

## AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測に関する研究開発① —切羽画像及び点群データの併用によるトンネル切羽の評価—

(一財) 先端建設技術センター	正会員	吉川 正	(株) 想画	正会員	田中 統蔵
(一財) 先端建設技術センター	フェロー	山本 拓治	(株) 安藤・間	正会員	鶴田 亮介
(一財) 先端建設技術センター	正会員	○橋立 健司	鹿島建設(株)	正会員	宮嶋 保幸
基礎地盤コンサルタンツ(株)	正会員	三木 茂	清水建設(株)	正会員	垣見 康介
日本システムウエア(株)	正会員	野村 貴律	戸田建設(株)	フェロー	高橋 浩

### 1. はじめに

本研究開発は、山岳トンネルの切羽（以下切羽）における画像、掘削機器等のデータについて、ICTの活用による迅速な取得・伝送・処理、仕様の共通化による有効活用、AI(機械学習：ニューラルネットワーク等)による迅速な現象の把握と評価を行ってきた。AIによる切羽評価及び肌落ち予測の精度向上を目指して、切羽画像と点群データの併用による切羽評価方法の検討、さらに複数枚の切羽画像の撮影及び数種類のLiDARによる切羽の点群データの取得、それらを用いた3次元画像（以下3D画像）の生成結果について報告する。

### 2. 切羽画像と点群データによる切羽評価

#### 及びトンネルスケッチの支援方法の概要

過年度の切羽地質評価と肌落ち予測に関する研究開発では、図1の赤色破線囲み部に示すように切羽画像を岩石グループごとに教師データを作成して、AI（機械学習）により切羽評価項目をそれぞれ推論・評価した。

今回、切羽の凹凸測定や吹付状況等のデータの取得に活用されているLiDARによって得られる切羽の点群データを図1の青色囲み部に示す方法で切羽画像と合わせて推論することで、評価の精度向上を図ることが可能と考えた。

切羽画像と点群データを併用した切羽の評価方法の例を以下に、概念図を図2～4に示す。

- 点群データの数値処理、切羽面に走査線を設定し、基準面からの凹凸（ラフネス）による領域区分を行い、同時に切羽写真の領域区分を行う
- 点群データから得られる切羽面の凹凸の法線ベクトルを求め、ステレオネットを利用して、切羽面の卓越する割れ目の方向（走向傾斜）を判定する。
- 数値化された凹凸データ、割れ目の方向と写真画像を組合せて肌落ち危険箇所を評価する。
- 数値化された凹凸で写真画像を領域区分し、領域区分ごとに機械学習で判定を行う。
- 点群データから数値処理により得た連続する凹凸から、連続する割れ目を抽出する。
- 切羽写真画像および点群データ化により、切羽スケッチ作業を支援する。

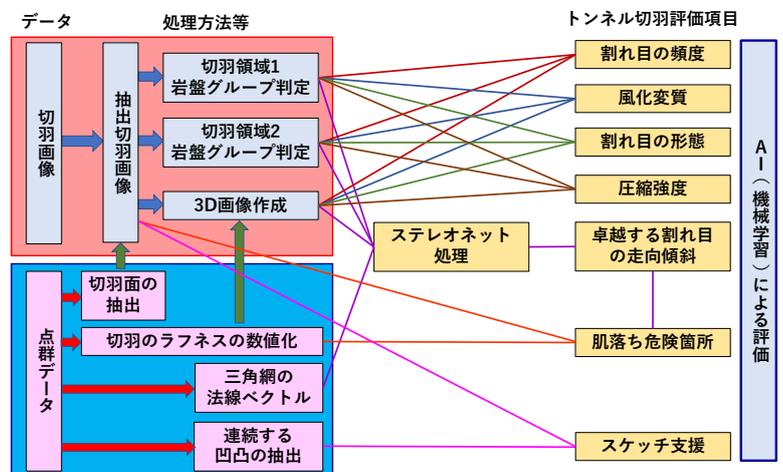


図1 切羽画像と点群データの組合せによるトンネル切羽の評価フロー

#### 点群と走査線の関係

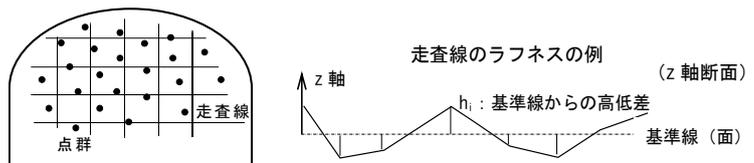


図2 一定間隔の走査線と走査線のラフネスの設定の例

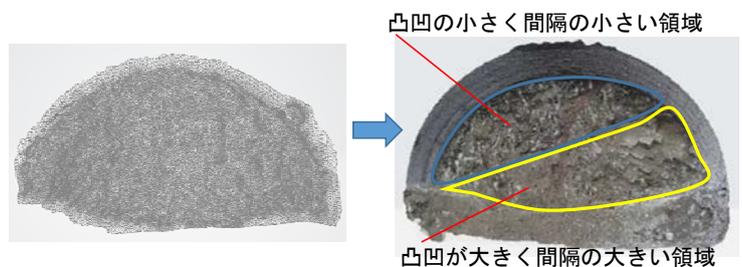


図3 ラフネスによる領域区分のイメージ



図4 法線ベクトルとステレオネットでの割れ目の卓越方向の解析

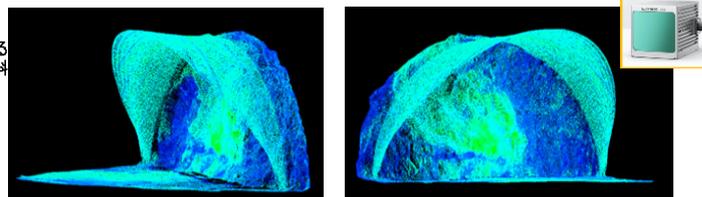


図5 LiDAR (Livox avia) による点群画像例

### 3. 切羽画像および点群データによる 3D 画像の生成方法

#### (1) 生成方法の特徴とトンネル現場での試行結果

図1に示した切羽の3D画像の生成について、実際の山岳トンネルの岩が露頭した切羽において、2種類のLiDAR (LIVOX avia 及び Velodyne VLP-16) による点群データの取得と3枚以上の切羽画像(通常のデジタルカメラ, iPhone, ドローン動画から抽出)の取得と解析を試行した。

点群データについてはビューワーソフトウェアを、切羽画像については、画像解析ソフトウェア Metashape を使用して、図5~7に示すように切羽の3D画像を生成した。それぞれの特徴を表1に示すが、LiDAR (LIVOX avia) と3枚の切羽画像の Metashape による3D画像がAIによるトンネルの切羽評価及び肌落ち予測において、切羽評価項目のうち、卓越する割れ目の走行傾斜、肌落ち危険予測、スケッチ支援に活用可能であることが分かった。

#### (2) iPhone 内蔵の LiDAR の検証

一般的に使用されている iPhone の中で、12Pro 以上の機種には、標準的に LiDAR が装備されている。ただし、レーザ画像検出が可能な距離は、約 5m であるため、切羽からの 20m 上離れた位置では使用できない。

切羽付近で左右方向に移動して計測した場合、図9に示すように iPhone から約 5m の範囲の路盤と側部の覆工は、3D 画像の生成が可能であった。

さらに、切羽の吹付け完了後の安全な状態で、高所作業車で切羽面から離隔約 5m で移動して計測した場合は、図10のようにほぼ切羽全面の 3D 画像の生成が可能であった。山岳トンネルの現場で、切羽画像撮影に使われる iPhone に 20m 以上の距離のレーザ画像検出が可能な LiDAR が標準的に装備されれば、点群データの取得も容易に可能となると考える。

### 4. まとめ

AI を活用したトンネル切羽の地質評価並びに肌落ち予測の予測精度の更なる向上を目指して、切羽画像と点群データを組合せた切羽評価方法の考え方を示し、切羽画像及び点群データによる 3D 画像の生成を試みた。

今後、所定の機能を有する LiDAR の汎用化により、点群データが切羽評価に活用可能であると思われる。

#### 参考文献

- 1)吉川正他:AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測支援による災害防止に関する研究開発①—研究開発項目と実施概要—, 土木学会第 76 回年次学術講演会講演集, Vol.76, CS14-25, 2021
- 2)野村貴律他:AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測支援による災害防止に関する研究開発④—AI を活用した切羽地質評価支援システムのプロトタイプについて—, 土木学会第 76 回年次学術講演会講演集, Vol.76, CS14-28, 2021
- 3)三木茂他:AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測支援による災害防止に関する研究開発⑤—切羽画像から肌落ち予測の教師データについて—, 土木学会第 76 回年次学術講演会講演集, Vol.76, CS14-29, 2021

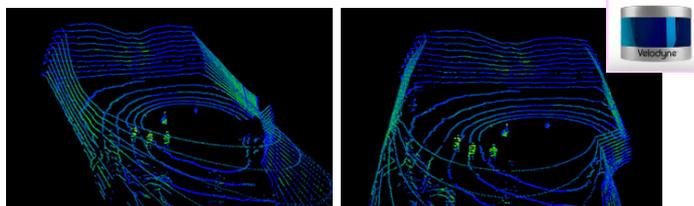


図6 LiDAR (Velodyne VLP-16) による点群画像例

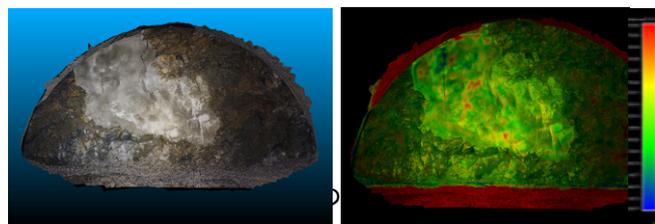


図7 ドローン静止画像(動画から抽出3枚) Metashape による3D画像

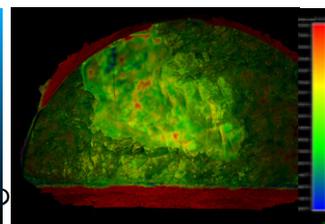


図8 ドローン静止画像(動画から抽出の3枚と667枚の精度比較(赤色部20cm))

表1 切羽の3D画像の生成方法別の特徴

手法	メリット	デメリット
LIVOX avia	・価格が比較的安価 ・三脚使用で±2cm程度の測定精度	・点群のみでテクスチャー無し ・三脚とPCが必要でセッティングに時間を要する。
Velodyne VLP-16	・±3cm程度の精度 ・360度の広範囲、約100mの距離まで測定可能	・全方位のLiDARのため切羽面の少ない点群数 →トンネル切羽に不向き
Metashape 3枚	・汎用カメラで切羽画像の撮影可能 ・ソフト手持ち撮影可能	・高コスト ・一部の場所で20cm程度の誤差発生

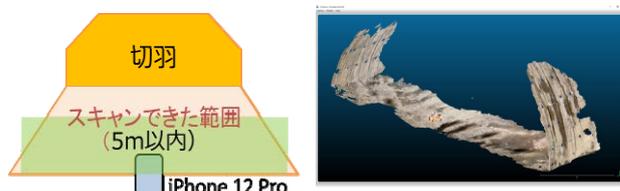


図9 iPhone 内蔵の LiDAR による切羽付近の 3D 画像

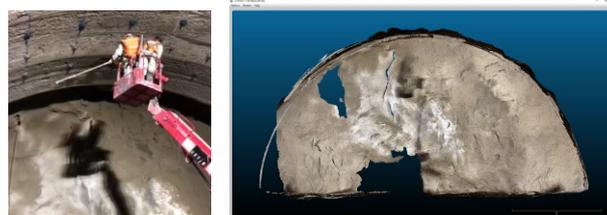


図10 iPhone 内蔵の LiDAR による切羽(吹付け)の測定状況写真と 3D 画像