

土木山岳トンネルにおけるクラウド環境を活用した遠隔臨場の現場試行

安藤ハザマ 正会員 ○池村幹生 正会員 谷口 翔
フェロー会員 谷口裕史 正会員 鶴田亮介
山口大学 名誉会員 中川浩二 エム・ソフト 宮本淳生
筑波大学 正会員 松島亘志 日本システムウェア 正会員 野村貴律

1. はじめに

近年、建設現場では受発注者間の接触機会のデジタル化が推進されており、山岳トンネル工事においても、トンネル坑内の点検・検査業務における接触機会の低減を主とした生産性向上が求められている。

山岳トンネル工事は、切羽の進行に伴って施工箇所が移動し、作業区間が長くなること、地中深くに構築される性質上、通常の無線通信では電波が届きづらいことなどから、トンネル全線の詳細な状況を容易に把握し、施工情報の共有を効率化する手段がこれまでなく、発注者との現場臨場に時間と手間を要する現状がある。

また、山岳トンネルにおける切羽観察は、掘削作業の合間を縫った短い時間で、切羽近傍での目視観察を中心とした地質評価が行われており、その精度や定量化、安全性が課題となっている。地山等級の判定を行い、必要に応じて支保パターンの変更作業を行う岩判定では、受発注者双方が所定の位置で切羽を確認する必要があり、作業調整による業務ロスが発生する場合がある。

このような背景を踏まえ、受発注者の接触機会の縮減や施工管理の省力化を目的として弊社で開発した「①トンネル全線の可視化システム」と切羽観察業務の生産性向上、負担軽減を目的として弊社で開発した「②切羽地質情報取得システム」をクラウド化し、国土交通省中国地方整備局発注の玉島笠岡道路六条院トンネル工事に適用して効果の検証を行った。

本試行は、官民開発投資拡大プログラム（PRISM）予算を活用して国土交通省が実施する「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の一環で実施したものである。

2. 適用技術の概要

(1) トンネル全線の可視化システム

トンネル全線の可視化システムは、目標を以下の様に設定して開発を行った。

- ①受発注者間で日々の進捗やトンネル坑内状況の共有を可能とする。
- ②非接触によるトンネル出来高確認を可能とする（一部段階確認、現場臨場、パトロールなど）。
- ③本システムを利用して作業打ち合わせ等を行うことで、工程調整や仮設備計画を合理化する。

本システムは、安藤ハザマの保有技術である「トンネルリモートビュー」を使用する。トンネルリモートビューは、360度方向の映像が取得可能な360度カメラ（写真-1）、車速センサ、データの変換、閲覧を行う専用ソフト、処理用パソコンを設置した車両でトンネル坑内を走行しながら撮影し（写真-2）、トンネル全線の360度方向を可視化するものである。車速から走行距離を算出することで、GNSS等を使用できないトンネル坑内でも撮影位置情報を付与することが可能である。専用ソフト上の閲覧画面でスライダーをドラッグすることで、トンネル坑内の任意の位置に移動し、画面をドラッグすることで視点が回転し、360度任意の方向の静止画像を確認することができる。

今回の試行では、取得したデータを連携するクラウドで共有し、ウェブブラウザを利用して専用ソフトがない環境でも閲覧できるシステムを構築した。これによりインターネット経由で、アクセス権を持つ現場内外の工事関係者が現場の詳細な状況を簡易に把握することが可能となる。図-1 にトンネル全線の可視化システムの構成を、図-2 にウェブブラウザ上の閲覧画面を示す。

キーワード 山岳トンネル、ICT、施工管理、地質評価、クラウド

連絡先 〒107-8658 東京都港区赤坂 6-1-20 (株)安藤・間 TEL03-6234-3673



写真-1 360度カメラ 写真-2 計測車両

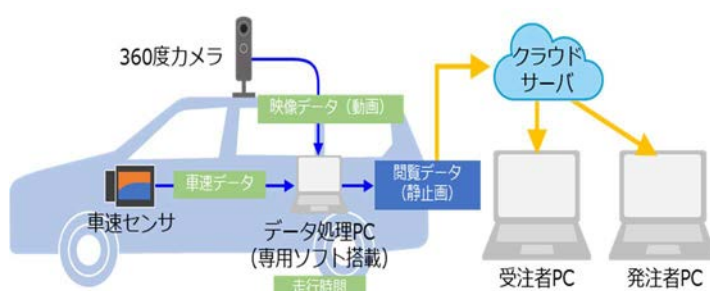


図-1 トンネル全線の可視化システムの構成



図-2 ウェブブラウザ上の閲覧画面

(2) 切羽地質情報取得システム

切羽地質情報取得システムも安藤ハザマの保有技術であり、地質評価の主要な指標である岩盤の圧縮強度、風化度、割れ目間隔を定量的に評価する²⁾。従来は、AIの画像認識技術を用いて切羽のRGB画像から岩盤の圧縮強度を評価していたが、今回の試行にあたっては、地山の物理データである切羽の穿孔データから圧縮強度を評価する手法へと変更した。各項目の評価手法の概要を図-3に示す。

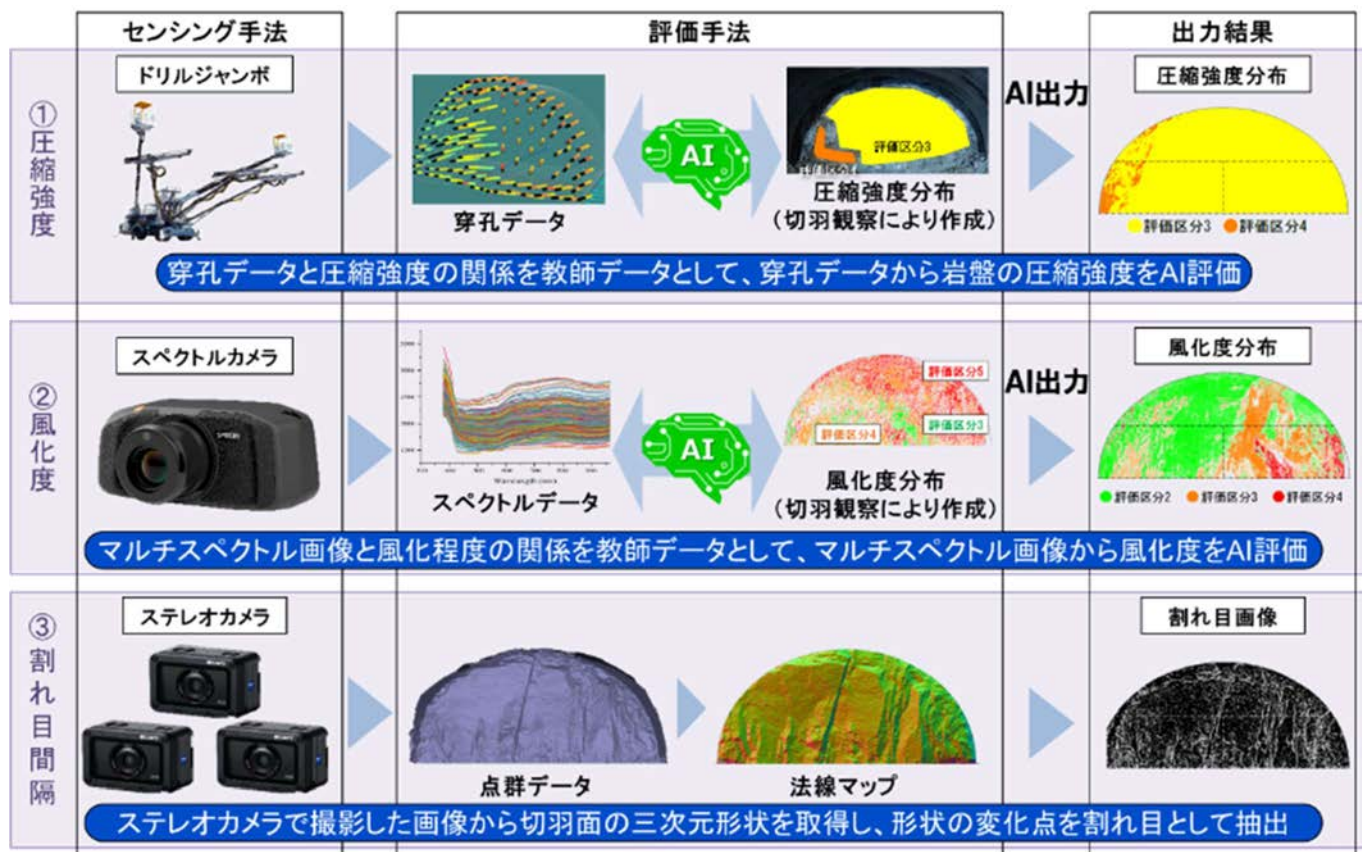


図-3 切羽地質情報取得システムの概要

①圧縮強度：マシンガイダンス機能付きドリルジャンボにより取得される装薬孔の穿孔データ（フィード圧，穿孔速度，打撃圧，回転圧）で回帰分析を行うことで，穿孔データから岩盤の圧縮強度を自動で評価する．

②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データと岩盤の風化変質状況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自動で評価する．

③割れ目間隔：ステレオカメラ（小型のデジタルカメラ 3 台で構成）で撮影した切羽画像を画像解析して割れ目を抽出し，割れ目間隔を自動で評価する．

本システムは，マルチスペクトルカメラやハロゲン照明，制御用 PC などをも 1 台の計測車両に搭載する（写真-3）．計測車両で取得した切羽の計測データと，ドリルジャンボから取得した穿孔データを集約し，専用のソフトで処理を行うことで評価結果が出力される．さらに，出力した評価結果をクラウド上に共有し，ウェブブラウザを介して受発注者がどこからでも確認可能なシステムを構築した．図-4 にシステムの構成を示す．



写真-3 計測車両の外観

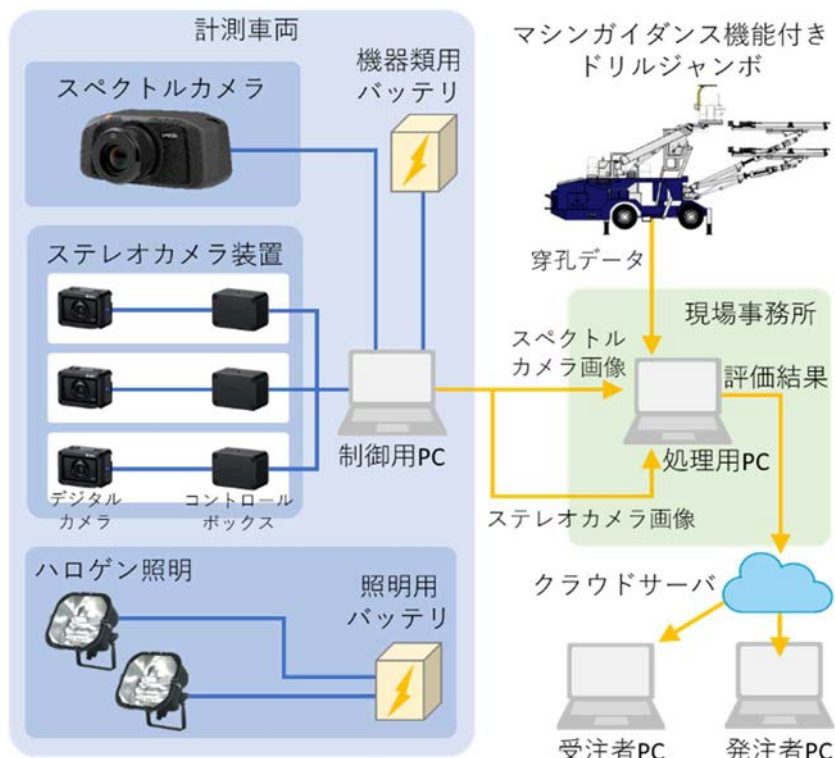


図-4 切羽地質情報取得システムの構成

3. 試行現場

(1) 工事概要

本試行を実施した現場の概要を以下に示す．

工事名：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

受注者：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

試行期間：令和 2 年 12 月 11 日

～令和 3 年 3 月 25 日

工事内容：掘削延長 L=1,088m

掘削方式：NATM（発破掘削）



図-5 現場位置図

図-5 に現場位置図を示す．

(2) 地形・地質概要

本トンネルは瀬戸内沿岸丘陵地に位置し、泉山の北側斜面に計画されている。泉山はなだらかな斜面形状の低山地で、主稜線は山頂の300m北西付近より北東側では尾根線が分岐し、分岐した尾根線は屈曲が多く起伏に富んだ形状を示す。

本トンネル周辺の基盤岩は中生代白亜紀～古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。図-6に地質縦断面図を示す。

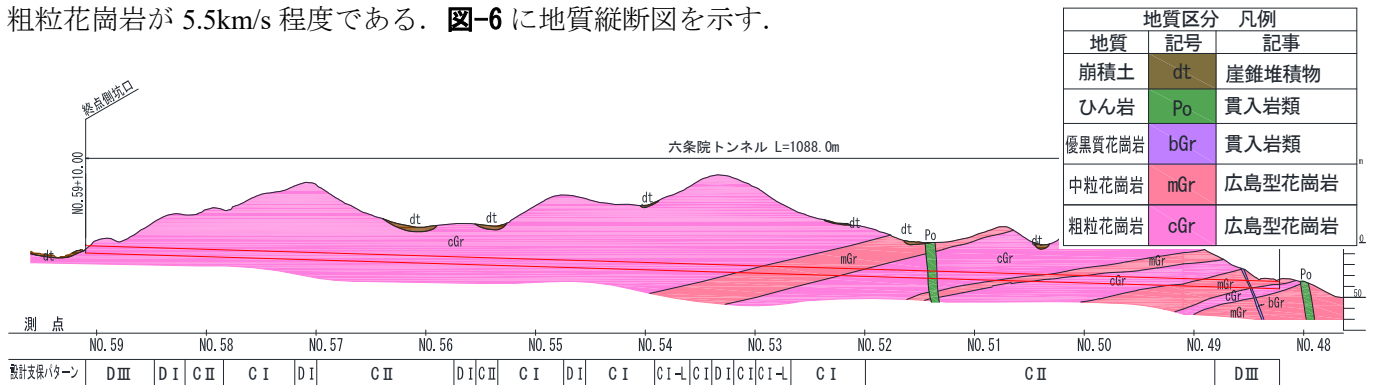


図-6 地質縦断面図

4. 試行結果および効果

(1) トンネル全線の可視化システム

現場試行では、トンネル全線を撮影したデータをクラウドで共有し、受発注者間で遠隔臨場を実施して本システムの効果を検証した。また、現場内で本システムを活用して施工管理の省力化に関する効果を検証した。

a) 受発注者間のトンネル坑内状況の共有に関する効果

本システムを活用することで、クラウドで容易にトンネル坑内状況を共有できることを確認した。発注者がトンネル坑内の状況を定常的に確認可能となることで、現場臨場やパトロールのための移動時間が削減でき、労働生産性の向上効果が期待できる。

b) 非接触によるトンネル出来形確認に関する効果

本システムにより、現場職員だけでなく、現場内外の工事関係者が容易にトンネル出来形を確認できるようになった。トンネル施工中の路盤状況やロックボルト打設間隔といったトンネル出来形を従来よりも多くの人が定常的に確認することで、手戻りの縮減などの効果が期待できる（図-7）。

c) 本システムによる施工管理の合理化に関する効果

従来、元請職員が工事の進捗や資機材の在庫状況を把握するために、1日1回程度、坑口から切羽までのトンネル全線を巡視している。この際、仮設備の不具合などが見受けられた場合には、作業打合せの時などに元請職員が作成した資料を用いて下請業者職員に指示して現場管理を行っている。本システムを用いることで、坑内全線の進捗と資機材の在庫状況を短時間で把握で



図-7 ロックボルト打設間隔の確認



図-8 システム活用のイメージ

きるとともに、360 度方向の連続的な静止画像を用いて円滑に説明を行うことが可能となり、これらにかかる時間を従来と比べて約 70%縮減することができた (図-8) . 表-1 に現場巡視における従来手法と本システムを用いた場合に要する時間の比較を示す。

(2) 切羽地質情報取得システム

本システムを活用することで切羽観察記録の作成時間を短縮し、現場職員の業務を省力化するとともに、出力した評価結果を発注者とクラウド共有することで定常的な岩確認を省略し、受発注者の接触機会を 50%縮減することを目標として現場試行を実施した。

本システムによる RGB 画像を用いた圧縮強度評価区分、風化度区分、割れ目間隔の評価結果の帳票例を図-9 に、穿孔データを用いた圧縮強度評価結果の帳票例を図-10 に示す。

a) 地質評価の省力化に関する効果

本システムによる評価結果と従来の目視観察結果との比較では、一致率が圧縮強度で 95%，風化度で 90%，割れ目間隔が 60%となった。自動評価結果を用いた支保パターンの選定では実績との一致率が 100% となり、従来手法と遜色なく判定が可能であることを確認した。

b) 評価結果のクラウド共有に関する効果

本トンネルは設計時点で CIパターンから DIパターンまでの支保パターン変化点が複数箇所設定されていたが、実際の施工では、ほぼ一様に未風化～弱風化花崗岩が出現し続け、両坑口の DIIIIパターンを除く全線を CIIパターンで施工した。本トンネルのように、地質変化が乏しく同一の支保パターンを継続するかどうかの判定においては、受発注者が日々の地質性状を定常的に共有することで現場臨場を省略できた可能性がある。トンネル掘削開始から掘削完了までに実施した 17 回の岩確認のうち 9 回を遠隔臨場とすることで、現場臨場頻度を約 53%低減できたと考えられる (図-11)。

表-1 システム活用のイメージ

項目	現場滞在時間	説明資料作成時間	現場までの往復時間	合計
従来手法	45分	10分	10分	65分
システム使用時	10分	0分	10分	20分

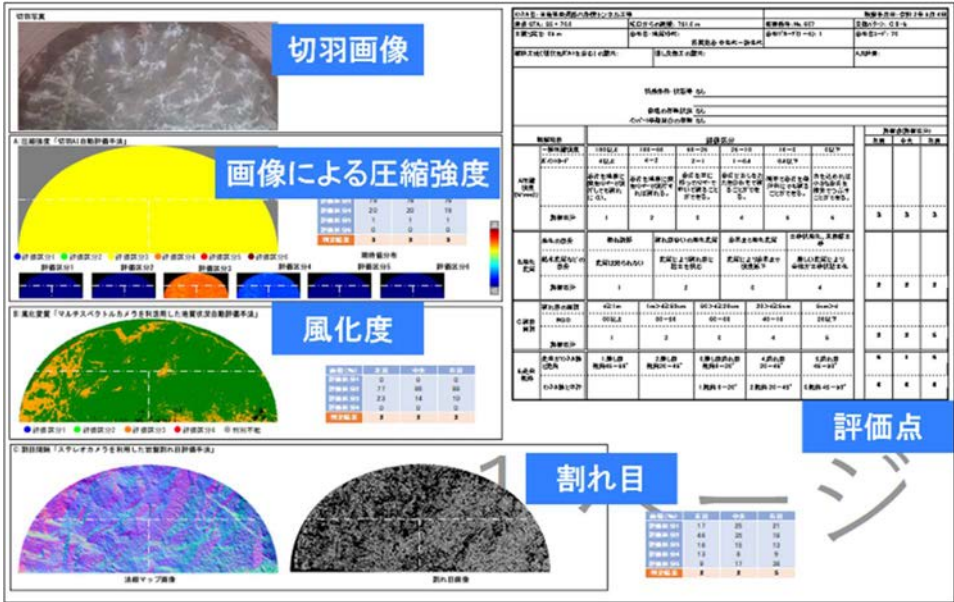


図-9 自動評価結果の帳票例 (RGB 画像)

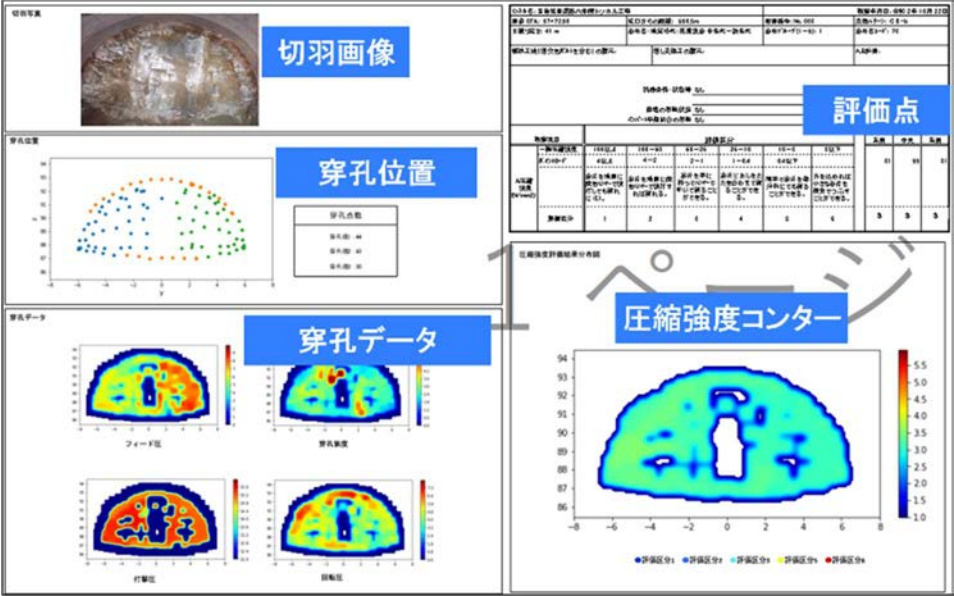


図-10 穿孔データを用いた圧縮強度評価結果の帳票例

