

## 遠隔臨場によるトンネル岩判定の取組み

### Approach to tunnel rock assessment by remote monitoring

#### キーワード

山岳トンネル, 遠隔臨場, LED レーザースキャナ, eYACHO

中谷 幸一\*, 京免 繼彦\*\*, 飯塚 建\*\*\*

#### 研究概要

現在, トンネル掘削方法の決定には発注者やコンサルタント等が切羽に参集し地山確認を行うことが前提であるが, 岩質急変時には遠隔者の調整で施工中断が生じる。この課題に対し, 国土交通省はICTを活用した遠隔臨場技術を推進し, 中国地方整備局は俵山・豊田道路第1トンネル工事で試行した。当社は遠隔から切羽評価項目を視覚聴覚で判定し, 簡易帳票と自動集計で会議時間を短縮する仕組みを開発した。3次元点群により詳細な切羽情報を取得し, 従来臨場と点数差はなく, 帳票作成から集計までの迅速化により新技術の実証として高評価を得た。

#### 1 はじめに

建設工事現場では, 遠隔臨場が強力に推進され, 新規工事には「完了検査, 中間検査等遠隔検査を可能な範囲で実施」といった内容が特記仕様書に記載され, 既に当社の工事も実施されている。

今回, 国土交通省中国地方整備局は, 令和4年度俵山・豊田道路第1トンネル工事を, 新技術導入促進2型の対象工事として公告され, これまで発注者による臨場が原則であったトンネルの岩判定に対し, 「ICT等を活用したトンネル岩判定における遠隔臨場技術」として提案が求められた。

そこで, 「新技術実証」として, LiDARを用いた切羽の3次元点群データを利用することを提案し, 遠隔臨場による岩判定資料として活用した。また, 遠隔から参加する判定者とのネットワークには, eYACHOを利用し, 帳票作成の簡素化と自動集計による効率化を図った。

#### 2 俵山第1トンネルへの適用

##### 2.1 工事概要

本工事は, 国土交通省中国地方整備局の山陰道事業のうち最も西に位置する俵山・豊田道路のトンネル工事である。表-1にトンネル概要を, 図-1に工事位置図を示す。

当該事業区間の現道は一車線幅員や急なカーブ, 急な坂道が連続しており, 大雨による交通規制や土砂災害の発生率が高い箇所が集中している。こうした灾害や事故による通行止めが長時間発生した場合, 大幅な迂回が発生している状況でありさらに観光温泉地である一部区間では孤立

する危険性がある。このような課題を解決するため, 早期トンネルへの遠隔臨場トンネル岩判定への適用供用が望まれる俵山・豊田道路区間の整備工事となっている。

表-1 トンネル概要

工事名	令和4年度俵山・豊田道路第1トンネル工事
工事箇所	山口県長門市俵山市内
発注者	国土交通省 中国地方整備局
施工者	佐藤工業株式会社
工事内容	トンネル延長: 278.0m, 内空断面: 88.7m <sup>2</sup> 0.8% (上り)
覆工厚	DI: 400mm, DIII: 450mm
インバート厚	DI: 500mm, DIII: 500mm



図-1 工事位置図

\* 技術センター 土木研究部, \*\* 技術センター ICT 推進部, \*\*\* 土木事業本部 設計部

トンネル延長は278.0m、内空断面積88.7m<sup>2</sup>の大断面トンネルに分類される。当トンネルは掘削区間4カ所の支保パターン変化点が計画されているため、変化点毎にトンネル岩判定を実施し、本システムを適用した。

## 2.2 遠隔岩判定での3次元点群データの活用

### 2.2.1 点群データの取得方法

本技術による遠隔岩判定は、現地に配置された現場職員が、LiDARを用いて切羽形状の計測を行い、その結果をリアルタイムに遠隔地にいる評価者に共有し、岩判定を行うものである。3次元点群データの取得は(株)オプティムの「Geo Scan Advance」を使用した。この機器はLIVOX社製のLiDARにiPhone14Proを組み合わせ、取得した点群にiPhoneの写真を合成することで色付き点群データを生成する。機器の写真を図-2に、仕様を表-2に示す。計測は切羽を開放して切羽から15m離れた位置で行った。3次元点群データ取得の所要時間を表-3に示す。



図-2 Geo Scan Advance + iPhone14Pro

表-2 仕様

性能・項目	仕様
カメラ(iPhone14Pro)	4800万画素
レーザー波長	範囲905m (クラス1)
視野	水平70.4°×垂直77.2°
距離精度(1σ@20m)	2cm
データ取得数	240,000 Point/s

表-3 3次元点群データ取得の所要時間

項目	所要時間
機器セット、計測準備	3分
計測	15秒
クラウドにデータアップロード	5分
PCにデータダウンロード	5分

### 2.2.2 点群データとライブ配信による切羽観察項目の説明

トンネル岩判定での切羽撮影した写真を写真-1に、点切羽計測した点群データの画像を図-3に示す。



写真-1 切羽撮影写真

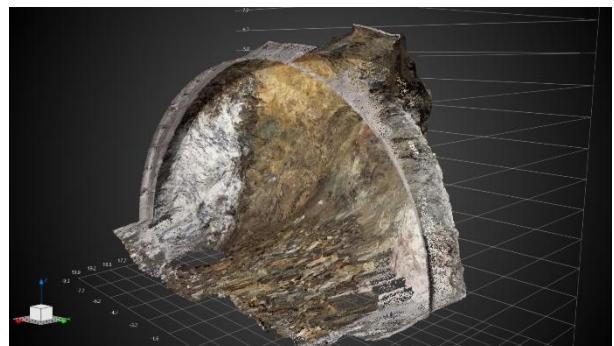


図-3 切羽計測点群データ処理画像

表-4 切羽観察項目

観察項目	観察方法
a) 切羽の状態	時間経過による目視確認
b) 天端の状態	時間経過による目視確認
c) 圧縮強度	ハンマー打撃での破碎状況と打撃音
d) 風化 (変質)	目視観察
e) 割れ目の間隔	目視観察
f) 割れ目の頻度	目視観察
g) 割れ目の状態	目視観察
h) 湧水	目視観察
i) 水による劣化	目視観察

切羽判定に必要な観察項目の説明は、図-3の切羽計測点群データとライブ映像配信を基に行った。表-4に切羽観察項目を示す。

#### a) 切羽の状態

切羽ライブ映像と点群データ画像から判定する。

#### b) 天端の状態

a)と同様に判定する。

#### c) 圧縮強度

判定者の指示により切羽から岩片を採取し、ロックハンマーの打撃による破碎状況と打撃音を図-4の様に切羽ライブ映像で判定する。

#### d) 風化変質

切羽ライブ映像と点群データ画像から色別による変化で判定する。

#### e) 割れ目の間隔

切羽ライブ映像で割れ目は確認できるがスケール評価できないため、点群データ画像の割れ目の距離計測で図-

5の様に間隔を測定する。また、写真-2の様に20cm 間隔の直線レーザーを切羽に照射し、その間隔を基に切羽ライブ配信で判定する。

#### f) 割れ目の頻度

切羽ライブ映像よりも、点群データ画像の方がより鮮明に確認できるため点群データ画像で判定する。

#### g) 割れ目の状態

割れ目の劣化状況や粘土の介在は切羽への立入を安全上禁止しているため、臨場および点群データ画像共に目視確認が困難となる、そのため、判定者が指示する切羽の岩片を採取し、図-6の様にライブ映像で判定する。

#### h) 湧水

点群データ画像による湧水の有無は確認不可能なため、切羽ライブ映像で判定する。

#### i) 水による劣化

健全な岩片と湧水個所の岩片を採取し、ロックハンマー打撃による劣化状況を切羽ライブ映像で判定する。



図-4 ロックハンマー打撃の切羽ライブ映像

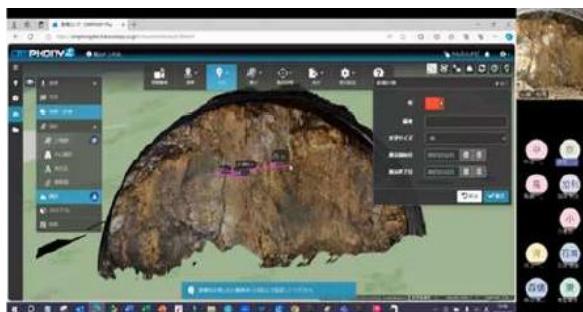


図-5 点群データからの割れ目間隔測定

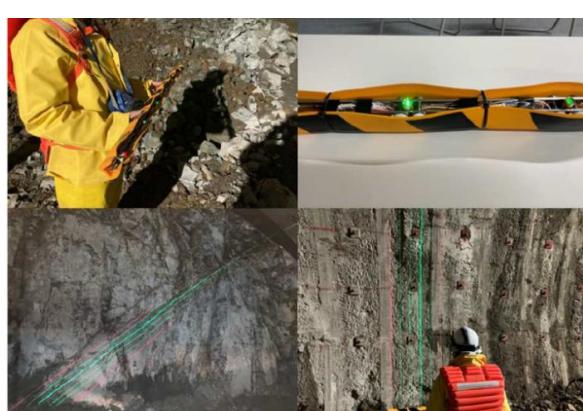


写真-2 直線レーザーによる割れ目間隔の測定



図-6 粘土介在有無の切羽ライブ映像

### 2.3 切羽評価帳票のリアルタイム共有

#### 2.3.1 遠隔臨場によるトンネル岩判定 Step

遠隔臨場岩判定時の作業所職員、判定員配置を図-7に示す。また、岩判定会議の Step を以下に示す。

配置：発注者判定員＝事務所、詰所

受注者職員＝切羽

Step 1 : 監理技術者説明 (Web 会議)

Step 2 : BIM/CIM データ説明 (Web 会議)

Step 3 : 切羽状況説明

(点群データ画像、切羽ライブ映像)

Step 4 : 質疑応答

Step 5 : 切羽観察データシート記入

(eYACHO にて共有)

Step 6 : 講評、まとめ



図-7 遠隔臨場岩判定関係者配置

#### 2.3.2 遠隔臨場用切羽観察データシート

遠隔臨場用切羽観察データシートについては、遠隔臨場専用のタブレットを全判定者に配付し、切羽観察帳票が入力された eYACHO に評価内容を選定入力して資料を通信で共有することが可能である。

しかし、入力されたデータの計算や別帳票への転記、また集計といった二次利用を行うためには「開発ツール・データオプション」を利用する必要がある。そこで、今回その「開発ツール・データオプション」を利用し、以下の内容を実現した。

- ① 各判定員が切羽観察データシートに入力した評価点の合計と加重平均点の算出（図-8）  
 ② 複数の判定員の評価点とその合計および加重平均点の、判定集計シートへの自動転記（図-9）

上記の対応を行った結果、各判定員が評価点を入力するだけで自動集計され、他の判定員の結果を判定集計シートで確認することもリアルタイムで可能となった。最後に判定集計シートを見ながら、講評およびまとめを Web 会議で行い、最終判定を行う。各判定員が「手書き署名」を書き込み、PDF 化することで提出用の帳票となる。

図-8 切羽観察帳票データ入力画面

図-9 切羽観察帳票集計シート

### 3 適用結果

#### 3.1 遠隔岩判定での3次元点群データの活用

遠隔岩判定において、3次元点群データを活用することによって、遠隔臨場時に写真や Web 配信の映像だけでは把握し難い切羽の奥行きや傾き、細かい凹凸を、立体的に確認することが可能となった。遠隔臨場と臨場の岩判定記

表-5 遠隔臨場と臨場の岩判定記録の比較

	判定者	遠隔判定	臨場判定
発注者	判定員 A	30	30
	判定員 B	28	32
	判定員 C	30	32
施工者	現場代理人	32	30
	監理技術者	27	28
平均		29.4	30.4

録の比較を表-5に示す。表より、遠隔臨場による判定記録と遠隔後に現地移動した臨場による判定記録は遠隔判定が若干低い点数となったが、大きな差が見受けられなかった事から、ICT を用いた遠隔臨場によるトンネル岩判定の有効性を確認することができた。

#### 3.2 切羽評価帳票のリアルタイム共有

遠隔臨場トンネル岩判定は4回実施され、最初は職員を遠隔場所に出向させて判定者へ取扱い説明を実施したが、タブレットアプリを利用した共有帳票は違和感なく容易に利用でき、速やかな集計と評価結果の提示に高評価を得ることができた。

#### 4 おわりに

本報告は「ICT 等を活用したトンネル岩判定における遠隔臨場技術」の新技術導入促進2型の対象工事として、当社初の試みについてまとめたものである。試行の結果、発注者から評価を得ることができ、遠隔地からも臨場と同様な結果が得ることができた。今後、国土交通省のみならず、各発注機関においても遠隔臨場トンネル岩判定を適用することで、省力化・効率化を図れるものと確信している。特に地山の急激な劣化等による緊急性を要す場合には有効的な手段となる。

#### 参考文献

- 1) 柏原宏輔, 玉野達: トンネル工事における WEB 会議システムを活用した遠隔岩判定の試行について, 令和3年度近畿地方整備局研究発表会論文集, イノベーション部門I, No08