

山岳トンネルにおける鏡吹付けコンクリートひび割れ検知システムの開発

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 ○藤岡大輔 谷口信博
株式会社大林組 技術研究所 正会員 中岡健一 石関嘉一
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

鏡吹付けコンクリート（以下、吹付けと記す）は、切羽崩落の防止等の切羽安定対策としてだけでなく、ひび割れ発生といった切羽の変状を視認し易くするためにも実施される。

切羽崩落の予兆として吹付けに生じるひび割れは、音も無く発生して徐々に進展することが多く、装薬作業に集中していると気付かないことがある。切羽監視員が配置されている場合でも、全ての変状を重機や人が錯綜する中で視認することは困難であることから、目視監視の補助として、画像処理技術を用いた常時監視が有効である。そこで筆者らは、物体識別技術をひび割れ抽出方法として採用し²⁾、吹付けのひび割れを短時間で検知するひび割れ検知システムを開発した。

本報では、ひび割れ検知システムを概説し、模擬トンネルで実施したひび割れ検知実験の結果を述べる。

2. 吹付けのひび割れ抽出方法と検知システムの概要

(1) ひび割れ抽出方法

ひび割れ検知システムにおけるひび割れ抽出方法として、Deep learning を用いた物体識別技術 Semantic Segmentation を採用した²⁾。この方法を採用するためには、複数枚の吹付けのひび割れ画像を収集し、学習データセットを作成する必要がある。抽出結果として、ひび割れの2値画像とその長さ、幅が出力される。

(2) ひび割れ検知システムの概要

ひび割れ検知システムのイメージを図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、ドリルジャンボ等に搭載したウェブカメラによって撮影され、タブレットPCで画像処理する。解析用の切羽画像を取得する前に、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。①~③の手順により画像上の不要な範囲を除外することで、誤検知を減らし、解析速度を向上させることができる。続いて、ひび割れ抽出を行ってひび割れの長さ、幅を取得し、それら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. ひび割れ検知実験

模擬トンネル内においてひび割れ検知実験を実施し、吹付けのひび割れを正しく検知できるか確認した。

(1) 実験方法

模擬トンネル内の機器配置と撮影条件を図3に示す。鋼製架台に吹付けコンクリートを厚さ30~60mmで吹付け、背面から油圧ジャッキで載荷することで、実際の切羽で生じるようなひび割れを発生させた。実験に先立ち、この鋼製架台を用いて発生させたひび割れを複数撮影し、学習データセットを作製した。

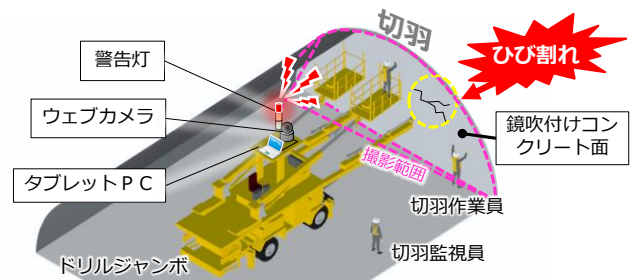


図1 ひび割れ検知技術のイメージ

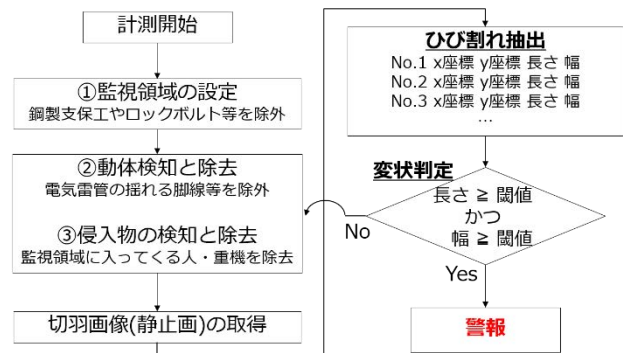


図2 ひび割れ監視フロー



図3 模擬トンネル内の機器の配置

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、Semantic Segmentation

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

表1 実験結果概要

回数	閾値(長さ/幅)	解析間隔	結果	状況
1	300mm/12mm	2分	—	吹付け全体が剥がれ転倒したため検知不可.
2	300mm/12mm	2分	—	吹付け全体が剥がれ転倒したため検知不可.
3	300mm/12mm	2分	—	吹付け全体が剥がれ転倒したため検知不可.
4	300mm/12mm	2分	—	長さ219mm, 幅6mmのひび割れ等を抽出したが, 閾値未満のため検知せず. その後, 剥がれた.
5	120mm/ 3mm	2分	○	長さ300mm, 幅6mmのひび割れを検知
6	240mm/ 6mm	2分	○	長さ270mm, 幅6mmのひび割れを検知
7	240mm/ 6mm	2分	○	長さ390mm, 幅6mmのひび割れを検知
8	240mm/ 6mm	2分	○	長さ270mm, 幅6mmのひび割れを検知
9	240mm/ 6mm	30秒	○	長さ249mm, 幅6mmのひび割れを検知
10	240mm/ 6mm	30秒	○	長さ306mm, 幅6mmのひび割れを検知
11	240mm/ 6mm	30秒	—	ひび割れ発生せず, 幅200mm未満の小片落下
12	240mm/ 6mm	30秒	—	ひび割れ発生せず, 幅200mm未満の小片落下

実験は、閾値やひび割れ抽出(以下、解析と記す)の時間間隔を変更しながら、以下の手順を計12回繰り返した。

- ① ひび割れが無い状態で解析し、誤抽出の有無を確認。
- ② 载荷を開始し、ひび割れを発生させ、一定速度で長さや幅を拡大させていく。同時に、一定時間ごとに解析し、ひび割れの長さや幅を出力する。
- ③ 長さや幅が共に閾値を超えた場合、警報を発する。
- ④ 吹付けが剥落するまで载荷を継続する。
- ⑤ 残った吹付けを研り、再度、鋼製架台に吹付ける。

(2) 実験結果

表1にひび割れ検知実験の結果概要を示す。ひび割れの長さや幅は最大値を記載した。1~5回目では閾値を変化させたが、6回目以降は、以下の理由で閾値を長さ240mm・幅6mmで固定した。

- ・ ひび割れが無い状態でも骨材の影などを誤抽出することがあり、それらを除外できる閾値とする。
- ・ ひび割れは幅6mmを超えて広がりにくく、幅12mm以上のひび割れはほとんど発生しない。

1~8回目では解析間隔を2分間としたが、1回の解析時間は20秒程度で完了することが分かったため、9回目以降は30秒間隔とした。11、12回目は幅200mm程度の小片の落下を伴う押抜き破壊が生じ、ひび割れが発生しなかった。全体を通して、閾値を超えるひび割れが発生した時は、全て検知することができた。

図4に代表例として9回目の実験結果を示す。载荷開始後、約1分30秒後にひび割れ発生を検知でき、警報を発したのち、約4分後に吹付けが崩落した。このように、ひび割れ検知から崩落まで時間があつた場合、崩落までに切羽から退避できる。

4. まとめ

本実験で得られた知見を以下に列挙する。

- ・ 吹付けのひび割れを学習させることで、物体識別技術によりひび割れを精度良く検知できる。
- ・ 閾値を超える亀裂は確実に検知できた。

今後、移動体や侵入物の除去を伴うひび割れ監視を実際の現場において適用し、検証する予定である。

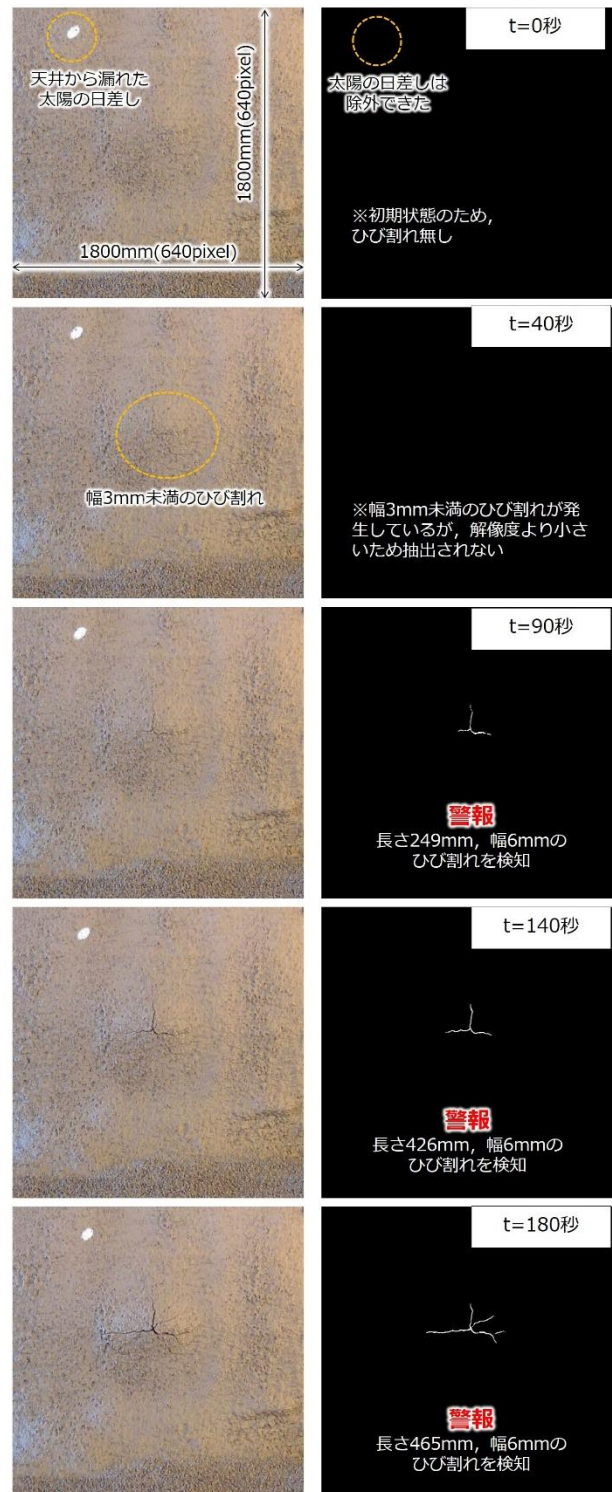


図4 9回目実験結果 (左: 元画像, 右: 解析結果)

謝辞: ひび割れ検知実験では、太平洋マテリアル(株)の皆様から多大なご支援をいただきました。ここに謝意を表します。

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防止対策に係るガイドライン, 2018
- 2) 藤岡大輔, 中岡健一, 石関嘉一, 谷口信博, 山口友之, 西村勇樹: 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, 土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol.76, VI-441, 2021
- 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