斜構造によって地層が逆転しており、走向は南北方向を示し西に約70°傾斜している。

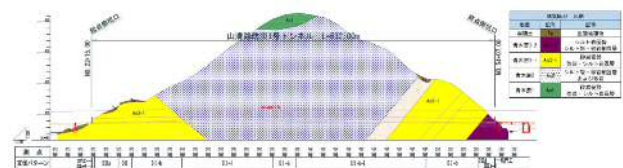


図-1 地質縦断面図

4. 切羽地質情報取得システム

(1) システム概要

a) 圧縮強度

AIの画像認識技術を活用して、デジタルカメラによる切羽画像と圧縮強度の関係を教師データとしてAI学習を行うことで、切羽画像から圧縮強度を算出する。

b) 風化度

切羽のマルチスペクトル画像から抽出されるスペクトル反射率曲線と風化度の関係を教師データとしてAI学習を行うことで、マルチスペクトル画像から風化度を算出する。

c) 割れ目間隔

ステレオカメラで撮影した画像から切羽の三次元形状を取得し、形状の変化点を割れ目として抽出する。

(2) データ取得方法

切羽でのデータ取得を短時間かつ効率的に実施するため、スペクトルカメラとステレオカメラ、ハロゲン照明などを搭載した計測車両を構成した(図-2)。タブレット端末を用いて車載のPCを通じて各計測機器に作業指示を出すことで短時間での切羽データの取得を可能とした。

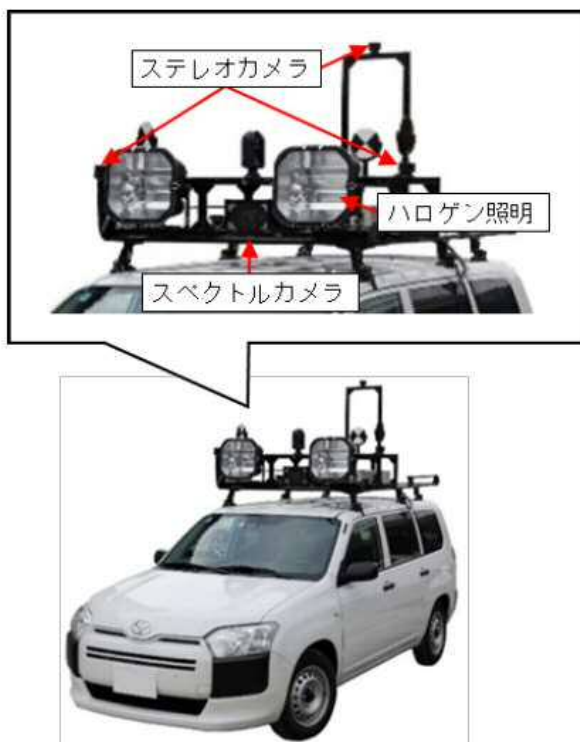


図-2 データ取得用の計測車両

(3) 現場実証の方法

切羽の掘削開始から約2ヶ月を「機械学習期間」として、教師データを用いたAIの機械学習を実施した。AI学習が完了した後、約2ヶ月を「適用・検証期間」としてシステムによる評価結果と従来の目視観察による評価結果を比較し、システムの評価精度を検証した。

(4) 教師データの取得

a) 圧縮強度

ポイントロード試験結果をもとに、切羽観察シート上の“圧縮強度”に示される評価区分に基づいて岩盤強度分布図を作成した(図-3(b))。数切羽～10数切羽程度のデータが蓄積した時点で作成した岩盤強度分布図と切羽写真を教師データとしてAI学習を行った。

b) 風化度

目視の切羽観察データをもとに、圧縮強度と同様に風化度区分図を作成した(図-3(c))。作成した風化度区分図と切羽画像を紐付けて教師データとしてAI学習を行った。

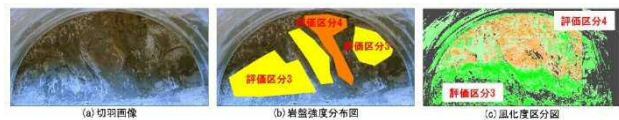


図-3 教師データ

5. 評価結果の検証

(1) 検証方法

AI学習が完了した後、本システムを用いて計26切羽で自動評価を行った。評価結果の比較は、切羽観察シートにおける“圧縮強度”、“風化変質”、“割れ目間隔”について行なった。従来手法と同様に切羽を天端、左肩部、右肩部の3つの領域に区分し、それぞれの領域について、評価区分が一致している場合、自動評価が正確に行われていると判定した。

また、自動評価結果を用いて切羽総合評価点を算出し、自動評価結果による目安の支保パターンと実際に選定した支保パターンの比較を行った。自動評価での切羽総合評価点と各支保パターンとの関係の範囲に選定した支保パターンが含まれている場合、自動評価結果が正確に行われていると評価した。

(2) 検証結果

a) 圧縮強度

圧縮強度は一致率100%となった。26切羽では、切羽全面で砂岩・シルト岩互層が出現した。砂岩優勢とシルト優勢の相対的な変化はあるものの、おおむね同様の地質が連続しており、評価結果の一致はこの地質

性状を反映しているものと考えられる。一方で、地山表面がにじみ湧水によって濡れていたり、手前側の鋼製支保工によって切羽に影が落ちている部分では、同じ岩種でも評価結果が局所的に異なる結果となった(図4)。これは、教師データを作成する際、表面が濡れた箇所や影が落ちている箇所を除外したためと考えられる。

b) 風化度

風化度は一致率88.5%となった。切羽画像と風化度の自動評価結果を比較すると、茶褐色を呈する風化部を精度良く捉えている(図5)。

一般的な切羽観察では、圧縮強度、風化変質および割れ目の間隔について、以下の基準に基づき判定している。

- ・劣悪な部分が30%以上を占める場合は、劣悪な部分の状況により評価する。
- ・劣悪な部分が10~30%の場合には、両者の中間ランクとする。
- ・劣悪な部分が10%以下の場合には、その他の良好な部分の状況により評価する。

検証期間では、図-5のように風化部と未風化部が混在して出現することがあった。目視観察では風化部の比率を正確に判定することは困難であり、担当者の主観による所が大きい。評価結果が不一致となった切羽は、この目視観察における定性評価が影響していると考えられる。

c) 割れ目間隔

割れ目間隔は一致率が64.1%となり、また、自動評価と目視観察で評価結果が大きく乖離することがあった。

一般的な切羽観察では、トンネル掘削によって切羽に凹凸を作るような明確なものを割れ目として判別しており、潜在的な潜在的な節理などは含まない。本システムでも、ステレオカメラで撮影した画像から切羽面の三次元形状を取得し、切羽の凹凸部、すなわち切羽岩盤で面の向きが不連続な箇所を割れ目と捉えている。

本トンネルは自由断面掘削機を用いて切羽を切削しているため、岩盤の凹凸が切羽表面に残りにくく、平滑に仕上がることが多い(図-6)。そのため、目視観察では、切削中の岩盤状況や近接目視、地層の連続性などを総合して割れ目の評価を行っている。それに対して、本システムでは、平滑に仕上がった切羽面では割れ目を判別できなかったため、評価結果の乖離が生じたと考えられる。

一方で、ブレーカ掘削により切羽面に凹凸が残っている箇所では、間隔5cm以下の細かな割れ目を捉えられている。

(3) 支保パターン

支保パターンの一致率は88%となった。評価結果が一致しなかった切羽は、前述の割れ目評価が大きく乖離した切羽であり、切羽評価点がこの影響を大きく受けたためと考えられる。

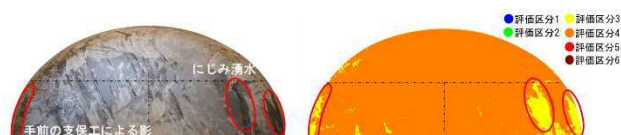


図-4 圧縮強度評価結果の不一致例



図-5 風化度自動評価結果の例

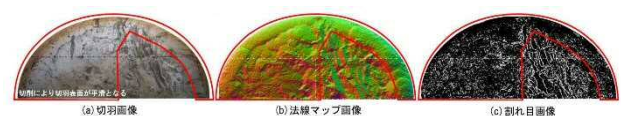


図-6 切羽表面が平滑となった例

6. まとめ

自動評価による岩盤の圧縮強度と風化度の評価結果は、目視観察と比べても大きく遜色のないものといえる結果となった。割れ目間隔の評価については、掘削後の切羽表面の仕上がり状況に大きく影響を受けるものの、割れ目の抽出は現時点でも行っている。発破掘削のような岩盤の明瞭な凹凸が切羽表面に残りやすい切羽で本システムの適用は有効と考える。

これまで、切羽観察担当者の主観に依存していた従来の切羽観察をより客観的に記録できるようになった。

今後は、実証実験は終了したがシステムの利用は継続し、定量的なデータとしCIMと連携を図り、データの保存および納品方法について検討していきたい。

最後にAIについて、完全に技術者の目の代わりとまではいかないが、技術者の主観とAIの客観的な記録を組み合わせることにより、生産性・安全性を向上させたい。

謝辞: 今回の実証実験は、新技術の現場実証等を技術提案として求める新技術導入促進(II)型工事の対象として、現場、発注者と連携して取組みを行った技術である。関係各位の方には、この場を借りて厚く御礼申し上げます。