

トンネル切羽における AI を用いた鏡吹付けコンクリート面のクラック検知システムの開発

清水建設株式会社 正会員 ○有家 舜祐 邊見 涼 淡路 動太

1. はじめに

山岳トンネル工事では、切羽で岩盤が剥離、脱落する「肌落ち」が切羽付近での作業中に発生した場合、重大災害に繋がる恐れがある。平成30年に改正された「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」では、専任された切羽監視員により切羽の状態を常時監視することが求められている。肌落ち発生時に作業員の切羽からの退避時間を確保するためには、肌落ち発生の予兆の一つである鏡吹付けコンクリート面に発生するクラックを瞬時に認識し、警報を発することが有効であると考えられる。そこで、筆者らはAIを用いた画像解析により、鏡吹付けコンクリート面に発生するクラックを常時監視するシステムの開発を行った。本報告では、鏡吹付けコンクリート面のクラックをリアルタイムで検知することができるAIモデルを構築するための学習方法、および構築したモデルのクラック検出性能について述べる。

2. 開発の方法

(1) 概要

鏡吹付けコンクリート面のクラックをリアルタイムで検知するAIモデルを構築するためには、あらゆるパターンのクラックが記録されている映像を教師データとして用意し、Deep Learningを行う必要がある。教師データとして最もふさわしいものは実際に検知対象とする鏡吹付け面に自然発生したクラック映像であるが、大量に様々なパターンのクラック映像を用意することは困難である。そこで、検知対象とする山岳トンネル現場にて鏡吹付けコンクリート面の撮影を行い、想定される様々なパターンのクラックを画像編集ソフトにて疑似的に描写した教師データを用いて学習を行うこととした。この方法で学習を行うことで、大量の教師データを短時間に用意することができ、飛躍的に学習効率を向上させることができる。ただし、この方法で構築されたAIモデルは基本的に疑似クラックを学習したモデルであるため、実際に自然発生した鏡吹付けコンクリート面のクラックが撮影された映像を用いて、その検知性能の検証を行った。

(2) 撮影方法

山岳トンネル工事現場にて、切羽後方10m程度の壁面に設置したアクションカメラで照度200lx程度の条件の下、継続的に鏡吹付けコンクリート面の撮影を行った。(図-1、図-2)撮影サイズは3200×1800pixelである。なお、この条件下では1pixelあたり約6mmに相当する。

(3) 学習方法

教師データとして疑似クラックを描写するにあたり、実際に崩落前に認識されるクラックの幅を参考として描写するクラック幅は1~4pixelとした。(図-3)また、背景パターンとして用意した240パターンの中で、クラック濃度や形態を変化させたものを作成した。教師データ数は、訓練用データとして6251枚、検証用データとして575枚である。



カメラを側壁に設置し撮影

図-1 カメラ撮影状況



図-2 撮影した鏡吹付けコンクリート



図-3 崩落前のクラック幅

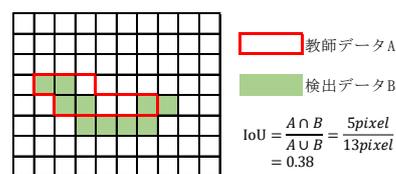


図-4 IoUの計算方法

キーワード 山岳トンネル, 肌落ち災害, 切羽監視, AI, 教師データ

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1 清水建設株式会社 土木技術本部 地下空間統括部

(4) 検証方法

訓練用データで学習した AI モデルを用いて、検証用データに対して解析を行い、その正答率を求めることで検出精度の検証を行った。検出精度については、どの程度のクラック（太さ、不透明度）まで検出できるかに着目して検証を行った。検証の評価指標を下記に示す。



図-5 描写したクラック



図-6 クラック検知の状況

1) IoU (Intersection over Union) : 実際に検出すべき対象部位 (教師データ A) に対して AI モデルにより予測された結果 (検出データ B) の重なり具合の割合を表す。

$$(IoU=A \cap B / A \cup B, \text{図-4})$$

2) Precision : 予測された検出データ B のうち検出すべき教師データ A の割合を表し、この指標が高ければ誤検知が少ないと言える。(Precision= A \cap B / B)

3) Recall : 検出すべき教師データ A に対し、予測された検出データ B の割合を表し、この指標が高ければ検出漏れが少ないと言える。(Recall=A \cap B / A)

3. 結果と考察

1) 教師データの収集方法の有効性

本検証における教師データの収集は、疑似クラックを用いる手法を採用することで、訓練用 6251 枚、検証用 575 枚を 2 ヶ月程度の短時間で用意することができた。また、解析対象とする鏡吹付けコンクリートの撮影には、特別な機器を用いることなく、一般的なアクションカメラを用いて、切羽側面に設置して継続的に撮影を行えることから、映像収集を容易に進めることができた。このように、本学習方法は AI モデルを構築するために常に課題となる教師データの収集効率を飛躍的に高めることができる手法であると考えられる。

2) クラックの検出性能

検証用データ 575 枚で AI モデルの検証を行った結果を表-1 に示す。IoU および Recall に関しては、不透明度が低くなるにつれ検出精度も低くなっている。また Precision に関しては、不透明度の違いに関わらず高くなっていることが分かる。このことから、誤検知率は低いと言えるが不透明度が低くなると検出漏れの発生率が高くなると考えられる。

不透明度	IoU	Precision	Recall
30%	0.57	0.86	0.63
50%	0.73	0.87	0.82
70%	0.78	0.89	0.86

一方、機械掘削現場にて鏡吹付けコンクリートが崩落する状況を撮影した映像に対して本検証で構築された AI モデルを適用することで、実際のクラックに対する検出性能の検証を行った。崩落発生 10 秒前の状況を図-7 に、崩落発生の瞬間を図-8 に示す。この二つの図より、実際のクラックに対しても十分に検出精度を確保していることが分かる。以上より、疑似クラックの教師データで学習した AI モデルでも実際のクラックに対して十分な検知性能を持ち、肌落ちの前兆現象として発生する鏡吹付けコンクリートのクラックを検知可能な AI モデルを構築することができると考えられる。



図-7 崩落発生 10 秒前



図-8 崩落発生の瞬間

4. まとめ

肌落ち災害の前兆現象として期待される鏡吹付けコンクリート面のクラックをリアルタイムに検知する AI モデルの開発を行い、以下の知見が得られた。

- ・疑似クラックを用いた AI モデルの構築方法は、常に課題となる教師データの収集効率を飛躍的に高めることに寄与する手法である。
- ・疑似クラックの教師データで学習した AI モデルでも実際に発生する鏡吹付けコンクリートのクラックを十分に検知可能な AI モデルを構築することができる。

今後、様々な現場での検証を継続し、肌落ち災害防止に寄与することができれば幸いである。

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防止対策に係るガイドライン，2018