

[共通セッション] 土木分野におけるAIの活用

土木分野における AIの活用 (4)

座長：城古 雅典（前田建設工業）

2021年9月9日(木) 14:40 ~ 16:00 CS-6 (Room47)

[CS14-25] 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－研究開発項目と実施概要－

*吉川 正¹、山本 拓治¹、曾根 真理²、鈴木 雅行³、宮嶋 保幸⁴、金岡 幹⁵、高橋 浩⁶、三木 茂⁷、田中 統蔵⁸、野村 貴律⁹（1. 先端建設技術センター、2. 東洋大学、3. 安藤・間、4. 鹿島建設、5. 清水建設、6. 戸田建設、7. 基礎地盤コンサルタント、8. 想画、9. 日本システムウエア）

[CS14-26] 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②－切羽の画像撮影方法の最適化について－

*橋立 健司¹、吉川 正¹、山本 拓治¹、曾根 真理²、辰巳 順一³、宮嶋 保幸⁴、上岡 真也⁵、辻川 泰人⁶、田中 統造⁷、野村 貴律⁸（1.（一財）先端建設技術センター、2. 東洋大学、3.（株）安藤・間、4. 鹿島建設（株）、5. 清水建設（株）、6. 戸田建設（株）、7.（株）想画、8. 日本システムウエア（株））

[CS14-27] 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③

－画像の色補正について－

*田中 統蔵¹、吉川 正²、山本 拓治²、橋立 健司²、曾根 真理³、辰巳 順一⁴、宮嶋 保幸⁵、小島 英郷⁶、杉山 崇⁷、野村 貴律⁸（1. 株式会社想画、2. 一般財団法人先端建設技術センター、3. 東洋大学、4. 株式会社安藤間、5. 鹿島建設株式会社、6. 清水建設株式会社、7. 戸田建設株式会社、8. 日本システムウエア株式会社）

[CS14-28] 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の支援システムのプロトタイプについて－

*野村 貴律¹（1. 日本システムウエア株式会社）

[CS14-29] 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－

*三木 茂¹、吉川 正²、山本 拓治²、近藤 一寿²、曾根 真理³、辰巳 順一⁴、白鷺 卓⁵、上岡 真也⁶、辻川 泰人⁷、野村 貴律⁸（1. 基礎地盤コンサルタント（株）、2.（一財）先端建設技術センター、3. 東洋大学、4.（株）安藤間、5. 鹿島建設（株）、6. 清水建設（株）、7. 戸田建設（株）、8. 日本システムウエア（株））

[CS14-30] 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⑥－AIによる肌落ち予測支援システムのプロトタイプについて－

*村井 和彦¹、吉川 正¹、山本 拓治¹、曾根 真理²、鈴木 雅行³、白鷺 卓⁴、小島 英郷⁵、杉山 崇⁶、三木 茂⁷、野村 貴律⁸（1. 先端建設技術センター、2. 東洋大学、3.（株）安藤・間、4. 鹿島建設（株）、5. 清水建設（株）、6. 戸田建設（株）、7. 基礎地盤コンサルタント（株）、8. 日本システムウエア（株））

[CS14-31] 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⑧－肌落ち災害と対策工の実態分析及びAIによる肌落ち予測への活用について－

*山本 拓治¹、吉川 正¹、橋立 健司¹、杉本 翔平¹、曾根 真理²、鈴木 雅行³、白鷺 卓⁴、上岡 真也⁵、辻川 泰人⁶、田中 統造⁷（1. 一般財団法人 先端建設技術センター、2. 東洋大学、3.（株）安

藤・間、4. 鹿島建設（株）、5. 清水建設（株）、6. 戸田建設（株）、7.（株）想画）

[CS14-32] 山岳トンネルの AI切羽判定システムにおける打突音について

*曾根 真理¹、田中 統蔵⁸、吉川 正²、山本 拓治²、橋立 健司²、辰巳 順一³、宮嶋 保幸⁴、小島 英郷⁵、杉山 崇⁶、野村 貴律⁷（1. 東洋大学、2.（一財）先端建設技術センター、3.（株）安藤・間、4. 鹿島建設（株）、5. 清水建設（株）、6. 戸田建設（株）、7. 日本システムウエア（株）、8.（株）想画）

[共通セッション] 土木分野におけるAIの活用

土木分野における AIの活用 (4)

2021年9月9日(木) 14:40 ~ 16:00 CS-6 (Room47)

[CS14-25] 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 –研究開発項目と実施概要–

Research and development on geological evaluation and
prediction of rock falling of tunnel faces by AI

-Part 1: R&D items and implementation outline

*吉川 正¹、山本 拓治¹、曾根 真理²、鈴木 雅行³、宮嶋 保幸⁴、金岡 幹⁵、高橋 浩⁶、三木 茂⁷、田中 統蔵⁸、野村 貴律⁹ (1. 先端建設技術センター、2. 東洋大学、3. 安藤・間、4. 鹿島建設、5. 清水建設、6. 戸田建設、7. 基礎地盤コンサルタント、8. 想画、9. 日本システムウエア)

*tadashi yoshikawa¹, takaji yamamoto¹, shinri sone², masayuki suzuki³, yasuyuki miyajima⁴, miki kanaoka⁵, hiroshi takahashi⁶, miki shigeru⁷, tanaka tozo⁸, takanori nomura⁹ (1. Advanced Construction Technology Center, 2. Toyo University, 3. Hazama Ando Corporation, 4. Kajima Corporation, 5. Shimizu Corporation, 6. Toda Corporation, 7. Kiso-Jiban Consultants, 8. Sohga , 9. Nippon Systemware Corporation)

キーワード：トンネル、教師データ、切羽画像、機械学習、肌落ち災害防止、AI

tunnel, training data, tunnel face photographs, machine learning, prediction of rock falling of tunnel faces, AI

トンネル切羽の地質評価や肌落ち発生の兆候と防止の判断については、熟練者や経験豊富な専門技術者による切羽の目視観察や切羽状況の把握など、多くが彼らの経験や勘に頼ってきた。本研究開発は、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、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うものである。その結果、未熟練者によるトンネル切羽の地質評価、肌落ち予測、最適な肌落ち防止対策の計画・実施の支援を可能とするものである。

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－

(一財)先端建設技術センター	正会員 ○吉川 正	清水建設㈱	正会員 金岡 幹
(一財)先端建設技術センター	フェロー 山本 拓治	戸田建設㈱	フェロー 高橋 浩
東洋大学	正会員 曽根 真理	基礎地盤コンサルタンツ㈱	正会員 三木 茂
㈱安藤・間	フェロー 鈴木 雅行	㈱想画	正会員 田中 統蔵
鹿島建設㈱	正会員 宮嶋 保幸	日本システムウエア㈱	正会員 野村 貴律

1. はじめに

トンネル切羽の地質評価や肌落ち発生の兆候と防止の判断については、熟練者や経験豊富な専門技術者による切羽の目視観察や切羽状況の把握など、多くが彼らの経験や勘に頼ってきた。本研究開発は、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、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うものである。その結果、未熟練者によるトンネル切羽の地質評価、肌落ち予測、最適な肌落ち防止対策の計画・実施の支援を可能とするものである。

2. 研究開発項目と成果の概要

研究開発対象は、切羽地質評価と肌落ち予測である。それに対してAIを活用するための研究開発の主な項目と実施のフローを図-1,2に、その実施結果の概要を以下に示す。

(1) AIを活用したトンネル切羽の地質評価の支援

1) 既往現場の切羽画像及び同種研究の収集・評価・分析

先ず、施工済み9現場の切羽画像を収集して、評価・分析した結果、ピンボケ、色調・コントラストのバラツキ、画素数や照度の不足、切羽が影や黒板で隠れる等、AIによる評価に対して、適していない画像が多々あることが分かった¹⁾。

2) 切羽画像の撮影の最適化

AI活用による切羽地質評価支援用の切羽画像撮影方法の最適化に向け、現場で調査・試験(図-3)を実施して切羽画像撮影要領(案)を提案¹⁾した。

3) 切羽画像の有効活用

色見本を用いた切羽画像の色補正システムや切羽画像から切羽や支保工等の抽出、影、黒板、鏡ボルト等の人工物を認識するシステムを構築し、不適切な画像の有効活用に取り組んだ。

赤みがかった切羽画像に対する白黒色見本のRGB値による補正例を図-4に、切羽、支保工等の抽出並びに人工物のラベリングのシステムのイメージを図-5に示す。

4) 既往及び新規の切羽画像の機械学習の試行

発注者用の切羽判定表の作成に必要な項目の中から、先ず、地質区分、風化区分、割れ目の頻度について、機械学習等を活用して図-6のように、図表の作成、点数化を図った。

撮影画像例					
照明	現場投光機のみ	持参投光機(L ED昼光色)	持参投光器(L ED電球色)	ジャンボ+現場投光器	ジャンボ+現場投光器(近)
撮影モード	標準	ホワイトバランス蛍光灯	ホワイトバランス白熱灯	標準	標準
色調	自然光に近い色合い	全体的に赤みがかる	全体的に強く青みがかる	僅かに黄色みがある	白飛び(照度大)、僅かな赤み

図-3 切羽画像撮影の最適化に向けた調査・試験結果例

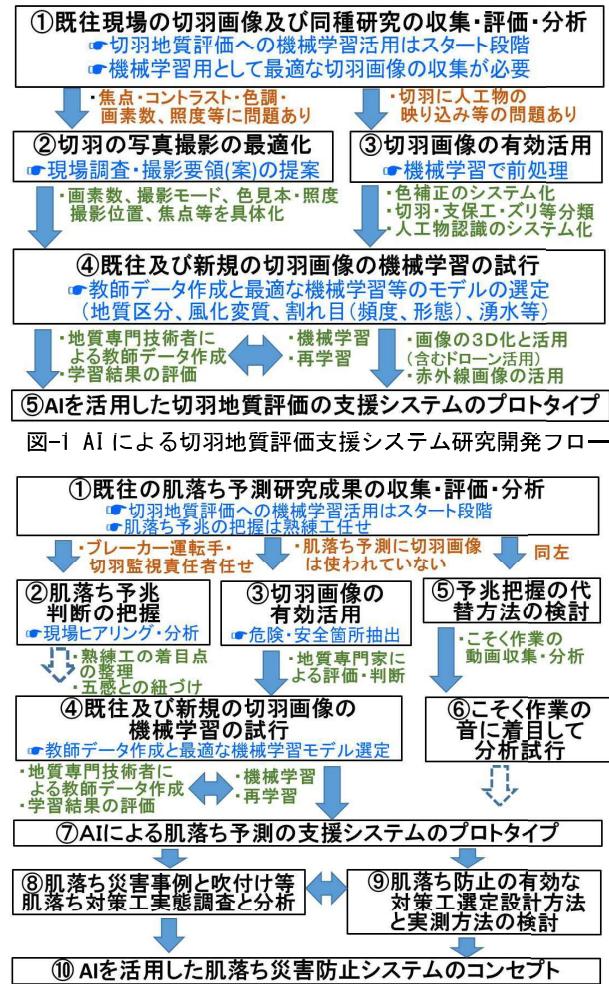


図-1 AIによる切羽地質評価支援システム研究開発フロー

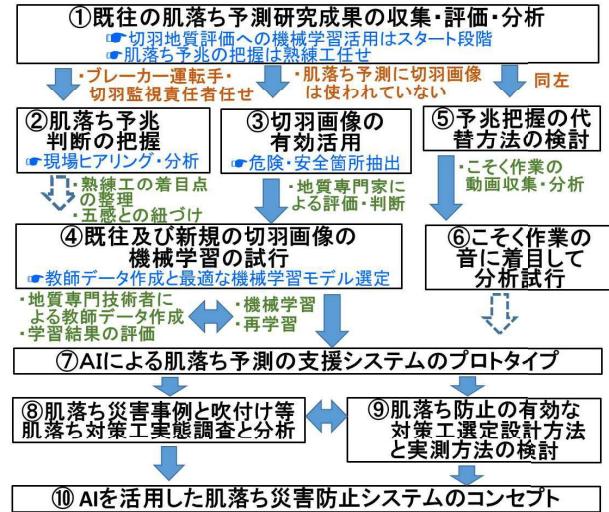


図-2 AIによる肌落ち予測支援システム研究開発フロー



図-4 色見本を用いた補正の例

キーワード トンネル、切羽画像、教師データ、機械学習、肌落ち災害防止、AI

連絡先 〒112-0012 東京都文京区大塚2丁目15番6号 (一財)先端建設技術センター TEL03-3942-3991

表-1 評価対象項目別の使用モデルと教師データの有無

評価対象項目	使用モデル	教師データ
切羽・支保工等区分	SegNet	有
人工物ラベリング	U-Net, YOLOv3	有
地質区分	IIC	無
風化区分	K-means	無
割れ目頻度(間隔)	Canny法	有
肌落ち危険度判定	ResNet50	有

表-1 に評価対象項目別に使用モデルと教師データの有無を示す。

5) AI を活用した切羽地質評価の支援システムのプロトタイプ

図-7 に図-6 の AI による出力結果の図と点数表 (図の左下段) を示す。現場技術者は、現場で切羽を観察しながら、タブレット等に表示された出力結果を参考に、切羽判定表を作成する。

(2) AI による肌落ち予測の支援

1) 既往の肌落ち予測研究成果の収集・評価・分析

図-2 に示したように現場における肌落ちの予測は、こそく作業員や切羽監視責任者等の熟練工任せで、また、切羽画像は活用されていないことが分かった。まずは、肌落ち予測において、AI による切羽画像の有効活用に取り組んだ。

3 現場で、熟練工にヒアリングして、彼らの着目点の把握²⁾やこそく作業の動画の活用も検討したが、本文では割愛する。

2) 既往及び新規の切羽画像の有効活用と機械学習の試行

最初に、地質の専門技術者が切羽画像から肌落ち危険箇所と安全箇所の両方の教師データを抽出した。危険箇所のパターンは、a:トンネル外周部、b:岩塊の抜け落ち跡、f:風化変色部、c:割れ目に沿った切羽の凸凹等 9 パターンについてそれぞれ教師データを作成した。また、教師データと実際の肌落ち画像と比較して、教師データそのものの妥当性も検証した。

それらの教師データと表-1 に示すモデルを用いて学習・予測を実施し、さらに、その結果を専門技術者が評価して、その結果を再学習して肌落ち予測の正答率の向上を図っている (図-8)。

3) AI による肌落ち予測支援システムのプロトタイプ

肌落ち危険箇所の予測結果として、切羽の幾つかの箇所をタブレットやパソコンに黄色の矩形で表示させ、同時に、それらの背面カメラで重ね合わせることで、切羽監視責任者が自分で肌落ち危険箇所を認識及び坑夫への危険予知を支援する (図-9)。

4) AI を活用した肌落ち防災システムのコンセプト

図-2 に示すように、肌落ち災害事例と吹付け等肌落ち対策工実態調査と分析並びに肌落ち防止の有効な対策工選定設計方法と実測方法を検討した。その結果は別の論文で詳述する。

3. 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支援システムは正答率の更なる向上と評価対象項目の追加が不可欠である。引き続き研究開発と新規現場での活用と改善を繰り返して、汎用性の高いものに作り込んでいきたいと考える。

なお、本報告は、国土交通省建設技術研究開発助成並びに(一財)先端建設技術センター自主研究開発の成果の一部である。

参考文献

- 木山智裕他：山岳トンネルにおける機械学習用切羽写真について—現状の写真と撮影環境および撮影方法の提案—、年次学術講演会講演概要集、Vol. 75, CS15-22, 2020
- 杉本翔平他：山岳トンネルにおける AI による肌落ち予測に向けた熟練作業員の知見について—肌落ちにおける熟練作業員の気付きと知見及びその予知方法—、年次学術講演会講演概要集、Vol. 75, CS15-18, 2020

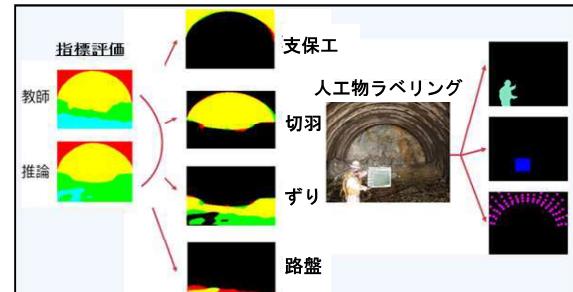


図-5 切羽・支保工等の区分と人工物ラベリングイメージ

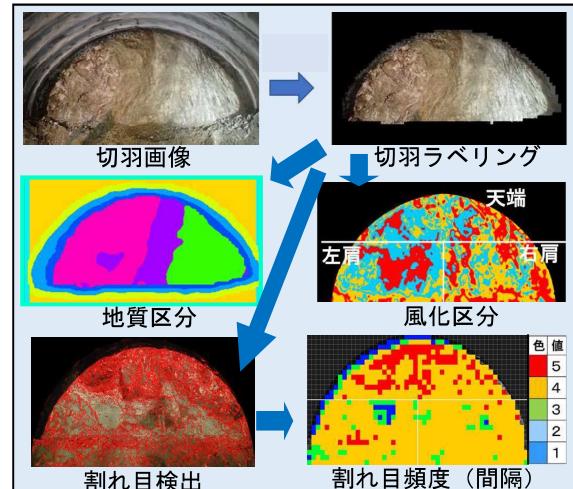


図-6 評価対象項目別の出力結果例



図-7 AI による切羽地質評価支援システム運用イメージ

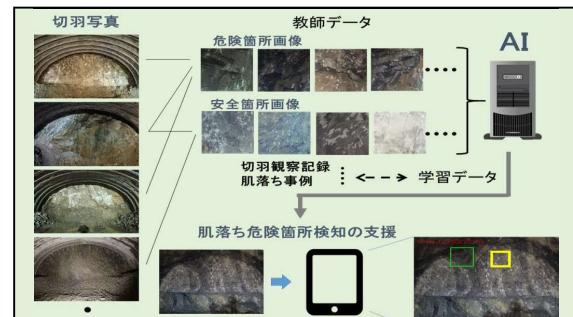


図-8 AI を活用した肌落ち予測システム構築イメージ



図-9 AI を活用した肌落ち予測支援システム運用イメージ

[共通セッション] 土木分野におけるAIの活用

土木分野における AIの活用 (4)

2021年9月9日(木) 14:40 ~ 16:00 CS-6 (Room47)

[CS14-26] 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②－切羽の画像撮影方法の最適化について－

Research and development on geological evaluation and prediction of rock falling of tunnel faces by AI

-Part 2: Optimization of shooting procedure of tunnel face photographs

*橋立 健司¹、吉川 正¹、山本 拓治¹、曾根 真理²、辰巳 順一³、宮嶋 保幸⁴、上岡 真也⁵、辻川 泰人⁶、田中 統造⁷、野村 貴律⁸ (1. (一財) 先端建設技術センター、2. 東洋大学、3. (株) 安藤・間、4. 鹿島建設(株)、5. 清水建設(株)、6. 戸田建設(株)、7. (株) 想画、8. 日本システムウエア(株))

*Kenji Hashidate¹, Tadashi Yoshikawa¹, Takuji Yamamoto¹, Sinri Sone², Junichi Tatumi³, Yasuyuki Miyajima⁴, Shinya Ueoka⁵, Yasuhito Tsujikawa⁶, Tozo Tanaka⁷, Takanori Nomura⁸ (1. Advanced Construction Technology Center, 2. Toyo University, 3. HAZAMA ANDO CORPORATION, 4. KAJIMA CORPORATION, 5. SHIMIZU CORPORATION, 6. TODA CORPORATION, 7. SOHGA Company, Limited, 8. NIPPON SYSTEMWARE Company, Limited)

キーワード：山岳トンネル、切羽画像、撮影方法、機械学習、AI活用

mountain tunnel, photography of tunnel face, Photography method, Machine learning, utilized AI

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を行うため、昨年度は、山岳トンネルにおける機械学習用切羽画像の課題抽出とこれを改善するための撮影方法の提案を行った。本報告は、山岳トンネル現場において提案した切羽写真撮影要領(案)にしたがい撮影を行い、本結果から得られた改善点を反映し、AI活用に向けた切羽撮影環境・撮影方法の最適化について提案を行うものである。また、切羽正面、左右の3枚の画像を撮影することにより3D画像を作成することが出来ることを確認した。

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②

－切羽の画像撮影方法の最適化について－

(一財)先端建設技術センター 正会員 ○橋立 健司
 (一財)先端建設技術センター 正会員 吉川 正
 (一財)先端建設技術センター フェロー 山本 拓治
 東洋大学 正会員 曽根 真理
 (株)想画 正会員 田中 統藏

(株)安藤・間 正会員 辰巳 順一
 鹿島建設(株) 正会員 宮嶋 保幸
 清水建設(株) 正会員 上岡 真也
 戸田建設(株) 正会員 辻川 泰人
 日本システムウェア(株) 正会員 野村 貴律

1.はじめに

昨年度は、山岳トンネルにおける機械学習用切羽画像の課題抽出とこれを改善するための撮影方法の提案を行った¹⁾. 本報告は、山岳トンネル現場において提案した切羽写真撮影要領(案)にしたがい撮影を行い、本結果から得られた改善点を反映し、AI活用に向けた撮影環境・撮影方法の最適化について提案を行うものである。

2.機械学習に用いる場合の切羽画像の課題と対策

昨年度報告した機械学習に用いる切羽画像の課題は、①画像のコントラストや色調の変化、②切羽鏡面に焦点が合っていない、③手振れによる不鮮明な画像、④画像の画素数が小さく機械学習に使用出来ない、⑤影や黒板等の人工物が入っている等が挙げられる。これらの対策としては、①色見本と一緒に撮影する、②切羽鏡面に焦点を合わせて撮影する、③三脚を使用して手振れを防止、④撮影モードの画素数を1200万画素以上とする、⑤については別途検討するとしていた。

3.物体検出

⑤の人工物等が写っている画像については、画像をセグメンテーション(領域分割)し、物体検出(図1参照)することにより切羽画像を特定し、機械学習に用いることが出来ることを確認している。

4.現場撮影による確認

提案した切羽写真撮影要領(案)¹⁾に従い現場で撮影を行い、妥当性を確認した。なお、切羽近傍の照度を70~150Lx程度確保し、撮影を行った。①の色見本の設置位置を図2に、色見本例を図3に示す。②の焦点については撮影モードをAUTOに設定し、切羽鏡面に合わせるよう注意を払い撮影した。③の手振れ防止策は、三脚を使用した場合としない場合の画像を比較し、検証を行った。④撮影モードの画素数は1200万画素以上に設定した。現場撮影の結果、③については、三脚使用有・無の画像で特に変化は見られなかった。ただし、照度が70Lx以下になると三脚無しの画像は手振れが顕著に見られた。このため、照度が70Lx以下になる場合には三脚を使用した撮

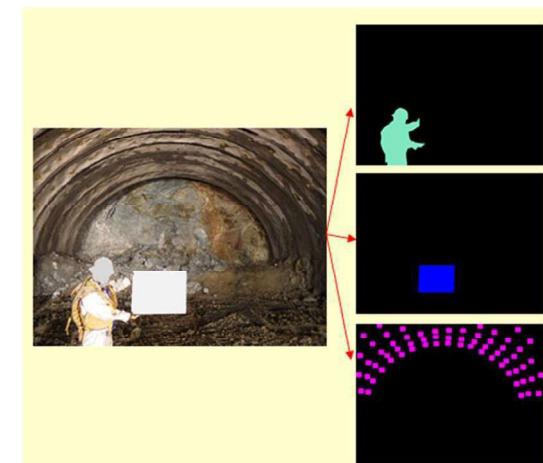


図1 物体検出例

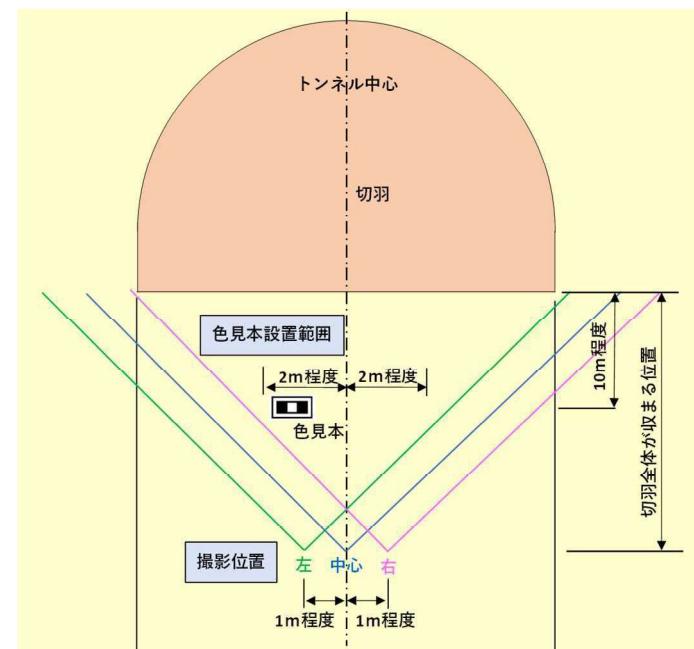


図2 切羽画像撮影位置

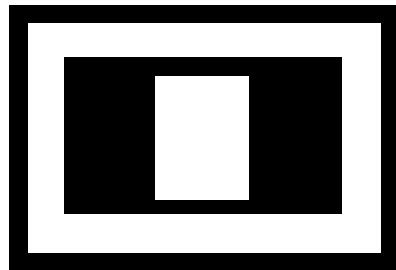
キーワード 山岳トンネル、切羽画像、撮影環境・方法、機械学習、AI 解析

連絡先 〒112-0012 東京都文京区大塚2-15-6 (一財)先端建設技術センター TEL 03-3942-3991

影が必要になると考えられる。

5. 3D画像の作成用撮影

切羽画像から肌落ち予測等を行う場合に3D画像を用いることは、正面から撮影した画像からは分かりづらかった割れ目等が検出しやすくなると考えられる。このため、3D画像を作成するための撮影方法について図2に示す。図2に示すように切羽の中心で撮影(写真1)し、左右1m程度切羽面に對して各1枚撮影する。撮影した3枚の画像をMetashapeにより3D画像を作成する。3枚の画像から作成した3D画像の例を写真2に示す。写真2に示すように3D画像では切羽が、立体的に認識できる。今後は、本画像を用いて割れ目の頻度などについて利用の可能性を検討していく予定である。



色名	Color Name	RGB	CMYK
黒	black	0, 0, 0	92, 88, 89, 80
白	white	255, 255, 255	0, 0, 0, 0

図3 色見本（白黒の例）



写真1 正面画像



写真2 Metashapeによる3D画像

6. AI活用に向けた撮影環境・撮影方法の提案

今回現場で撮影を行った結果を取りまとめた、AI活用に向けた切羽撮影環境と撮影方法（案）を図4に示す。図4に示す提案は、あくまで山岳トンネルのAI活用に向けた撮影環境と撮影方法を示したものである。

7. おわりに

山岳トンネルのAI活用に向けた切羽撮影環境と撮影方法（案）を提案した。本研究は国土交通省建設技術研究開発助成制度の成果と（一財）先端建設技術センター自主研究の成果の一部である。

【参考文献】1)木山他：「山岳トンネルにおける機械学習用切羽写真について—現状の写真と撮影環境および撮影方法の提案ー」，土木学会第75回年次学術講演会講演集，CS15-22, 2020.

. カメラの設定

1200万以上の画素数、データ形式JPEG、撮影モードAUTO、フラッシュOFF

. 撮影準備

1) 色見本の設置

色見本を切羽から10m程度離れた、トンネル中心から左右2m程度の範囲内位置にカメラに正対させ、ほぼ水平に設置（図2参照）。設置時は、照明で色見本が反射しない、影が入らないようにする。色見本の設置は岩盤判定会議及び発注者立会時とし、カメラや照明の変更などで画像や色調等の変化の懸念がある場合には適宜使用。

2) 切羽近傍の照度

70～150Lxを確保する。

. 撮影方法

切羽全体が収まるトンネル中心位置で切羽鏡面に焦点を合わせ撮影し、左右1m程度切羽面に對して各1枚撮影する。なお、左右の撮影時に切羽の両端が入ること（図2参照）。

. 撮影時の留意点

ズームは原則使用しない（1200画素を確保できる場合は使用可能）。

画像の切羽部分に黒板や人工物等の影が入らないようにする。

撮影時の照度が不十分（70Lx以下）の場合には、三脚を使用して手振れを防止する。

※切羽の天端、左右の肩の撮影については発注者の仕様書を参考とする。

図4 AI活用に向けた切羽撮影環境と撮影方法（案）

[共通セッション] 土木分野におけるAIの活用

土木分野における AIの活用 (4)

2021年9月9日(木) 14:40 ~ 16:00 CS-6 (Room47)

[CS14-27] 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③

－画像の色補正について－

Research and development on geological evaluation and
prediction of rock falling of tunnel faces by AI
-Part 3: Color correction of tunnel face photographs

*田中 統蔵¹、吉川 正²、山本 拓治²、橋立 健司²、曾根 真理³、辰巳 順一⁴、宮嶋 保幸⁵、小島 英郷⁶、杉山 崇⁷、野村 貴律⁸ (1. 株式会社想画、2. 一般財団法人先端建設技術センター、3. 東洋大学、4. 株式会社安藤間、5. 鹿島建設株式会社、6. 清水建設株式会社、7. 戸田建設株式会社、8. 日本システムウエア株式会社)

*Tozo Tanaka¹, Tadashi Yoshikawa², Takuji Yamamoto², Kenji Hashidate², Shinri Sone³, Junichi Tatsumi⁴, Yasuyuki Miyajima⁵, Hidesato Kojima⁶, Takashi Sugiyama⁷, Takanori Nomura⁸ (1. SOHGA CO LTD, 2. Advanced Construction Technology Center, 3. Toyo University, 4. HAZAMA ANDO CORPORATION, 5. KAJIMA CORPORATION, 6. SHIMIZU CORPORATION, 7. TODA CORPORATION, 8. NIPPON SYSTEMWARE CO.,LTD.)

キーワード：山岳トンネル、色補正、色見本、切羽写真、輪郭検出、AI

mountain tunnel, Color correction, Color sample, A photo of kiriha, Contour detection,
Artificial intelligence

山岳トンネル工事における切羽を撮影した画像からは、割れ目の程度、風化変質、地質区分等の分析、肌落ち可能性の予測等が期待できる。風化変質や地質区分等の分析には切羽の色合いが重要な情報となるが、撮影に用いたカメラやレンズフィルタの性質、坑内照明等の環境要因によって、撮影された画像の色合いは変化する。撮影現場によって色合いが統一されない場合、色あいを基準とした分析は現場ごとに閾値の変更を要するという課題が生じる。この課題の対策として、予め色情報を定義した色見本を作成し、切羽撮影時に色見本を含めた画像を撮ることで、撮影環境による色合いの変化を補正することを試み、良好な補正結果を得られた。

From the images of the kiriha taken in the mountain tunnel construction, it can be expected to analyze the degree of cracks, weathering alteration, geological classification, etc. In case of the hues are not unified depending on the shooting site, we recommend to use a color sample defined in advance, and tried to correct the change in hue due to the shooting environment by taking an image including the color sample at the time of kiriha shooting, and obtained good correction results.

山岳トンネルの切羽観察・評価に向けた画像の色補正について —色見本を用いた色補正プログラム—

(株)想画	正会員 ○田中 統藏	(株)安藤・間 正会員 辰巳 順一
(一財) 先端建設技術センター	正会員 吉川 正	鹿島建設(株) 正会員 宮嶋 保幸
(一財) 先端建設技術センター	フェロー 山本 拓治	清水建設(株) 正会員 小島 英郷
(一財) 先端建設技術センター	正会員 橋立 健司	戸田建設(株) 正会員 杉山 崇
東洋大学	正会員 曾根 真理	日本システムウエア(株) 正会員 野村貴律

1. はじめに

山岳トンネル工事における切羽を撮影した画像からは、割れ目の程度、風化変質、地質区分等の分析、肌落ち可能性の予測等が期待できる。風化変質や地質区分等の分析には切羽の色合いが重要な情報となるが、撮影に用いたカメラやレンズフィルタの性質、坑内照明等の環境要因によって、撮影された画像の色合いは変化する。撮影現場によって色合いが統一されない場合、色あいを基準とした分析は現場ごとに閾値の変更を要するという課題が生じる。この課題の対策として、予め色情報を定義した色見本を作成し、切羽撮影時に色見本を含めた画像を撮ることで、撮影環境による色合いの変化を補正することを試みた。

2. 切羽画像の色補正結果

(1) 撮影環境による色合い変化

写真-1, 2, 3は同一現場においてカメラの撮影モードを変えて撮影したものである。これらは色合い変化が顕著な例ではあるが、投光器や坑内照明が白熱電球を用いていれば全体が暖色に、蛍光灯を用いていれば全体が寒色の色合いに変化する。

(2) 色補正に用いる色見本

図-1の色見本は、表-1, 2に示す色情報で作成した色見本である。この色見本を切羽の前方に配置し撮影することで、色見本を含んだ切羽画像が得られる。色見本は表-1のように黒部分はRed, Blue, Greenとも階調値は0であるところ、得られた画像は撮影環境により色合いが変化するため、暖色に色合いが変化した現場であればRedの階調値が20に引き上がるといった変化をする。この場合、画像全体のRedの階調値を引き下げるか、補色関係にあるBlue, Greenの階調値を引き上げる画像処理を行うことで、本来の階調分布に補正され、撮影環境による色合い変化を低減できる。

(3) 色見本の検出手順

画像から色見本部分を検出する手法としては、元画像(写真-4)にガンマ補正を行うことで階調差を強調(写真-5)し、グレースケール化(写真-6)した階調値を最小110～最大253の閾値で二値化(写真-7)することで外周の白枠を検出する。ノイズを除去するため途切れた線分を結合する膨張処理をかけ、輪郭検出を行う。得られた輪郭のうち、面積が5000ピクセル以下のものを除外し、輪郭の凸包及び近似処理を行い、四角形状の輪郭のみを色見本と推定している。検出に用いた閾値等の値は、現場で撮影された複数の写真を元に適合する数値を求めたものであるため、極端に条件の異なる現場に対しては閾値の調整を要する可能性がある。



写真-1 撮影モード: 標準



写真-2 撮影モード: ホワイトバランス蛍光灯



写真-3 撮影モード: ホワイトバランス白熱灯

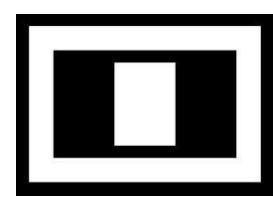


図-1 色見本

表-1 色見本の色定義
(RGB 表記)

色	Red	Blue	Green
黒	0	0	0
白	255	255	255

表-2 色見本の色定義
(CMYK 表記)

色	Cyan	Magenta	Yellow	Black
黒	93	88	89	80
白	0	0	0	0



写真-4 元画像



写真-5 ガンマ補正



写真-6 グレースケール化



写真-7 二値化

キーワード 山岳トンネル、色補正、色見本、切羽写真、輪郭検出、AI

連絡先 〒112-0012 東京都文京区大塚2丁目15番6号 (一財)先端建設技術センター TEL03-3942-3991

検出した色見本は左から黑白黒の順で配置されている。点対称のデザインにすることで、上下逆に配置された場合でも検出可能とした。色見本領域の中央部は白であるべき領域のため、中央付近の画素をHSV変換し、明度（Value）が190未満であれば誤検出として除外する。色見本領域の黒に相当する左右30%相当の画素をHSV変換し、色相（Hue）差が90を越えているか、白相当の画素と黒相当の画素の色相差が250未満であれば除外する。白相当の画素と黒相当の画素の選出には、色見本領域を3等分した各範囲の平均色を用いた。

(4) 色補正手順

(3) で示した手順に従って検出した色見本の白と黒の画素を用いて、画像全体の色調を補正する。例として写真-8における色見本の黒部分の階調値はRed:75, Blue:66, Green:67である。定義では各階調とも0であるべきところRedだけが突出しており、全体的に赤みがかった写真になっている。階調値の釣り合いがとれるようRedを減算した写真-9の黒部分はRed: 67, Green: 66, Blue: 67である。補正前は赤みがかっていたため、相対的に補正後は赤みが減り、補色関係にある水色寄りに感じられるが、階調値の偏りがなくなり照明等による色変化を抑えられた画像が得られている。色見本の黒部分の画素で画像全体の暗い部分（階調値128未満）を補正し、色見本の白部分の画素で画像全体の明るい部分（階調値128以上）を補正することで、階調に応じた自然な色補正となる。どのような形状の色見本であっても、白と黒に相当する画素を選出できれば色補正の手順は共通である。

画像加工により意図的に色調を変化させた画像に対しても、同じ手法で元画像に近似した補正結果を得られた例を写真-10～15に示す。この例では実験的に10色の色見本を用いているが、補正に使用したのは色見本中の白と黒部分のみであり、いずれも自然な色調へ補正できた。



写真-10 補正

写真-11 補正後

写真-12 補正

写真-13 補正後

写真-14 補正

写真-15 補正後

(5) 色補正の妨げとなる現象

写真-16は、色見本に重機の影が重なっている。濃い影が色見本に重なる場合、図-2のように二値化した際に白枠が正しく認識されず色見本の検出に失敗する場合がある。色補正に際しては、影の重なりを避けて撮影することが望ましい。

写真-17, 18は照明が色見本に強く反射し、黒部分の画素を得られないことで色見本検出に失敗する例である。これらの対策としては、黒色のナイロンパイルを静電植毛したレーヨン織物基布や、極細発泡のポリウレタンシートを用いて黒部分をマスキングする手法が挙げられる。内面反射防止性能を高めることで、照明の反射による影響低減が期待できる。

3. まとめ

白及び黒からなる色見本を用いることで、撮影に用いたカメラやレンズフィルタの性質、坑内照明等の環境要因による色変化の補正が可能であることを確認できた。今後、色補正により偏りを抑えた画像を用いて、風化変質や地質区分等の分析の他、機械学習を用いたデータの利活用に結び付け、山岳トンネルの切羽観察・評価品質の向上を図って行きたいと考える。

なお、本報告は、国土交通省建設技術研究開発助成並びに（一財）先端建設技術センター自主研究開発の成果の一部である。



色	Red	Blue	Green
黒	75	66	67
白	242	242	242

写真-8 補正前

色	Red	Blue	Green
黒	67	66	67
白	255	255	255

写真-9 補正後

（6）影による検出失敗



写真-16 色見本に影が重なった画像



図-2 写真-16の色見本部分を検出手順に沿って二値化したもの



写真-17 強い照明が用いられた画像



写真-18 写真-17の色見本部分を拡大したもの

[共通セッション] 土木分野におけるAIの活用

土木分野における AIの活用 (4)

2021年9月9日(木) 14:40 ~ 16:00 CS-6 (Room47)

[CS14-28] 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の支援システムのプロトタイプについて –

Research and development on geological evaluation and prediction of rock falling of tunnel faces by AI

-Part 4: Prototype of AI-based support system for geological evaluation of tunnel faces

*野村 貴律¹ (1. 日本システムウェア株式会社)

*Takanori Nomura¹ (1. NIPPON SYSTEMWARE CO.,LTD.)

キーワード : AI、デープラントンギング、機械学習

artificial intelligence, Deep Learning, Machine Learning

本研究は、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を目的として、専門技術者の目視による切羽の観察や切羽状況の把握、切羽地質の評価、肌落ち発生の兆候等のデータを分析した結果を踏まえて、AIに学習させることで地質区分（地質スケッチ）の評価、割れ目の頻度の評価、風化変質の評価を自動で算出する切羽地質評価支援システムのプロトタイプを構築するものである。

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-

日本システムウエア㈱
(一財)先端建設技術センター
㈱安藤・間
清水建設㈱
東洋大学

正会員 ○野村 貴律 (一財)先端建設技術センター
フェロー 山本 拓治 (一財)先端建設技術センター
フェロー 鈴木 雅行 鹿島建設㈱
正会員 小島 英郷 戸田建設㈱
正会員 曾根 真理 基礎地盤コンサルタンツ㈱

正会員 吉川 正
正会員 村井 和彦
正会員 宮嶋 保幸
フェロー 高橋 浩
正会員 三木 茂

1. はじめに

筆者らは、AI技術と画像処理技術を用いる山岳トンネル切羽評価支援システムを構築している¹⁾。本稿では、一連の検討を踏まえて作成した切羽地質評価の支援システムのプロトタイプ開発について概要を報告する。

2. システムの概要

本システムは、切羽画像よりAI技術を用いて表-1に示す切羽観察票に記載の評価項目を自動で算出するシステムである。現在、風化変質、割れ目の頻度、割れ目の形態についてのプロトタイプシステムが完成しており、順次評価項目を増やしている。また、地質スケッチを自動で作成するシステムの構築にも取り組んでいる。

2-1. 地質区分（地質スケッチ）の評価

地質区分の評価は、教師なし学習である IIC²⁾ (Invariant Information Clustering) を使用している。IIC のアルゴリズムでは、図-1の x と x' のペアとなる画像から相互情報量を最大化するように学習を行いクラス分類している。クラス分類数は事前にパラメータ設定を行うことで数を制限することができ、25色に設定し

た。IIC の特徴は色の境界や割れ目等の鋭角な特徴をクラス分類することができるのことである。表-2は地質専門家が解析結果を評価したものであり、概ね良好と部分的に良好を合わせると 70%以上の適合が見られた。図-2に IIC の結果画像を示す。岩種等の地質境界については、まだ問題がある。

2-2. 割れ目の頻度の評価

割れ目の頻度の評価は、Canny 法によりエッジ検出し、その結果を実際の割れ目の頻度と相關させる線形回帰による手法を採用した。Canny 法とは画像のノイズ削減・輝度勾配の検出・非極大値の抑制を行うことでエッジ検出を行う手法である。今回は切羽上の割れ目のある箇所を短

表-1 切羽観察票の例

評価区分（並列地点の地山の状態と挙動）	評価区分			
	左肩	天端	右肩	
直筋 強度 返る	1. $\sigma_c = 100 \text{ MPa}$ ハマー打撃はね	2. $100 \text{ MPa} > \sigma_c >$ 20 MPa ハマー打	3. $20 \text{ MPa} > \sigma_c >$ 5 MPa	4. $\sigma_c = \sigma$ ハマー打撃はね
風化 変質	1. なし・壁全 2. 若目に沿って変 色、強度やや低下	3. 全体に変色、強 度相当に低下	4. 土砂状、粘土状、 破壊、当初より未固 結	3 3 2
風化 変質	1. 間隔 $d = 1 \text{ m}$ 割れ目なし	2. $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > d \leq 5 \text{ cm}$	4. $d < 5 \text{ cm}$ 破壊当初より未固 結
割れ目 の密度	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 開口	4. 土を剥む、当初 より未固結
割れ目 の形態	1. ランダム方形	2. 柱状	3. 斧状、片状、 板状	4. 土砂状、粘土状、 当初より未固結
湧水	1. なし・滲水程度	2. 滲水程度	3. 集中湧水	4. 全面湧水
水によ る劣化	1. なし	2. 痕みを生ず	3. 軟弱化	4. 滑走、流出

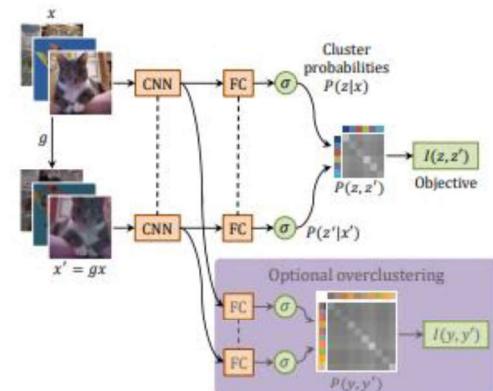


図-1 IIC アルゴリズム

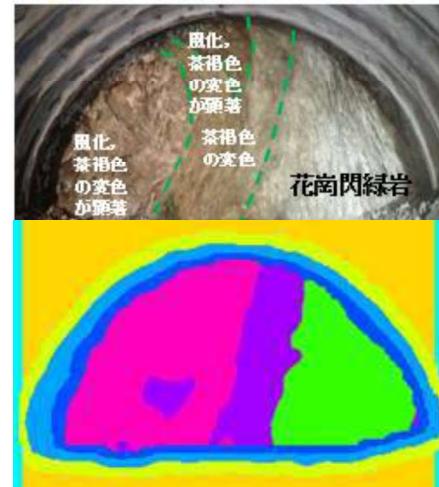


図-2 IIC の結果画像

キーワード 山岳トンネル、AI、切羽画像、深層学習、画像分類手法

連絡先 〒112-0012 東京都文京区大塚2丁目15番6号 (一財)先端建設技術センター TEL03-3942-3991

径で区切り、エッジ検出を行った結果から割れ目密度を計算して入力データとした。また地質専門家によって入力画像の短径内の割れ目の頻度を実測し評価した数値データを教師データとして線形回帰による予測を行った。入力データについては、割れ目のある箇所の短径で区切った実測画像 19 枚を使用した。線形回帰の結果を図-3 に示す。その結果、割れ目の頻度（間隔）は $(y) = 3.53 \times \text{密度の逆数}(x)$ となった。図-4 は切羽画像の例、図-5 は割れ目の頻度の解析結果と評価点である。天端、右肩、左肩の面積割合が計算されるため、より定評的であり実際の現場評価との整合性も高い確率で確認された。

2-3. 風化変質の評価

風化変質の評価は K-means によるクラスタリング、ベイズ最適化によるラベル評価を手法として採用した。K-means は与えられたデータを任意のクラスタ数に分け、クラスタの重心を計算した後、クラスタの再配置を行うステップを、繰り返すことによってデータを任意の数のクラスタに分類する手法である。今回の場合は画像のピクセルを入力、クラスタ数を 10 とすることで、入力データに対する代表的な RGB のデータを推定するように学習を行った。ベイズ最適化とはパラメータ探索の手法の 1 つであり、ベイズ更新を用いることで高効率なパラメータ探索が可能となる手法である。今回の場合、K-means でピクセル毎に 10 クラスに分類したデータと地質専門家による評価点が最適となるようにパラメータ推定を行った。教師データは、各評価点に対応した典型的な切羽画像 78 枚を、再度地質専門家により、左肩、天端、右肩の区分で再評価したものを使用した。図-6 は風化変質の解析結果である。風化変質の正答率も比較的高い精度となることが確認された。

3.まとめ

今回のプロトタイプの開発では、撮影条件の極端に悪い暗い画像、低解像度、色ずれした画像はできるだけ対象外とし、極力品質の良い画像のみを選別することで評価を行ったが、参考文献 1 に示す撮影基準に従った画像ではないため現場ごとの画像品質にばらつきがみられ、正答率にも元画像の品質が大きく影響している。特に、地質区分、風化変質については色に左右されるため、色ずれが発生しないよう色見本や色補正が重要となる。

また、割れ目の頻度については画像の解像度が重要な要素を占めるため、高解像度（800 万画素以上の解像度）が望ましい。

今後の展開としては、データ数を増やすことで未知のテストデータに対する識別能力を高めて、正答率の向上を目指すとともに、他の地質評価区分についても検討を進める予定である。

参考文献

- 吉川 正ら : 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、② 2021 年土木学会学術年次講演会論文（投稿中）
- Xu Ji, João F. Henriques, Andrea Vedaldi: Invariant Information Clustering for Unsupervised Image Classification and Segmentation, arXiv preprint arXiv:1807.06653v4 [cs.CV] 22 Aug 2019.

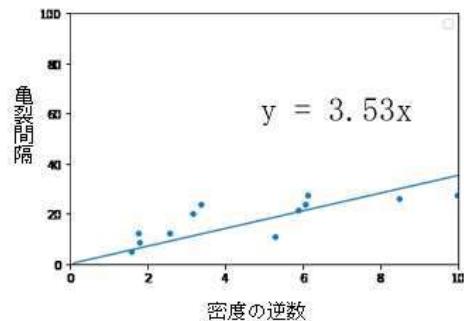


図-3 線形回帰の結果



図-4 切羽画像

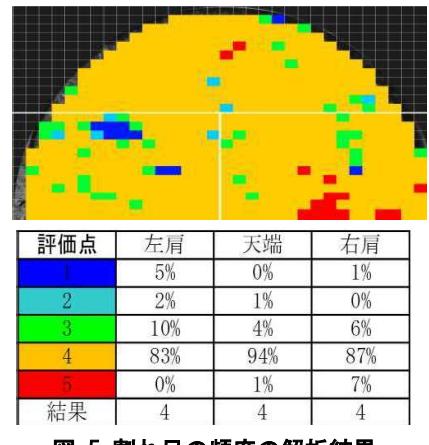


図-5 割れ目の頻度の解析結果

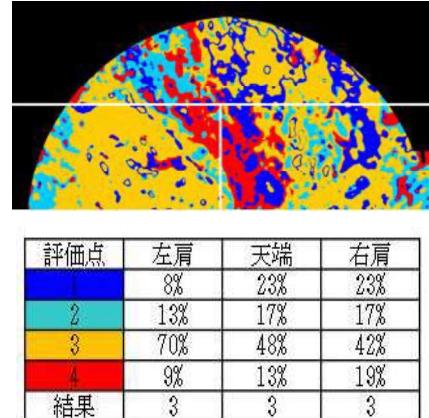


図-6 風化変質の解析結果

[共通セッション] 土木分野におけるAIの活用

土木分野における AIの活用 (4)

2021年9月9日(木) 14:40 ~ 16:00 CS-6 (Room47)

[CS14-29] 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－

Research and development on geological evaluation and prediction of rock falling of tunnel faces by AI -Part 5: Training data for rock falling prediction by tunnel face photographs

*三木 茂¹、吉川 正²、山本 拓治²、近藤 一寿²、曾根 真理³、辰巳 順一⁴、白鷺 卓⁵、上岡 真也⁶、辻川 泰人⁷、野村 貴律⁸ (1. 基礎地盤コンサルタント(株)、2. (一財)先端建設技術センター、3. 東洋大学、4. (株)安藤間、5. 鹿島建設(株)、6. 清水建設(株)、7. 戸田建設(株)、8. 日本システムウエア(株))

*Shigeru Miki¹, Yoshikawa Tadashi², Takuji Yamamoto², Kazutoshi Kondo², Shinri Sone³, Junichi Tatsumi⁴, Suguru Shirasagi⁵, Shinya Kamioka⁶, Yasuto Tsujikawa⁷, Takanori Nomura⁸ (1. Kiso-Jiban Consultants Co.,Ltd., 2. Advanced Construction Technology Center, 3. Toyo University, 4. HAZAMA ANDO CORPORATION, 5. KAJIMA CORPORATION, 6. SHIMIZU CORPORATION, 7. TODA CORPORATION, 8. NIPPON SYSTEMWARE CO., LTD.)

キーワード : AI、トンネル、肌落ち、切羽観察写真

artificial intelligence, tunnel, rock falling of tunnel face, tunnel face photograph

肌落ち予測は、切羽作業の安全性確保のため重要であり、AIによる自動予測が期待されている。しかし、AIの教師データの収集とデータ数が問題となる。そこで、切羽写真の活用が考えられる。教師データとして技術者が切羽写真から予測した肌落ち箇所の妥当性を確認するため、実際に発生した肌落ちとの比較検証を行った。その結果、技術者の予測にバラツキはあるが、安全側の予測であり、複数の技術の予測で見落としを防止できることが明らかになった。また、実際の肌落ちと技術者の予測のパターンは類似していた。本報告は、技術者が切羽写真より肌落ち予測を行い、教師データとして用いることの妥当性を示すものである。

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 一切羽画像から肌落ち予測の教師データについてー

基礎地盤コンサルタンツ（株） (一財)先端建設技術センター (一財)先端建設技術センター (一財)先端建設技術センター 東洋大学	正会員 正会員 正会員 非会員 正会員	○三木 茂 吉川 正 山本 拓治 近藤 一寿 曾根真理	（株）安藤ハザマ 鹿島建設（株） 清水建設（株） 戸田建設（株） 日本システムウエア（株）	正会員 正会員 正会員 正会員 正会員	辰巳 順一 白鷺 卓 上岡 真也 辻川 泰人 野村 貴律
--	---------------------------------	---	---	---------------------------------	--

1.はじめに

肌落ちの予測は、切羽作業の安全性確保のため重要であるが、現場作業員および技術者により経験的に行わってきた。さらなる安全性確保、コソク作業の自動化に際して、AIによる自動予測が期待されている。しかし、AIの教師データとなる肌落ちデータの収集とデータ数が問題となる。そこで、切羽写真の活用が考えられるが、切羽写真から予測した肌落ち箇所の妥当性が課題となる。ここでは、切羽写真から地質技術者が指摘した肌落ち予測と実際に発生した肌落ちの比較検証を行った結果を報告する。

2.対象トンネルと肌落ち状況

対象トンネルは、延長約2kmの自動車専用トンネルであり、地質は花崗閃緑岩である。約432mの区間において吹付剥落のモニタリングを行った結果、約235mの区間で、35切羽56箇所で鏡吹き後の剥落が観察された。なお、モニタリング区間において、肌落ち予測に用いた切羽写真数は78であり、剥落が発生した35切羽の切羽写真も含まれる。剥落が生じた切羽の地山区分は、CI(6切羽)、CII(18切羽)、DI以上(11切羽)であった。剥落した吹付片は、地山岩塊と一体であったことから、切羽の肌落ちとみなし比較検証を行った。

3.比較検証方法

対象トンネルでは、2人(A, B)の地質技術者が、切羽写真から肌落ちが予測される箇所の教師画像の抽出を行っていた。2人の地質技術者は、実際の切羽観察行っておらず、写真での予測であり、肌落ちが発生した場所は知らされていない。肌落ち予測の比較検証は、吹付剥落箇所から切羽写真上の剥落箇所の同定、2人の地質技術者の肌落ち予測箇所との比較の手順を行った(図-1)。また、予測位置の比較は、①肌落ち発生箇所と予測箇所が概ね一致、②類似箇所を予測、③無関係な箇所を予測、④予測無しの基準で行った。図-1の例では、技術者Aは肌落ち発生箇所と類似箇所を予測し、技術者Bは類似箇所を予測していたが、発生箇所は予測していないことになる。また、肌落ちが発生した箇所、地質技術者が肌落ちを予測した箇所について要因パターン分けを行った。なお、肌落ち発生箇所が、切羽写真においてズリで隠れていた1切羽1箇所については、比較検討から除外した。

キーワード AI トンネル 肌落ち 切羽観察写真

連絡先 136-8577 東京都江東区亀戸1-5-7(錦糸町プライムタワー) 基礎地盤コンサルタンツ(株) TEL 03-6861-8873

● 吹付剥落箇所の把握



● 教師データとの比較

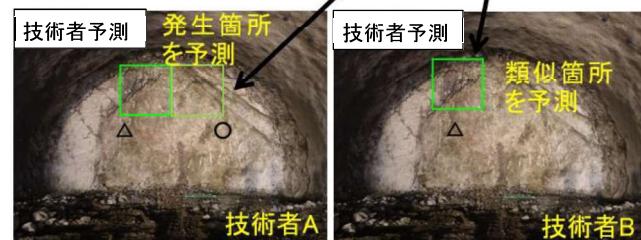


図-1 肌落ち予測の比較方法

表-1 地質技術者の箇所別肌落ち予測結果

技術者	A	B	A or B	
①発生箇所と一致	9	5	11	29
②類似箇所を予測	16	12	18	
③無関係な箇所を予測	21	26	26	26
④予測せず	9	12		0

4. 結果

表-1 に技術者の肌落ち箇所別の予測結果を示す。技術者 A, B のどちらかが肌落ち箇所を予測できた割合は 11/55, 類似箇所の予測を含めると 29/55 となる。

表-2 は、肌落ちが発生した切羽に対する予測結果である。肌落ちが発生する切羽を予測できた割合は 11/34, 類似箇所を含めると 25/34 となる。

一方、予測なしに着目すると、技術者 A, B とも予測していない場合があるが、両技術者のいずれかが、肌落ちを予測する結果となった。反面、実際の肌落ちとは無関係な場所において多くの予測を行っていることが明らかである。モニタリング区間全体においては、技術者 A, B は、78 切羽で肌落ちの予測を行っており、予測の確度に技術者でバラツキはあるものの安全側に予測を行っていると評価できる。

表-3 は、肌落ちが発生した場所、技術者 A, B が肌落ちを予測あるいは類似箇所を予測した場所について、要因パターンの頻度を示したものである。例えば、図-1 の例では、肌落ちの位置がトンネル外周部であり、割れ目にそった岩塊が抜け落ちた跡が見られることから、要因パターンは a-b となる。

図-2 は、要因パターンの頻度をレーダチャートで示したものである。実際に発生した肌落ちは、a トンネル外周部での発生が多く、b 割れ目に沿った岩塊の抜け落ち、f 風化変色が見られる部分などの特徴がある。一方、技術者 A, B が肌落ちの予測において着目した点は、a トンネル外周部、b 割れ目に沿った岩塊の抜け落ち、f 風化変色などである。図-2 に示されるように、実際の肌落ちと技術者の肌落ち予測の要因パターンが類似していること、技術者間においても要因パターンが類似していることが明らかになった。このことから、技術者の肌落ち予測は、概ね妥当なものであると考えられる。

5.まとめ

AI の教師データとして技術者が予測した肌落ち箇所の妥当性を確認するため、切羽写真から地質技術者が指摘した肌落ち予測と実際に発生した肌落ちの比較検証を行った。その結果、技術者の予測の確度にバラツキはあるものの安全側に予測を行っていること、複数の技術が予測することで見落としを防止できることが明らかになった。一方、肌落ちの要因パターンに着目すると、実際の肌落ち箇所と技術者の予測箇所のパターンは類似しており、技術者の予測は妥当なものだと判断できる。AI の教師データとして、実際の肌落ち箇所の画像を用いることが理想ではあるが、データの取得および数量の確保が困難である。切羽写真から予測することは、予測確度に課題は残るが、多数の教師データを取得することができ、安全側のデータで AI を学習させる利点がある。本報告は、技術者が切羽写真より肌落ち予測を行い、教師データとして用いることの妥当性を示すものとなる。

なお、本報告は、国土交通省建設技術研究開発助成並びに（一財）先端建設技術センター自主研究開発の成果の一部である。

表-2 地質技術者の切羽別肌落ち予測結果

技術者	A	B	A or B	
①発生箇所と一致	9	5	11	25
②類似箇所を予測	12	11	14	
③無関係な箇所を予測	7	11	9	9
④予測せず	6	7	0	

表-3 肌落ちの要因パターンの頻度

パターン	肌落ち箇所	技術者 A	技術者 B
a: トンネル外周部	28	16	15
b: 岩塊の抜け落ち跡	22	16	14
c: 割れ目に沿って切羽凸凹	16	3	2
d: 割れ目細かく入る	8	6	3
e: 割れ目に粘土・介在物	0	0	0
f: 周囲より風化変色、風化変色著しい	23	11	4
g: 破碎帶、破碎状、土砂化	0	0	0
h: 渗水、湧水あり	7	5	3
i: その他	2	0	0

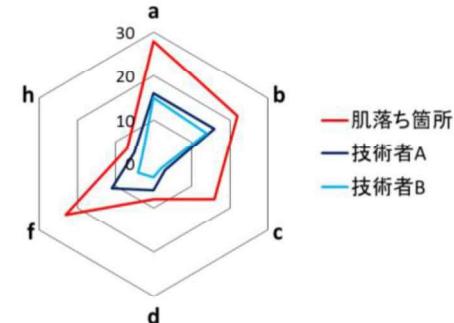


図-2 肌落ちの要因パターン

[共通セッション] 土木分野におけるAIの活用

土木分野における AIの活用 (4)

2021年9月9日(木) 14:40 ~ 16:00 CS-6 (Room47)

[CS14-30] 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⑥—AIによる肌落ち予測支援システムのプロトタイプについて—

Research and development on geological evaluation and prediction of rock falling of tunnel faces by AI -Part 6: Prototype of AI-based support system for rock falling prediction at tunnel faces

*村井 和彦¹、吉川 正¹、山本 拓治¹、曾根 真理²、鈴木 雅行³、白鷺 卓⁴、小島 英郷⁵、杉山 崇⁶、三木 茂⁷、野村 貴律⁸ (1. 先端建設技術センター、2. 東洋大学、3. (株) 安藤・間、4. 鹿島建設(株)、5. 清水建設(株)、6. 戸田建設(株)、7. 基礎地盤コンサルタント(株)、8. 日本システムウエア(株))

*Kazuhiko Murai¹, Tadashi Yoshikawa¹, Takuji Yamamoto¹, Shinri Sone², Masayuki Suzuki³, Suguru Shirasagi⁴, Hidesato Kojima⁵, Takashi Sugiyama⁶, Shigeru Miki⁷, Takanori Nomura⁸ (1. Advanced Construction Technology Center, 2. Toyo University, 3. HAZAMA ANDO CORPORATION, 4. KAJIMA CORPORATION, 5. SHIMUZU CORPORATION, 6. TODA CORPORATION, 7. kiso-jiban Consultants Co.,Ltd., 8. NIPPON SYSTEMWARE CO.,LTD.)

キーワード：山岳トンネル、肌落ち予測、切羽画像、深層学習、画像分類手法、推論の可視化検証

mountain tunnels, rock falling prediction, tunnel faces, deep learning, image classification technology, visualized verification

昨今、土木分野においても、AI技術の活用事例が飛躍的に増えつつある。このような状況を踏まえ、筆者らは、山岳トンネルにAI技術を適用する一連の研究を実施している。本稿では、各種AI技術のうち画像分類技術を用いて構築した山岳トンネル切羽における肌落ちを予測するシステムのプロトタイプについて、その概要を報告する。

In recent years, the number of cases of using AI technology is highly increasing in the civil engineering field as well. Based on this situation, the authors are conducting a series of research to apply AI technology to mountain tunnels. In this paper, we will report the outline of the prototype of the system for predicting rock falling in the mountain tunnel faces by using the image classification technology among various AI technologies.

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⑥

—AI による肌落ち予測支援システムのプロトタイプについて—

(一財)先端建設技術センター	正会員 ○村井 和彦	日本システムウエア(株)	正会員 野村 貴律
(一財)先端建設技術センター	正会員 吉川 正	㈱安藤・間	フェロー 鈴木 雅行
(一財)先端建設技術センター	フェロー 山本 拓治	鹿島建設(株)	正会員 白鷺 卓
東洋大学	正会員 曾根 真理	清水建設(株)	正会員 小島 英郷
基礎地盤コンサルタンツ(株)	正会員 三木 茂	戸田建設(株)	正会員 杉山 崇

1. はじめに

昨今、土木分野においても、AI 技術の活用事例が飛躍的に増えつつある。このような状況を踏まえ、筆者らは、山岳トンネルに AI 技術を適用する一連の研究を実施している¹⁾。本稿では、各種 AI 技術のうち画像分類技術を用いて構築した山岳トンネル切羽における肌落ちを予測するシステムのプロトタイプについて、その概要を報告する。

2. システムの概要

本システムでは、切羽における肌落ちの危険性を画像から推定することとし、深層学習の手法としては画像分類手法を、ネットワークとしては図-1に概念を示す ResNet50 (Residual Network-50)²⁾を使用した。この ResNet50 は、深さが 50 層の畳み込みニューラルネットワークであり、Residual learning を実装することで効果的に学習が進むため、画像分類分野において高い実績を誇っている。具体的には、100 万枚を超えるイメージで学習させた事前学習済みのネットワークを ImageNet データベース³⁾から読み込み、今回使用したデータセットを転移学習させている。これに、入力された画像から検出したい物体である関心領域 (Region of Interest : ROI) を特定し、バウンディング・ボックスとして矩形領域を切り出すルーチンを組み込み、分析を実施した。なお今回の検討では、画像分類手法に加えて物体検知手法についても試行したが、データ数が十分ではないため収束せず、学習ができない結果となった。この方法についても、学習や推論の環境は構築できているため、今後十分なデータが揃い次第、さらなる学習を試行する予定である。

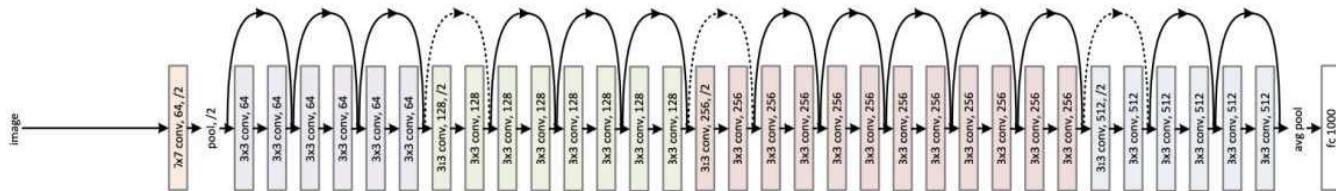


図-1 ResNet50 の概念

3. 使用データ

今回使用したデータは、専門家による肌落ちの判定を行った切羽画像データである。それぞれの切羽画像について、解像度 200×200 ピクセルのボックスを 100 ピクセル単位でオーバーラップしながら画像分割し、専門家が肌落ちと判定した箇所と 70%以上重複した箇所については肌落ちあり、それ以外を肌落ちなしとしてデータセットを作成した（図-2）。使用した切羽画像数は 792 枚であり、1 切羽に対して複数の肌落ち箇所が存在しているため、肌落ち箇所は計 3761 箇所であった。また、評価用データは類似画像が選択されないように切羽画像単位で分割することとし、切羽画像 792 枚のうち学習用を 672 枚、テスト用を 120 枚とした。

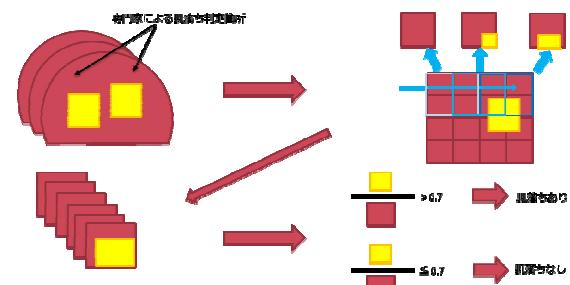


図-2 データセットの作成

4. 推論結果

今回実施した推論の一例を図-3 に示す。これらより、本システムが示す予測領域は、専門家が判定した予測領

キーワード 山岳トンネル、肌落ち予測、切羽画像、深層学習、画像分類手法、推論の可視化検証
連絡先 〒112-0012 東京都文京区大塚 2 丁目 15 番 6 号 (一財)先端建設技術センター TEL03-3942-3991

域と傾向が似ており、ある程度の精度で推論できていることがわかる。全テストデータの推論結果を表-1に整理する。本システムの今回の正解率は92.1%、再現率は88.5%であり、十分な精度があると判断している。

5. 可視化による推論の妥当性検証

さらにここでは、Grad-Cam⁴⁾と呼ばれる手法を用いて、モデルが推論の際に入力画像のどの箇所に注目して分類を行っているかをヒートマップで可視化して検証した。図-4はその一例を示したものであり、ヒートマップが赤に近いほどシステムが肌落ち有りとして注目し、青に近いほど肌落ち無しとして注目していることとなる。これより、本システムは、専門家の着目部分と同じ箇所を的確に着目していることがわかる。

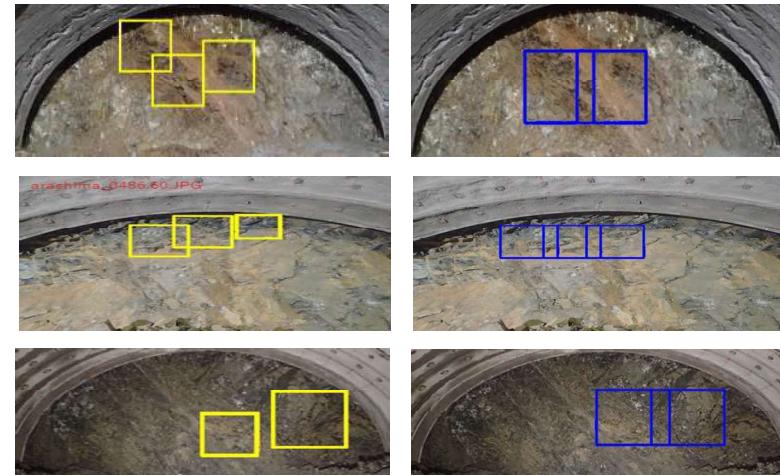
6. まとめ

本稿では、切羽画像を対象に、深層学習を使用した画像分類による肌落ち予測システムのプロトタイプを構築した。また、このシステムに専門家によるラベル付けデータを学習させ、任意の切羽画像に対する肌落ち箇所の推論結果が十分な精度であることを示し、その妥当性を可視化して検証した。

このシステムは、別途構築している切羽地質評価支援システムの中に統合（図-5）して活用することを考えている。ただし、このシステムはあくまでもプロトタイプであり、また得られた結果も限定的なデータによるものであるため、今後はさらにデータを増やして精度を上げるとともに、システム自体もブラッシュアップして、実現場における肌落ち予測の支援システムとして社会実装していく予定である。

なお、本報告は、国土交通省建設技術研究開発助成並びに（一財）先端建設技術センター自主研究開発の成果の一部である。

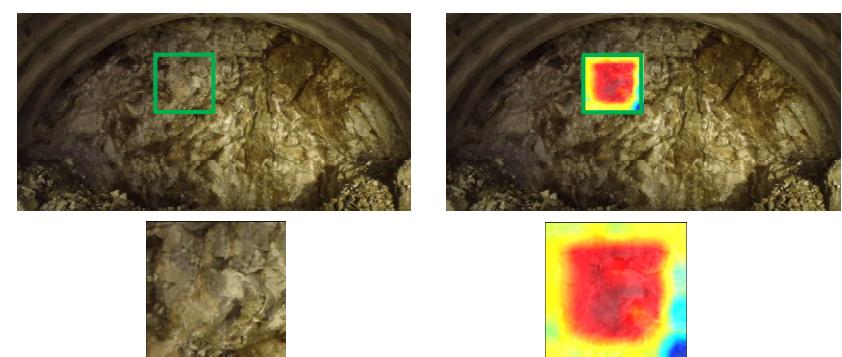
参考文献：1) 吉川：山岳トンネル現場実務者による地質の観察評価へのAI活用・支援の試み、日本応用地質学会先端技術ワークショップ（No. 2）、2021. 2、
2) <https://arxiv.org/abs/1512.03385>、
3) <http://image-net.org/index>、4) <https://arxiv.org/abs/1610.02391>



(a) 専門家によるラベリング (b) 推論結果
図-3 肌落ち推定結果の例

表-1 推論結果一覧

推論教師 \ True	True	False	
True	TP 286	FN 37	再現率 88.5%
False	FP 14	TN 309	特異度 95.7%
適合率 95.3%	陰性適中率 89.3%		正解率 92.1%



(a) 元画像と処理箇所 (b) Grad-Cam 可視化結果
図-4 推論結果の可視化

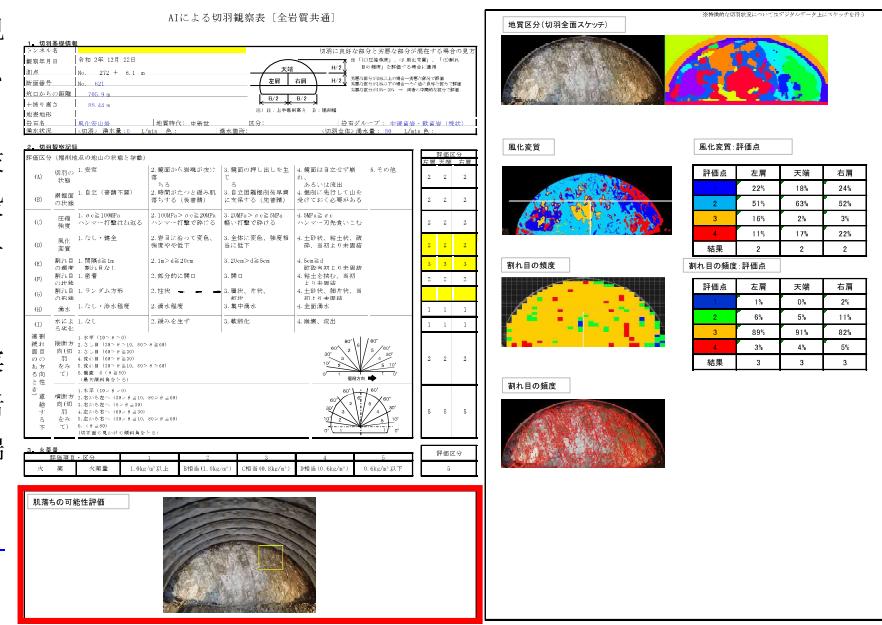


図-5 切羽地質評価支援システムとの統合

[共通セッション] 土木分野におけるAIの活用

土木分野における AIの活用 (4)

2021年9月9日(木) 14:40 ~ 16:00 CS-6 (Room47)

[CS14-31] 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⑧ – 肌落ち災害と対策工の実態分析及びAIによる肌落ち予測への活用について –

Research and development on geological evaluation and prediction of rock falling of tunnel faces by AI

-Part 8: Present status of rock falling accidents and countermeasures, and AI-based system for rock falling prediction

*山本 拓治¹、吉川 正¹、橋立 健司¹、杉本 翔平¹、曾根 真理²、鈴木 雅行³、白鷺 卓⁴、上岡 真也⁵、辻川 泰人⁶、田中 統造⁷（1.一般財団法人 先端建設技術センター、2.東洋大学、3.（株）安藤・間、4.鹿島建設（株）、5.清水建設（株）、6.戸田建設（株）、7.（株）想画）

*Takuji Yamamoto¹, Tadashi Yoshikawa¹, Kenji Hashidate¹, Shohei Sugimoto¹, Shinri Sone², Masayuki Suzuki³, Suguru Shirasagi⁴, Shinya Ueoka⁵, Yasuto Tsujikawa⁶, Tozo Tanaka⁷ (1. Advanced Construction Technology Center, 2. Toyo University, 3. HAZAMA ANDO CORPORATION, 4. KAJIMA CORPORATION, 5. SHIMIZU CORPORATION, 6. TODA CORPORATION, 7. SOHGA Company, Limitid)

キーワード：山岳トンネル、肌落ち、AI、地質評価、肌落ち事故

mountain tunnel, rock falling, artificial intelligence, geological evaluation, rock falling accidents

本報告は、AIによる山岳トンネルの肌落ち予測支援システムの構築のための第一歩として、2011年までの吉川らの収集データと日本トンネル専門工事業協会で2011年以降に実施されたアンケート結果^{3) 4)} やその他HP公開文献による肌落ち災害事例と共同研究実施中のゼネコン4社の2010年以降の詳細な肌落ち災害事例を統合し、整理・分析を行ったものである。

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⑧ －肌落ち災害と対策工の実態分析及びAIによる肌落ち予測への活用について－

財先端建設技術センターフェロー ○山本拓治 正会員吉川正 株安藤・間フェロー 鈴木雅行
戸田建設株正会員 辻川泰人 清水建設株正会員 上岡真也 鹿島建設株正会員 白鷺卓 東洋大学正会員
曾根真理 株想画 正会員 田中統藏 財先端建設技術センター 正会員 橋立健司 正会員 杉本翔平

1. はじめに

2011年に吉川ら¹⁾は、肌落ち死傷災害事例を収集し安全対策の提案をした。その後、2016年に厚生労働省では、「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²⁾」を策定し、2018年に当該ガイドラインを改正²⁾している。

本報告は、AIによる山岳トンネルの肌落ち予測支援システムの構築のための第一歩として、2011年までの吉川らの収集データと日本トンネル専門工事業協会で2011年以降に実施されたアンケート結果^{3) 4)}やその他公開資料による肌落ち災害事例と共同研究実施中のゼネコン4社の2010年以降の詳細な肌落ち災害事例を統合し、整理・分析を行ったものである。

2. 肌落ち災害事例の分析

図-1は、収集した肌落ち災害事例135件を年ごとに集計した結果である。アンケート結果には国内のすべての事例が含まれているわけではないが、2013年以降は工事量の増加に伴い災害件数が増加していた。しかし、2016年12月にガイドラインが提示されて以降、切羽への立ち入り禁止や切羽監視責任者の専任、鏡吹付けコンクリートの徹底等の影響により災害は激減していることがわかる。図-2は切羽作業別の災害件数を分類したものである。切羽に近接した装薬作業や支保工作業の時に災害が多いことがわかる。また、実際の作業ではなく、装薬中、コソク中、切羽観察中やすり出し後、発破後、吹付作業中に切羽や作業を確認している人の災害も合計すると多いことがわかる。切羽に近接しない機械化や遠隔作業システムの開発や切羽状況や地質状況を遠隔で詳細に観察できるシステムの開発が必要であることがわかる。

図-3は肌落ちが発生した位置の高さと災害の件数を分類したものである。この図を見ると、死亡に至る災害ほど高いところからの落石により災害が発生しているので、身長より高い位置に関しては重点的に肌落ちの危険性を予測できるシステムが必要なことが分かった。図-4は、肌落ちの規模と災害件数を比較したものである。死亡災害は大きな規模の肌落ちにより発生

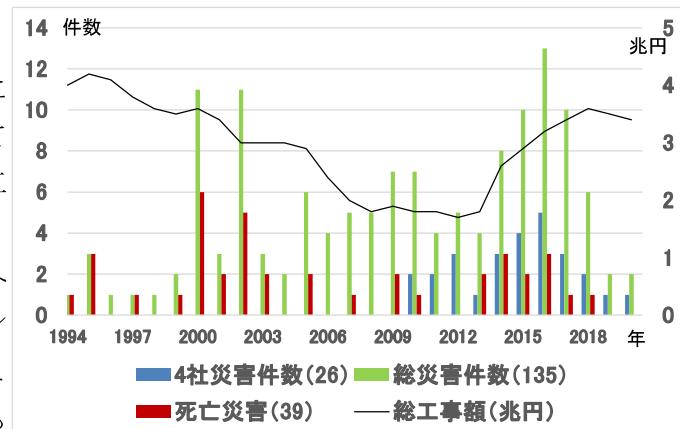


図-1 肌落ち災害件数

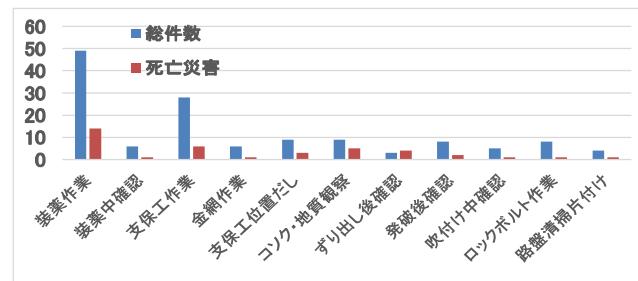


図-2 切羽作業別災害件数

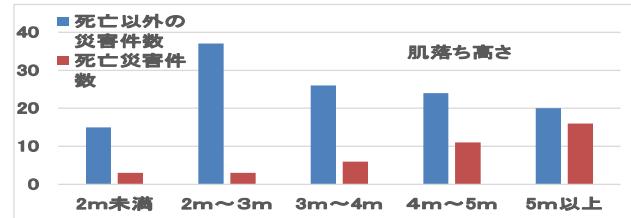


図-3 肌落ち高さ別災害件数

キーワード 山岳トンネル、肌落ち、AI技術

連絡先 〒112-0012 東京都文京区大塚2-15-6 (一財)先端建設技術センター TEL 03-3942-3991

し、死亡に至らない災害は、人頭大程度の岩塊が落下し骨折災害となっている例が多い。

3. 地質観察項目と災害との関係

AIによる肌落ち予測支援システムを構築するためには、肌落ちを発生させる岩種や湧水の状況、地質的な原因を推定し、教師データを作成して機械学習させる必要がある。図-5は岩種と災害件数の分類である。層状軟質岩や層状中硬岩の件数が比較的多いようであるが、塊状中硬岩も割れ目の影響により肌落ち災害が発生している。図-6は湧水の程度と災害件数の関係である。湧水なしの事例より、多少でも湧水がある地山で多くの災害が発生しているため、AIによる肌落ち評価に際しては、湧水の程度の評価も必要となることがわかる。図-7は切羽観察項目にある地質的な要因と災害件数を分類したものである。強度や風化変質、割れ目の状態、割れ目の方向性、湧水による劣化、割れ目の頻度が正しく評価できていなかった結果、肌落ち災害が発生したと報告されていた。したがって、教師データ作成の際には、これらの要因が画像等により評価できることが望まれる。

4. おわりにと対策工の実態分析

図-8は、災害後の再発防止案の件数を集計したものである。鏡吹付コンクリートの厚さが薄かったり強度が不足して肌落ちが発生した事例が最も多いが、地質の確認が不十分でコソクが徹底されていなかったり、浮石が存知されている例や地質情報が全作業員に共有化されていなかったとの事例もあった。AIによる肌落ち評価に際しては、評価結果をリアルタイムに作業員に伝えるための伝達技術が必要であり、今後研究開発を進めていく所存である。

なお、本報告は、国土交通省の建設技術研究開発助成制度（JPJ000094）並びに先端建設技術センター自主研究開発成果の一部である。

参考文献

- 吉川直孝ら：トンネル切羽の肌落ちによる死傷災害の調査分析と安全対策の検討、土木学会論文集F6(安全問題) Vol67、No2、2011
- 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の改訂、基発 0118 第 1 号、平成 30 年 1 月 18 日
- 日本トンネル専門工事業協会：トンネル工事における労働災害事例とその対策（平成 31 年 3 月）
- 日本トンネル専門工事業協会：トンネル工事における肌落ち労働災害防止のハンドブックその 2（平成 24 年 3 月）

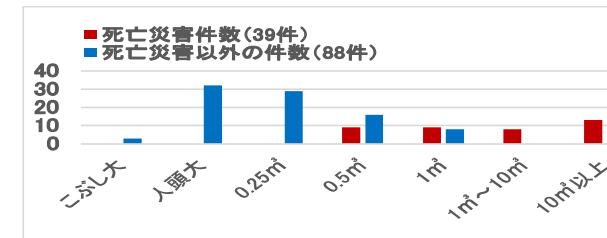


図-4 肌落ちの規模と災害件数

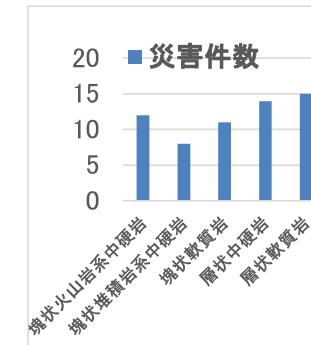


図-5 岩種と災害件数

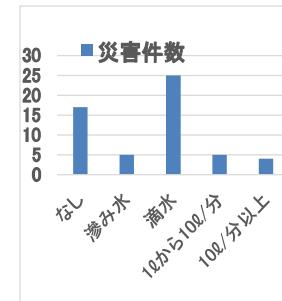


図-6 湧水と災害件数

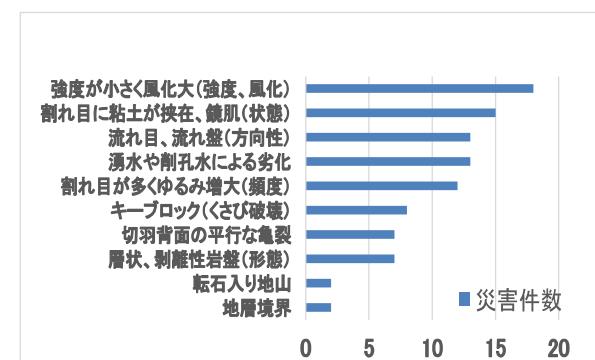


図-7 地質的な要因別災害件数

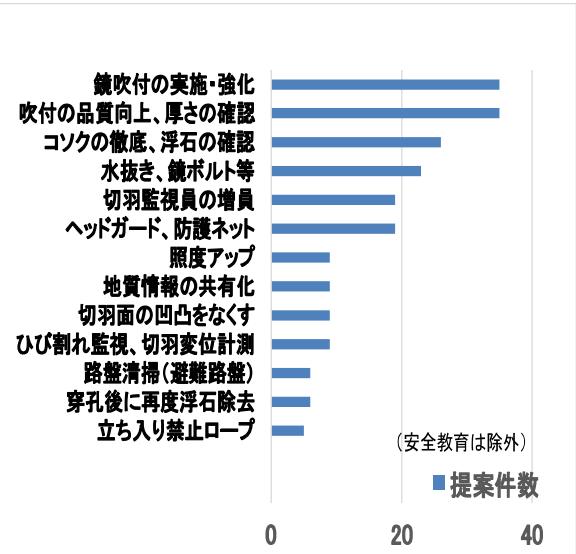


図-8 再発防止案の提案件数

[共通セッション] 土木分野におけるAIの活用

土木分野における AIの活用 (4)

2021年9月9日(木) 14:40 ~ 16:00 CS-6 (Room47)

[CS14-32] 山岳トンネルの AI切羽判定システムにおける打突音について Study on the striking sound in the AI judgment system of the mountains tunnel

*曾根 真理¹、田中 統蔵⁸、吉川 正²、山本 拓治²、橋立 健司²、辰巳 順一³、宮嶋 保幸⁴、小島 英郷⁵、杉山 崇⁶、野村 貴律⁷（1. 東洋大学、2. (一財) 先端建設技術センター、3. 株安藤・間、4. 鹿島建設株式会社、5. 清水建設株式会社、6. 戸田建設株式会社、7. 日本システムウエア株式会社、8. (株)想画）

*Shinri SONE SONE¹, tanaka tozo⁸, yosikawa tadasu², yamamoto takaji², hashidate kennji², tatsumi junichi³, miyajima yasuyuki⁴, kojima hidesato⁵, sugiyama takashi⁶, nomura takami⁷ (1. Toyo University, 2. ACTEC, 3. Ando Hazama, 4. Kajima, 5. Shimizu, 6. Toda, 7. Nippon systemware, 8. Sohga)

キーワード：AI、山岳トンネル、音声認識、切羽、ニューラルネットワーク

AI, mountains tunnel, sound recognition, working face, neural network

筆者らは山岳トンネルの切羽に関する判定支援システムの開発に関する共同研究を行っている。本稿はこの共同研究における音声認識の利用の可能性について説明するものである。本共同研究においては、比較的実用の可能性が高い画像処理 AI の活用に関する開発を中心に行なってきた。しかし AI の活用は画像処理にとどまらず様々な分野の利用が想定される。本稿においてはこの中の音声認識 AI の活用の方向について説明を行うものである。

The writers perform collaborative investigation about the development of the judgment support system about the face of the mountains tunnel. In this collaborative investigation, I performed it mainly on development about the inflection of the image processing AI very likely to be the comparative practical use. However, the inflection of the AI does not remain for image processing, and the use of various fields is assumed. I explain a direction of the inflection of the speech recognition AI of this inside in this report.

山岳トンネルの AI 切羽判定システムにおける打突音について

東洋大学 正会員 ○曾根 真理

㈱想画 正会員 田中 統藏

(一財)先端建設技術センター 正会員 吉川 正 (一財)先端建設技術センター フェロー 山本 拓治

(一財)先端建設技術センター 正会員 橋立 健司 ㈱安藤・間 正会員 辰巳 順一

鹿島建設㈱ 正会員 宮嶋 保幸

清水建設㈱ 正会員 小島 英郷

戸田建設㈱ 正会員 杉山 崇

日本システムウェア㈱ 正会員 野村貴律

1. 背景

筆者らは山岳トンネルの切羽に関する判定支援システムの開発に関する共同研究を行っている。本稿はこの共同研究における音声認識の利用の可能性について説明するものである。

現在、土木分野における AI の活用に関しては、CNN を用いた画像認識 AI などの導入に向けた取り組みが盛んに行われている。これに対して土木以外の分野においては、画像処理 AI 以外に音声認識 AI、自然言語処理 AI、ビッグデータ処理 AI と言った様々な AI の活用が行われているのが現状である。

本共同研究においては、比較的実用の可能性が高い画像処理 AI の活用に関する開発を中心に行なってきた。しかし AI の活用は画像処理にとどまらず様々な分野の利用が想定される。本稿においてはこの中の音声認識 AI の活用の方向について説明を行うものである。

2. 現場作業員へのヒアリングについて

本共同研究の一環として、切羽判定、特に肌落ちの兆候を見つけるためのシステム開発を行うために、山岳トンネルの建設作業に従事している現場作業員へヒアリング調査を行った。このヒアリング結果から、現場作業員は視覚による認識のみならず、音声による認識など様々な情報も処理していることが分かった。音声認識該当部分について述べると、「肌落ちの可能性が少ない地盤に関してはカンカンのように甲高く規則的な音がする。」、「肌落ちの可能性が高い地盤に関してはボソボソッというように不規則な音がする。」などのヒアリング結果が得られた。このヒアリング結果から、本共同研究の実効性を高めるためには画像処理 AI 以外に音声認識 AI などを活用することの重要であると判断した。

3. 打突音の認識の必要性

人間の言語の認識においては、基本的に人間の可聴域内の音声のみを認識することで十分である。しかし、本共同研究においては、人間の可聴域外の音声も含めた分析を対象としたことにした。

音声は空気の振動であり、人間はその中の一定範囲周波数の空気振動を音声として認識する。しかし、トンネルの掘削作業中の打突音に関しては、地盤及び掘削機械から発生する振動の周波数は人間の可聴域外の周波数の空気振動が重要であると考える。例えば”地鳴り”などと呼ばれる現象は可聴域よりも周波数の少ない領域の空気振動又は地盤振動を表現していると考える。また、現場作業員のヒアリング結果からは、肌落ちの可能性が高い地盤の感触として”ボソボソッ”という擬音語とも擬態語とも判定のつかない言葉が挙げられていた。これらのことから、人間の可聴域外の空気振動を研究対象とすることが必要であると判断した。

4. 打突音の解析

図 1 は、山岳トンネル掘削機の岩盤打突時の時間(横軸)と音圧(縦軸 : dB)との関係を示したものである。ブレーカー打突の開始から音圧が規則的に上昇していることがわかる。

図 2 は、同じく打突時の時間(横軸)と周波数(縦軸 : Hz)毎の音圧を色調で表現したものである。赤に近づくほど音圧が高く、緑に近づくほど音圧が低くなる。人間の耳がよく聞き取れるのは 2,000Hz-4,000Hz といわ

れる。これに対して、人間の可聴域は 20Hz・20,000Hz といわれる。トンネル内の打突時において人間の耳が聞き取りやすい音域の音圧が上昇し人は音を感じるが、その一方において人間の耳がわずかに聞き取ることのできる 2,000Hz・20Hz の音域の音圧の方がむしろ上昇していることが図 2 から読み取れる。このことは、“トンネル内において音に敏感な人がなんとなく感じる低い音が、打突音から判定を行う際に重要な意味を持つ”という可能性を示している。個体の伝搬音は一般に、低音域(20-1000Hz)にあり、図 2 の結果はこの事実とも矛盾しない。

図 3 は、打突の瞬間ににおける周波数（横軸：Hz）と音圧(縦軸：dB)との関係を示したものである。本図は二つのトンネルの音声を分析し、比較的パワーレベルの高い周波数帯を示したものである。青色の枠の方がやや低めの音域に分布している。このことは、音域を分析することによって岩盤の特徴を把握できるかの王道があることを示している。

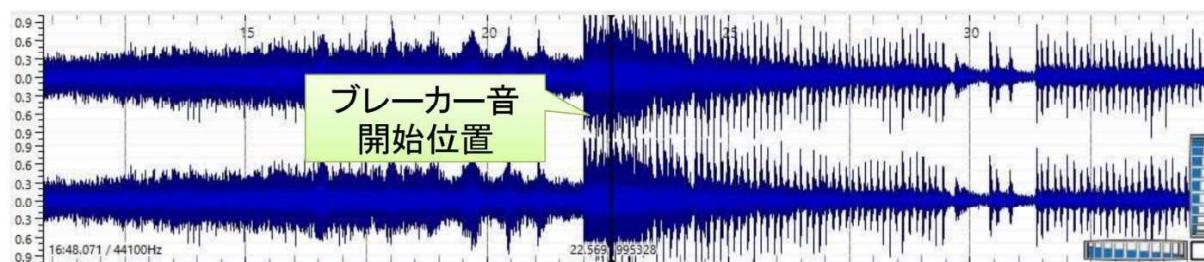


図 1 トンネル掘削機の岩盤打突時の時間(横軸)音圧(縦軸：dB)との関係

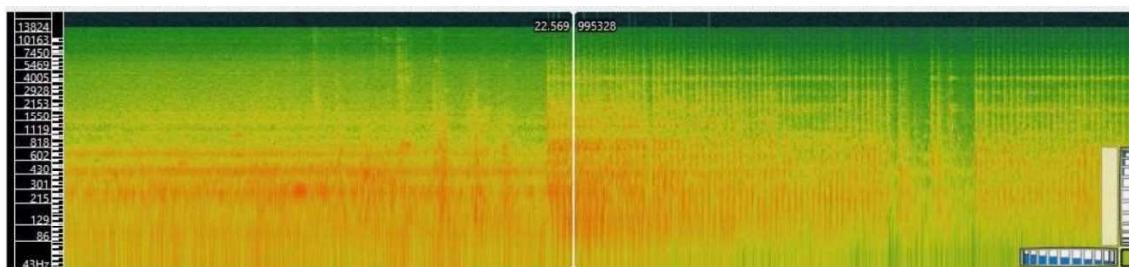


図 2 時間(横軸)と周波数(縦軸：Hz)毎の音圧を色調

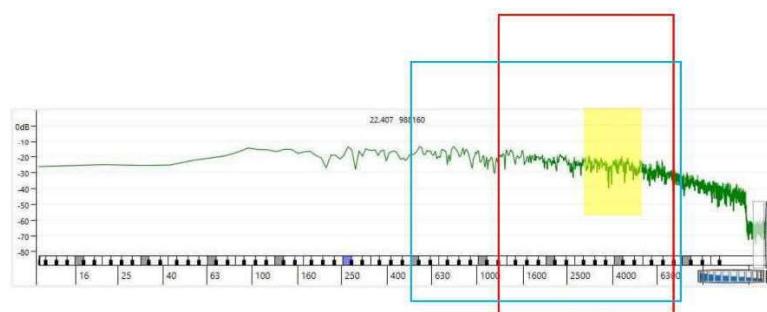


図 3 打突の瞬間ににおける周波数（横軸：Hz）と音圧(縦軸：dB)との関係

5.まとめと考察

従来から作業員が感じていたトンネル掘削機の打突時における音の違いから岩盤の硬さを判定していることが知られていた。本稿においては、トンネル毎に打突音に特徴があり、これらの打突音の違いを認識できることがわかった。今後、トンネルの岩盤判定に、打突音に対して RNN の一種類である LSTM 等の AI を用いることで判定に活用できる可能性があることを示すことができた。