

切羽鏡面の吹付けコンクリートのひび割れ検出により肌落ちの予兆を知らせるシステムの開発

(株)奥村組 正会員○浜田 元 萩原 進 正会員 今泉 克彦
(株)システム計画研究所 清水 隆司 久保 陽平 西岡 拳

1. はじめに

厚生労働省では、2018 年 1 月に「山岳トンネル工事の切羽における労働災害防止対策に係るガイドライン」を改正しており、山岳トンネル工事の切羽における労働災害のより一層の防止を図ることが求められている。同ガイドラインにおいて、切羽鏡面の吹付けコンクリート（以下、鏡吹付け）は、切羽での肌落ちリスクを低減させるための有効な対策の一つであり、切羽地山のゆるみを抑制するとともに、切羽の変状を視認しやすくするとされている。本稿では、作業員が切羽に近づく場面の切羽画像から、AI により鏡吹付けのひび割れを検出し、肌落ちの予兆を知らせるシステム（以下、肌落ち監視システム）を開発したので、結果を報告する。

2. 撮影機器の選定

肌落ち監視システムの開発にあたり、鏡吹付けに発生したひび割れを撮影する機器を選定した。撮影機器は、撮影対象の切羽寸法を高さ 8m×幅 10m、撮影機器と切羽鏡面の離隔を 10～15m、検出するひび割れの最小幅を 1mm と想定し選定した。選定した撮影機器の主な仕様を表-1 に示す。

表-1 撮影機器の主な仕様

カメラ		レンズ	
撮像素子	35mmフルサイズ (35.7×23.8mm)	対応撮像画面サイズ	35mmフルサイズ
カメラ有効画素数	約6100万画素	焦点距離	24~105mm
ISO感度	50~102400	画角（35mm判）	84° -23°
シャッター速度	1/8000-30秒、バルブ	開放絞り（F値）	4
連続撮影速度	最高約10コマ/秒	最小絞り（F値）	22

カメラはレンズ交換式デジタルカメラで、撮像素子が 35mm フルサイズ、有効画素数が約 6,100 万画素である。レンズは 35mm フルサイズ対応で、焦点距離が 24～105mm、画角が 84° ～23° である。

3. ひび割れ検出 AI エンジンの吹付けコンクリートへの適用性

コンクリート構造物のひび割れ検出で実績を有する AI エンジン¹⁾について、吹付けコンクリートのひび割れ検出への適用性を確認するため、選定した撮影機器により吹付けコンクリート供試体のひび割れ画像を取得し、AI エンジンの基本学習モデルを用いてひび割れ検出を試みた。なお、AI エンジン¹⁾は、セマンティックセグメンテーションを用いて作成している。供試体の撮影状況を図-1 に示す。供試体は縦 400mm×横 850mm×厚さ 50mm であり、撮影機器と供試体との離隔を 15m、撮影範囲はレンズの調整により供試体中央を基準として左右に各 5m、供試体撮影面の照度は約 200lx とした。供試体のひび割れは、供試体背面から油圧ジャッキで段階的に载荷し発生させた。取得画像から基本学習モデルを用いてひび割れ検出を試みた結果、図-2 に示すとおり、幅 1mm のひび割れを検出している。この AI エンジンが、吹付けコンクリートのひび割れ検出に適用できることを確認した。

4. 肌落ち監視システムの開発

切羽画像には作業員やマンケージなどが写り込むため、本システムでは、複数の CNN（Convolutional Neural Network）を適宜用いて切羽鏡面とそれ以外を区別し、検出した切羽鏡面に対しひび割れ検出を行う。ひび割れ検出では、装薬時の雷管の脚線もあわせて検出し、ひび割れとの誤認を防止する。

(1) 切羽鏡面の検出

切羽鏡面を検出するため、切羽画像 2 枚から画像分割などにより教師データ（1,600 枚）を作成し、CNN を用いて学習モデルを作成した。学習モデルの作成

キーワード 山岳トンネル、切羽、肌落ち、鏡吹付けコンクリート、画像、AI

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 (株)奥村組 技術本部 技術研究所 TEL 029-865-1521

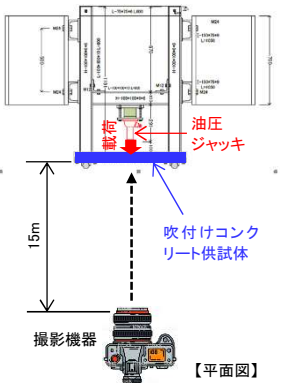


図-1 撮影状況

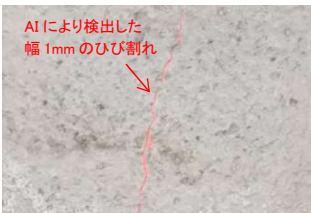


図-2 ひび割れ検出結果

では、切羽鏡面の検出精度を高めるため、図-3に示すとおり、2種類のCNNを段階的に用いた。1段階目の学習モデル作成では、切羽画像を 20×20 のパッチ画像に分割し、パッチごとに「切羽鏡面」、あるいは「切羽鏡面以外」としてラベルを割り当て、CNN (Resnet18) に予測させて正解（技術者が切羽鏡面としてアノテーション）とのずれが少なくなるように学習させた。2段階目の学習モデル作成では、1段階目に学習したモデル（図中、学習済みCNN）を用いて、 8×8 のパッチ画像（図中、赤破線部分）に対して特徴ベクトルを抽出し、特徴ベクトルをまとめて別のCNN（3層モデル）に予測させて1段階目と同様に学習させた。

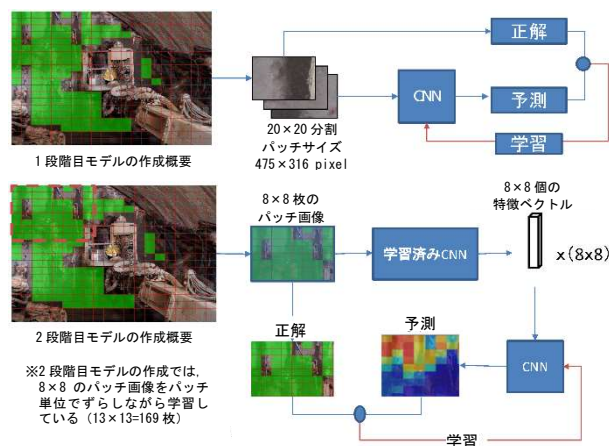


図-3 切羽鏡面を検出する学習モデルの作成方法

前述の2段階で作成した学習モデルを用いて、テストデータの切羽画像から切羽鏡面を検出した結果の一例を図-4に示す。エレクターブームや鏡ボルトなどを誤認することなく切羽鏡面を検出しており、正解率は79～95%であり、比較的高い値を示している。一方、側壁の一部を切羽鏡面と誤認しており、検出精度向上の必要性が残る結果と言える。



図-4 切羽鏡面の検出結果

(2) ひび割れ・脚線の検出

ひび割れ・脚線を検出するため、供試体画像21枚、切羽画像17枚から画像分割などにより教師データ（供試体画像より517枚、切羽画像より337枚）を作成し、前述のAIエンジンを用いて学習モデルを作成した。学習モデルの作成では、切羽画像を 20×20 のパッチ画像に分割し、パッチごとに「ひび割れ」、「脚線」、「ひび割れ、脚線を含まない切羽鏡面」としてラベルを割り当て、AIエンジンに予測させて正解（技術者がひび割れあるいは脚線としてアノテーション）とのずれが少なくなるように学習させた。

学習モデルを用いて、テストデータの切羽画像からひび割れを検出した結果の一例を図-5に示す。ひび割れは一部あるいは部分的に検出されており、正解率は81～97%であり、比較的高い値を示している。テストデータの切羽画像から脚線を検出した結果の一例を図-6に示す。脚線は概ね検出されており、正解率は86～100%であり、比較的高い値を示している。

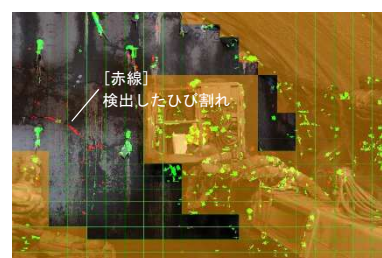


図-5 ひび割れの検出結果

(3) システムの概要

本システムの概要を図-7に示す。前述の撮影機器および解析PCで構成されている。解析PCは、撮影画像のサイズ(40MB)、画像分割数(パッチ数)、ひび割れの検出頻度(1～2分)などから必要な処理能力を想定し、仕様(CPU: Core i7-12700H、メモリ: 16GB、GPU: NVIDIA GeForce RTX 3070Ti(メモリサイズ8GB))を定めた。

5. おわりに

鏡吹付けのひび割れを検出して肌落ちの予兆を知らせるシステムを開発した。今後、本システムを現場に導入して実用性を検証するとともに、現場適用を重ねる中で課題を抽出し、システムの高度化を図りたい。

【参考文献】

- 1) システム計画研究所: AI ひび割れ検出エンジン「ひびここ」、<https://www.hibikoko.com>

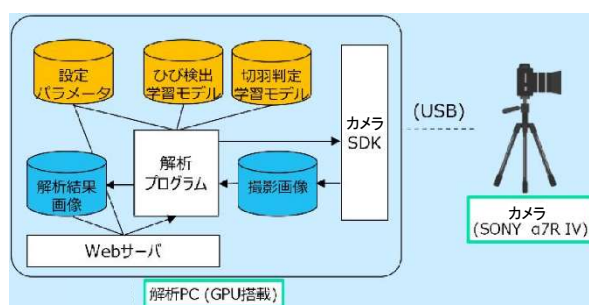


図-7 システムの概要