

トンネル切羽の鏡吹付けコンクリートを対象にしたひび割れ検知技術の基礎的研究

株式会社大林組 技術研究所 正会員 ○藤岡大輔 中岡健一 石関嘉一
株式会社大林組 土木本部 生産技術本部 トンネル技術部 正会員 谷口信博
筑波大学 システム情報系知能機械工学域 非会員 山口友之 西村勇輝

1. はじめに

切羽安定対策の鏡吹付けコンクリート（以下、吹付けと記す）は、切羽の崩落(肌落ち)や空気・水による劣化、地山の緩み等を防ぐために施工される。また、ひび割れ発生といった切羽の変状が視認しやすくなる。そのため、厚生労働省が通達した「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止に係るガイドライン」¹⁾でも肌落ち防止対策として推奨されている。

吹付けに生じるひび割れは長さや幅が作業中に徐々に進展することが多いため、装薬作業に集中していると気付きにくい。切羽監視員を配置している場合でも、重機や人が錯綜する中で全ての変状を視認することは難しい。そのため、画像処理技術により切羽全体を常時監視し、目視監視を補助することが有効である。

画像処理を用いたひび割れ抽出技術は橋脚や床版等を対象として実用化されている^{例え2)}。しかし、従来技術の目的は平滑なコンクリート表面を対象とした健全性調査であり、解析時間も余裕があった。そこで筆者らは、切羽崩落の予兆を捉えるために、凹凸を有する吹付けのひび割れを短時間で検知する技術（ひび割れ検知技術）の開発を進めている。本論文では、この検知技術を概説し、ひび割れ画像を用いた試行結果を述べる。

2. 吹付けのひび割れ検知技術の概要

(1) 吹付けの特徴

常時監視に着目した場合の吹付けの特徴を整理し、ひび割れ検知技術における課題と対策を表1に示すように検討した。

(2) ひび割れ検知技術の概要

現在考えているひび割れ検知技術のイメージを図1に、ひび割れ監視フローを図2に示す。吹付けで覆われた切羽は、ドリルジャンボに搭載したウェブカメラによって撮影する。切羽画像の取得前後に、①監視領域の設定、②動体検知と除去、③侵入物の検知と除去、を行う。これらは、背景差分法による切羽監視技術³⁾で適用されたものを採用できる。ひび割れ抽出解析をタブレットPCなどにより短時間で行えれば、ひび割れの長さが閾値を超えた場合、警告灯で切羽作業員に危険を知

らせることができる。

(3) ひび割れ抽出方法

ひび割れ抽出方法として、物体識別技術 Semantic Segmentation を採用した。この方法は、Deep learning を用いて画素単位で物体を識別するものである。ひび割れの特徴を抽出するため U-Net⁴⁾を用いた。U-Net は Semantic Segmentation 用に設計されたネットワークである。畳み込み演算で解像度を下げて特徴量を抽出する Encoder 部と、解像度を復元する Decoder 部で構成される(図3)。ひび割れ画像を複数枚用意し、繰り返し学習させることで畳み込み演算の重み等が最適化される。

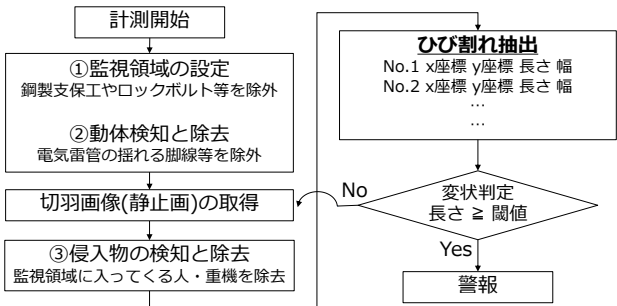


図2 ひび割れ監視フロー

表1 吹付けの特徴と検知技術の課題と対策

特徴	課題と対策
・吹付け厚さが一定でない。 ・地山状況により応力状態が異なり破壊形態が不明（せん断破壊の場合、ひび割れ幅は広がりにくい） ・照明の位置によりひび割れによる影が伸びる。	厚さによりひび割れ幅が変化し、幅だけでは崩落の危険度を判定できないため、閾値幅の設定が困難である。そのため、長さを閾値とする。また、ひび割れは影も含めて「見かけのひび割れ」とし抽出する。
・ひび割れ発生から崩落に至るまでの時間が不明	ひび割れ抽出解析を短時間で終わらせる必要があり、1分以内に解析できるようにする。
・吹付けは掘削サイクル毎に撤去されるため、画像認識に必要な学習データとなるひび割れ画像が少ない。	学習データが不足する。側壁や坑口斜面の吹付けのひび割れも加える。吹付け供試体を曲げ破壊させ、その時のひび割れを撮影する。
・切羽の前で人や重機が往来する。	ひび割れの前面に障害物が多い。誤抽出を避けるため事前に除外する。

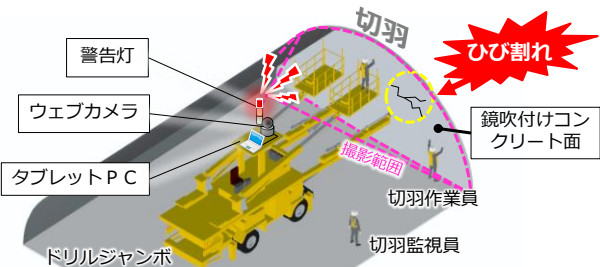


図1 ひび割れ検知技術のイメージ

キーワード：山岳トンネル，切羽監視，画像処理，ひび割れ，Deep Learning

連絡先：〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 大林組技術研究所 Tel：042-495-1015

3. 吹付けひび割れ画像を用いた試行

撮影条件や適用する学習モデルによる影響を把握するため、吹付け供試体やトンネル側壁のひび割れ画像を用いて検討を行った。いずれも幅1~2mmのひび割れであった。撮影した画像(入力画像)は手動でPCに保存し、解析プログラムを実行して抽出結果を出力した。

(1) 凹凸が小さい吹付け供試体 (図4)

ひび割れを抽出するために公開されている Yang の学習済みデータセット⁵⁾を用いて、凹凸の高低差が2cm未満の吹付け供試体を解析した。その結果、ひび割れを抽出した白い線の形状が供試体のひび割れと一致した。

Yang のデータセットは平らなコンクリートのひび割れで構成されるため、凹凸の小さい本供試体に適合したと考えられる。

(2) 凹凸が大きい吹付け供試体 (図5)

最大の高低差が5cm程度の凹凸の大きい吹付け供試体のひび割れを、Yang のデータセットを用いて解析した。その際、撮影距離を3段階(1m, 3m, 5m)変化させて、解像度を低下させた。その結果、撮影距離1mのケースではひび割れではない凹凸を多く誤抽出したが、5mのケースでは、解像度が低下したことにより吹付け面の画像がぼけて凹凸による影が見えなくなり、誤抽出が低減した。しかし、離れることでひび割れも一部見えなくなり、抽出したひび割れ長さは短くなった。

(3) トンネル壁面の吹付け面 (図6)

トンネル壁面に発生した1本のひび割れを学習させ、その学習データを用いて同じひび割れの抽出を行った。その結果、学習回数(世代)を重ねていくことにより、ひび割れ周辺に点在している、ひび割れ以外を誤抽出した白い画素が減少することを確認した。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に列举する。

- ・ 閾値設定や解析時間、監視領域を適切に設定することが重要である。
- ・ 吹付け面の凹凸が小さい場合や解像度を小さくした場合、平らなコンクリートを対象とした従来手法でもひび割れを抽出できる可能性がある。
- ・ 実際のひび割れを繰り返し学習させることで、ひび割れ抽出精度が向上する。

以上のことから、現場試行を通じて、ひび割れ抽出精度の定量評価と学習モデルの最適化が必要である。今後、システムを構築して現場で試行する予定である。

参考文献

- 1)厚生労働省：山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害

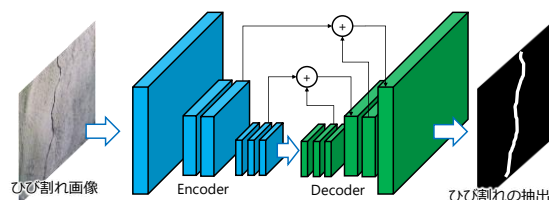


図3 U-Netを用いたひび割れ抽出のイメージ

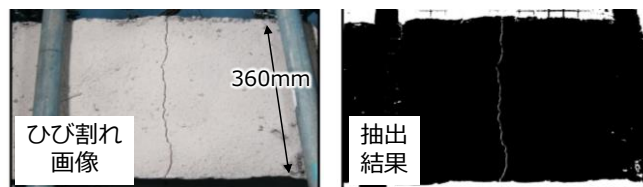


図4 ひび割れ抽出結果（凹凸が小さい供試体）

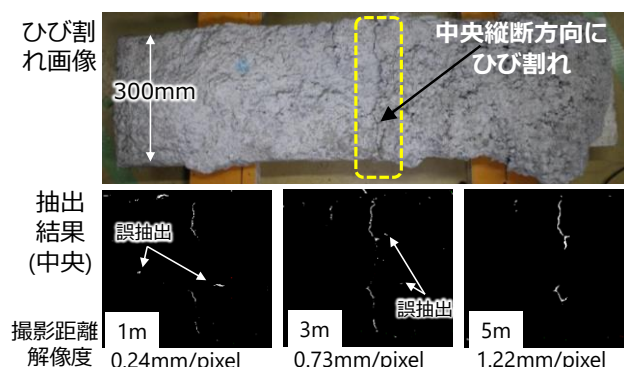


図5 ひび割れ抽出結果（凹凸が大きい供試体）

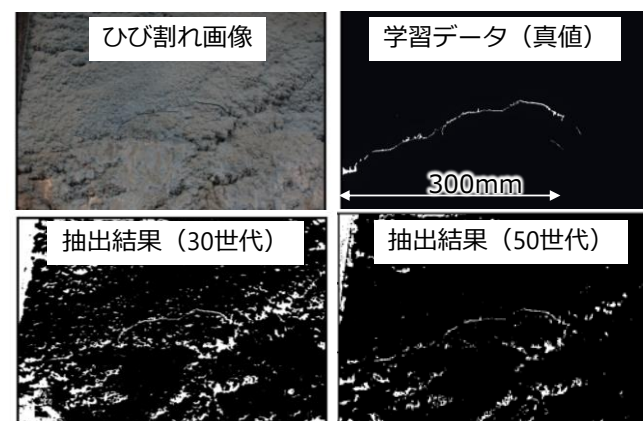


図6 ひび割れ抽出結果（トンネル側壁）

防止対策に係るガイドライン、2018

2)社会インフラ画像診断サービス「ひびみつけ」：KT-190025-VR、2019年NETIS登録

3)藤岡大輔、中岡健一：山岳トンネル切羽崩壊検知システム「ロックフォールファインダー®」の開発、大林組技術研究所報No.84、2020年

4)Ronneberger, Olaf, Philipp Fischer, and Thomas Brox : U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, MICCAI2015, pp234-241, 2015.5

5) X. Yang, H. Li, Y. Yu, X. Luo, T. Huang, and X. Yang : Automatic Pixel-Level Crack Detection and Measurement Using Fully Convolutional Network, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, vol. 33, no. 12, pp. 1090-1109, 2018.8