

「切羽地質情報取得システム」 の現場適用事例

谷口 翔¹, 鶴田 亮介¹, 森田 亨², 森山 秀治³

¹安藤ハザマ 建設本部 先端技術開発部 土木技術開発グループ

²安藤ハザマ 広島支店 土木部 六条院トンネル作業所

³国土交通省 中国地方整備局 岡山国道事務所

山岳トンネルでは、トンネル掘削時に切羽を直接観察して地質を評価し、状況に応じた最適な支保パターンを設定する作業を行うが、これまでの切羽観察は、トンネルの掘削作業の合間を縫って短時間で行われる現場職員の目視観察による評価が中心であり、精度や定量化に課題があった。そこで、筆者らは、トンネル切羽の主要な地質情報である岩盤の圧縮強度、風化度、割れ目間隔を短時間に簡易な操作で高精度にセンシングし、定量的に評価する「切羽地質情報取得システム」を開発した。本システムを国土交通省中国地方整備局発注の六条院トンネルに適用して、自動評価結果と目視観察結果による評価を比較し、その評価精度の検証を行った。本稿ではその結果について報告する。

キーワード：山岳トンネル、切羽観察、AI、スペクトルカメラ、ステレオカメラ

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。そこで、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¹⁾。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、筆者らは、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」を開発した。

切羽地質情報取得システムは、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、取得したデータを専用のシステムで処理し、定量的に評価する。

本システムを国土交通省中国地方整備局発注の六条院トンネルに適用し、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

図-1 に六条院トンネルの現場位置図を示す。また、以下に工事概要を示す。

工事名称：玉島笠岡道路六条院トンネル工事

発注者：国土交通省 中国地方整備局

施工者：株式会社 安藤・間

施工場所：岡山県浅口市鴨方町六条院東～六条院中地内

工期：平成31年3月12日～令和3年3月31日

工事内容：

掘削延長 L=1,088m

掘削断面積 A=61.4 m²

掘削方式 NATM（発破方式）

坑門工 2基

道路改良 1式

3. 地質概要

図-2 に六条院トンネルの地質縦断図を示す。本トンネル周辺の基盤岩は中生代白亜紀～第三紀の中粒花崗岩および粗粒花崗岩が分布する。中粒花崗岩は粗粒花崗岩に比べて相対的に割れ目が多く、岩質は不均一なものが

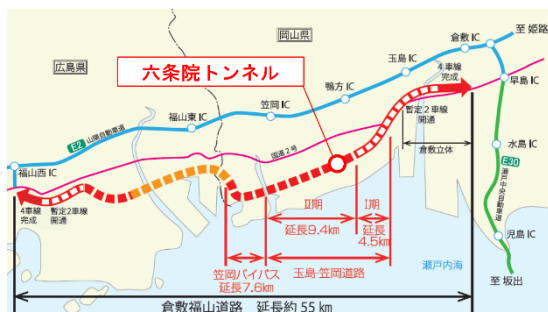


図-1 現場位置図

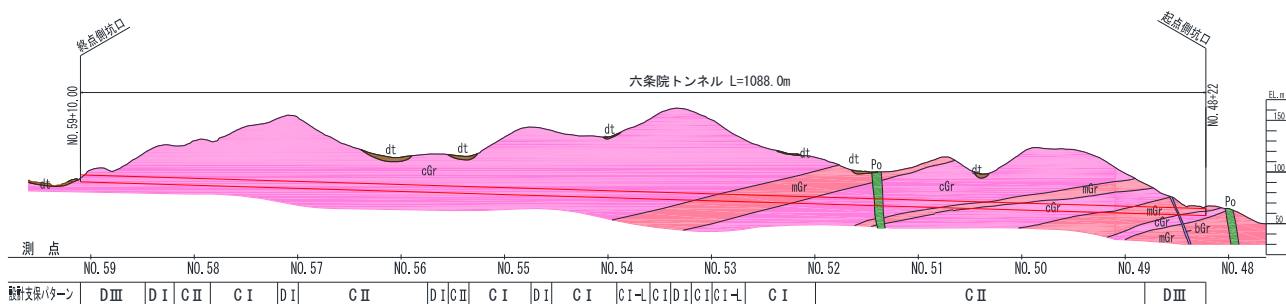


図-2 地質縦断面図

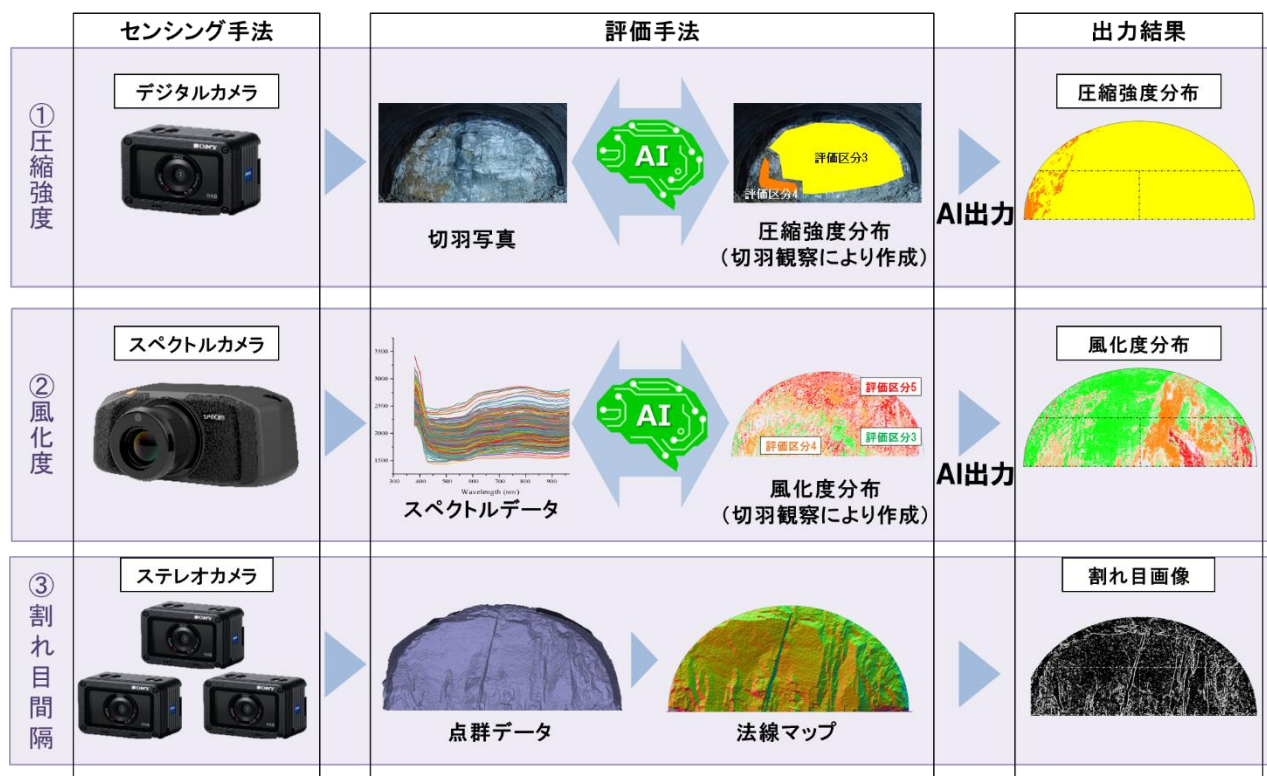


図-3 切羽地質情報取得システムの概要

多い。弾性波速度は中粒花崗岩が 4.4km/s, 粗粒花崗岩が 5.5km/s 程度である。

4. 切羽地質情報取得システム

(1) システム概要

図-3 に切羽地質情報取得システムにおける 3 項目のセンシングおよび評価手法の概要図を示す。

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。

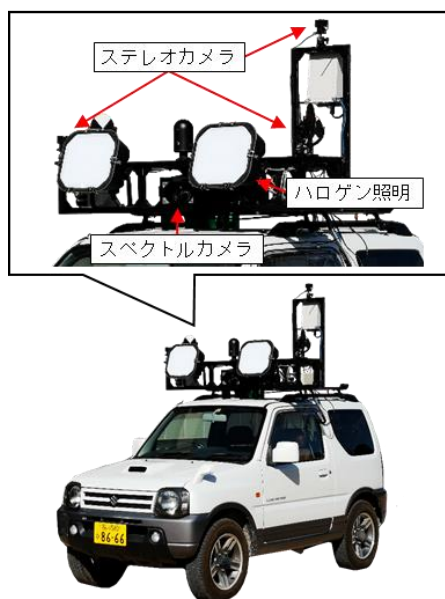


図-4 データ取得用の計測車両

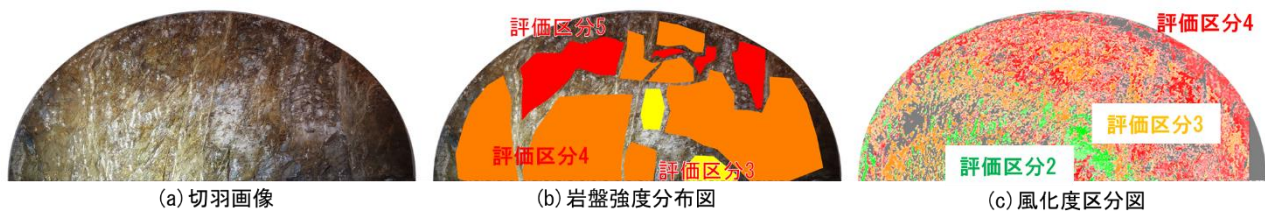


図-5 教師データの例

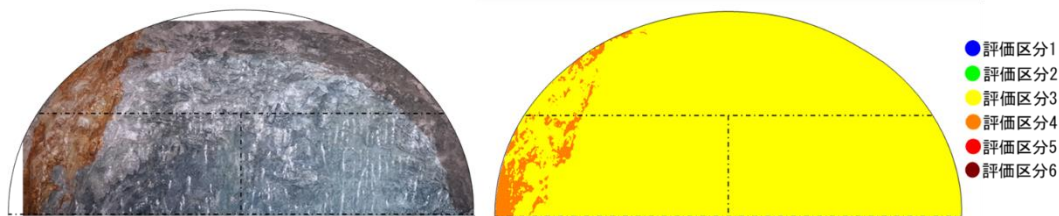


図-6 圧縮強度自動評価の例

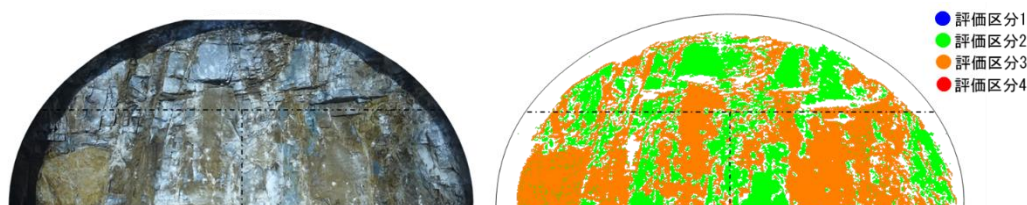


図-7 風化度自動評価の例

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。

風化度区分図を作成した（図-5(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。

(2) 現場での運用

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-4）。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。

(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4ヶ月を「適用・検証期間」として、本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-5(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、

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33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。

(2) 検証結果

a) 圧縮強度

圧縮強度は一致率 97%となった。図-6 に圧縮強度自動評価結果の例を示す。今回の検証に用いた 33 切羽は未風化の花崗岩を主体とし、部分的に弱～中風化の花崗岩が混在して出現した。未風化部と風化部は相対的に分布が変化するものの、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。

b) 風化度

風化度は一致率90%となった。図-7に風化度自動評価結果の例を示す。切羽の標準画像と風化度分布画像を比較すると、茶褐色を呈する風化部を精度良く捉えられて

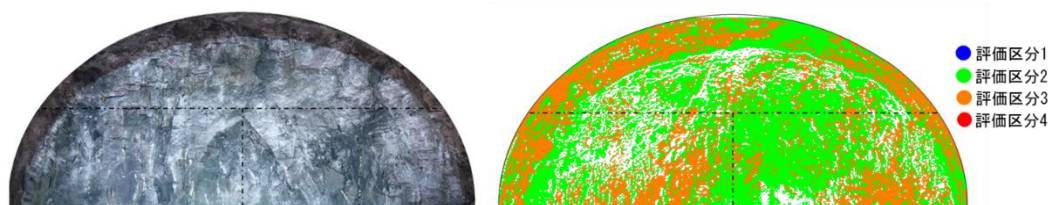


図-8 風化度評価結果の不一致例

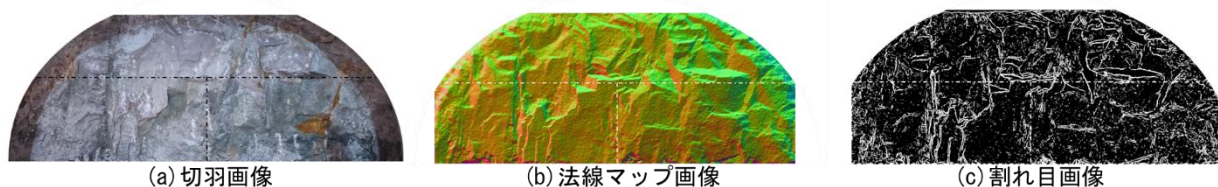


図-9 割れ目自動評価の例

いる。

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-8のように風化部と未風化部が不明瞭に混在する切羽が見られた。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。評価結果の不一致が見られた切羽は、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60%で、圧縮強度や風化度と比べて一致率が小さい結果となった。

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²⁾。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。

今回の切羽の場合、期間前半で見られた切羽岩盤は未風化部が比較的塊状をなし、切羽面に明瞭な凹凸が残されていたため、自動評価で割れ目を精度良く判定できていた(図-9)。この範囲における評価結果の不一致は、風化度の場合と同様に、目視観察者の主観との相違によるものと考えられる。

期間の後半の切羽では、未風化部と弱風化部が混在した地質性状を呈し、亀裂面以外の箇所で岩盤が破碎され

たため、切羽表面の凹凸が不明瞭となっている。目視観察では、このような切羽でも、近接しての観察やコソク時の抜け落ち状況などから複合的に判断して割れ目の評価を行っている。一方、自動評価の場合は正確に割れ目を判定することができず、このことが、自動評価結果と目視観察結果の一致率が低下した原因と考えられる。

6. まとめ

本システムによる切羽地質の自動評価は、岩盤の圧縮強度と風化度について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。割れ目評価については、割れ目の抽出は現時点で行えているものの、岩盤の地質性状に影響を受けるため、今後適用条件のさらなる検証やシステムの改良が必要である。

本システムにより、切羽の地質状況を定量的に評価することが可能となり、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、システムのさらなる改良を進めるとともに、新規のトンネル現場へ本システムを展開し、様々な地質条件に対する適用性を検証していくことで、山岳トンネル現場における生産性向上へつなげていく。

謝辞：本システムは、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。

参考文献

- 1) 日本道路公団：設計要領第3集，トンネル，pp. 86-89，1997.
- 2) 国土交通省近畿地方整備局：トンネル地山等級判定マニュアル，pp. 31-32，2016.