

# 人工知能（AI）を用いたトンネル地山判定手法 導入による効果と今後の展開

高知河川国道事務所 工務課 落合 政志  
高知河川国道事務所 建設専門官 長尾 貴史  
高知河川国道事務所 工務課長 中山 雅登

山岳トンネル工事における労働災害はNATM工法の導入やシールド工法の普及により、減少されてきた。しかし、依然としてNATM工法での施工ではトンネル掘削断面（切羽）へ近づく必要があり、不安定な岩盤と対面し、崩落の危険（肌落ち）と隣り合わせである。そのような状況を鑑み、平成28年12月26日に「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かかるガイドライン」が策定され、より安全に山岳トンネル工事を施工するよう要請されている。その中で記載されている切羽の監視については、評価を現場技術者の経験によって判断をおこなっているため誤診断が発生する可能性がある。誤診断の事前予防や切羽の診断支援として人工知能（AI：Artificial Intelligence）を導入し、切羽の診断をおこなった。

キーワード 安全対策，コスト縮減，トンネル工事，人工知能（AI）

## 1. 山岳トンネルにおける労働災害

我が国における山岳トンネル工事は1978年までの矢板工法が主流であった時代からNATM工法へ変遷したことにより、トンネル建設工事中の労働災害が劇的に減少した。しかしながら、山岳トンネル工事における労働災害は発生し続けており、特に落石による死亡、負傷事故が上位を占めている。その理由としては、NATM工法による掘削は不安定な切羽へ接近しての火薬の装薬、支保工の建込を行う必要があり、切羽からの落石（以下肌落ちという）による被災の危険が常につきまとっている。<sup>1)</sup>（図1）そのような肌落ち災害の抑制を目的として、平成28年12月26日付け基発1226号第1号により「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」につい

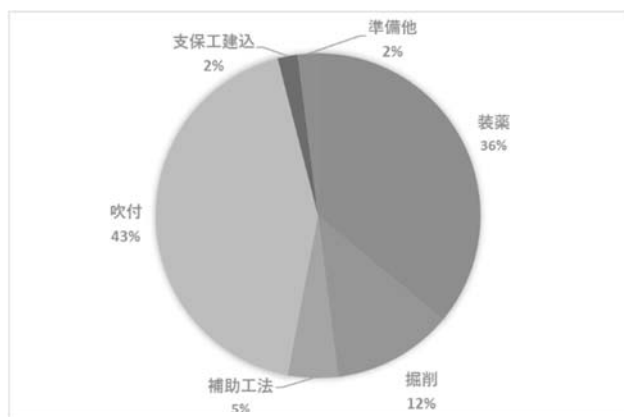


図1 2000年から2010年までの落石(肌落ち)による死傷災害の災害発生時に従事していた作業内容の割合<sup>1)</sup>

て」が厚生労働省労働基準局長より発出、平成30年1月18日付け基発0118第1号において改正がおこなわれ、山岳トンネル工事における肌落ち災害防止で講ずる処置について要請が行われるまでになっている。

## 2. 日下川新規放水路工事の特徴

日下川新規放水路工事は、総合内水計画で国が整備することとした日下川新規放水路は全長約5.3kmにわたる水路トンネルである。新設の放水路は呑口側と吐口側の2件工事で発注している。周辺には、既設の派川日下川放水路（高知県整備）、日下川放水路（国土交通省整備）に次ぐ日下川流域で3本目の放水路トンネルである。（図2）

地質的な特徴としては、当該地は付加帯地質が分布しており、微細な亀裂が発達している可能性がある。また、事前調査においては、砂岩、頁岩、粘板岩が多くみられている。（図3）<sup>3)</sup>

本工事で掘削を行う範囲は2件の工事の内、吐口側工事を施工し、内空幅7.0mと標準断面より小さく、本坑2,303m、作業坑185.5mの合計2,488.5mの長大トンネルである。このうち発注時の地山分類は事前調査からC等級が1,150m、D等級が1,153mと風化や地下水による強度劣化を受けていると判断している。（図4）<sup>3)</sup>



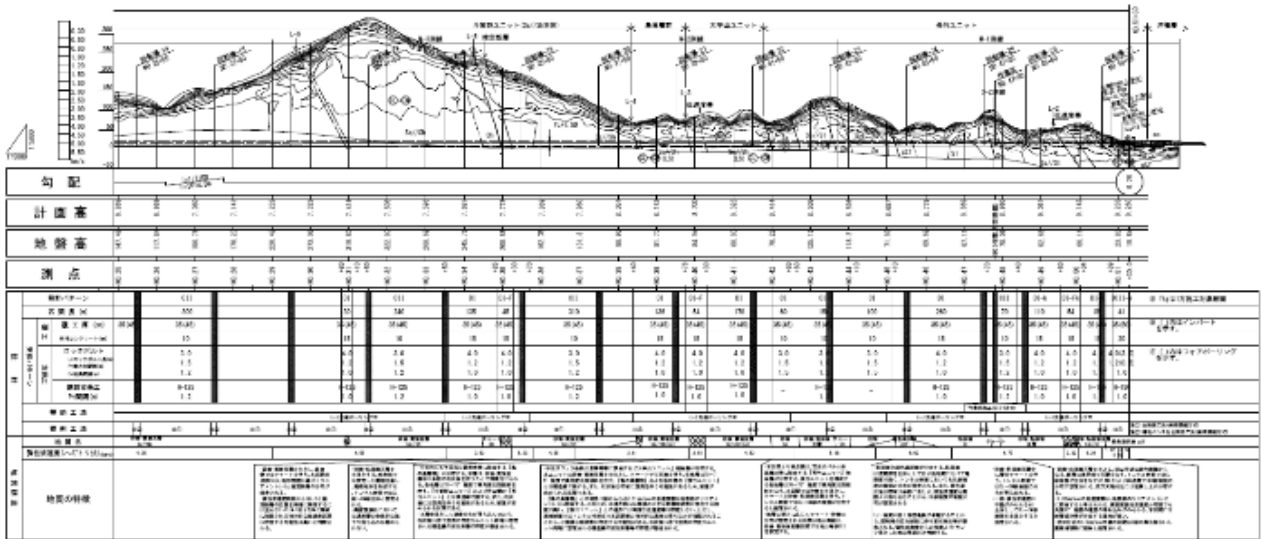


図4 本工事トンネル施工箇所地質

は、未だ実現している研究はなく、知能や知性を機械に持たせるまでに至っていない。後者の研究は、音声認識や画像認識など人間の知覚を再現するものや機械学習や推論などの論理的思考を再現するなどに至っている。とりわけ2010年代半ばから注目を集めているのがディープラーニング（深層学習）と呼ばれる手法で、与えられた情報から注目すべき要素の抽出と要素同士の関係性を発見することをコンピューターが実践するものである。<sup>5) 6)</sup>

### (3)人工知能 (AI) による切羽評価方法<sup>7)</sup>

株式会社 熊谷組が開発した山岳トンネル総合管理システム「Mother-21」により山岳トンネルの切羽写真を画像解析し、亀裂の抽出をおこなう。加えて日常管理である切羽観察簿の記録データを収録しており、切羽に関する情報を総合的に管理するシステムとなっている。今回の命題である切羽評価には、自己学習型の汎用人工知能 (AI) を使って検証を行った。この人工知能 (AI) は投入されるデータに連動して、特徴量を

自動生成、更新を行うことができ、取り扱える情報は画像情報や数値など多数に渡りその情報を混合して学習を行うことが出来る。さらに導き出す結果についてもその理由や根拠を出力できる機能を有している。

切羽評価にあたって今回使用する人工知能 (AI) が学習するデータは、切羽写真データ、「Mother-21」に保存されていく切羽画像解析データから作られる亀裂抽出画像、ドリルジャンボに搭載された「ドリルNAVI」により記録されるトンネル掘削時の穿孔位置、穿孔エネルギーから作られるコンター図(図6)、技術者による切羽地山判定結果である。これら4つの学習データから現場技術者が行う地山判定と同様に点数による評価を人工知能 (AI) が総合評価を行うようにした。

### (4)人工知能 (AI) による切羽評価検証<sup>7)</sup>

今回の検証では切羽写真、亀裂抽出画像、穿孔エネルギーコンター図それぞれの画像データと現場技術者の切羽地山判定結果データで3種類の切羽の圧縮強度、風化変質、割れ目状態、湧水量、走向傾斜、劣化状態について評価を行った。評価点数をつける区分は切羽上半を縦半分に分割し、分割した上部を「天端」、分割した下部をさらに横半分に分割し、左半分を「左肩部」右半分を「右肩部」の3つに分けた(図7)。検証を行う区間は作業坑にあたる182.85mで、このうち坑口からの53mは人工知能 (AI) にデータを学習させる区間(教

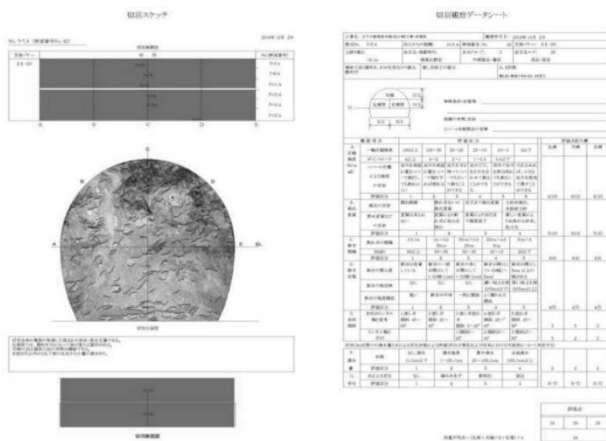


図5 切羽スケッチと切羽観測データシート



図6 人工知能 (AI) が評価に用いる画像 (左から、切羽写真、亀裂抽出画像、穿孔エネルギーコンター図)

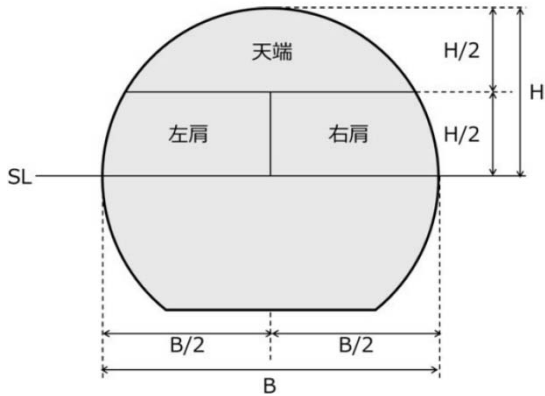


図7 切羽評価区分

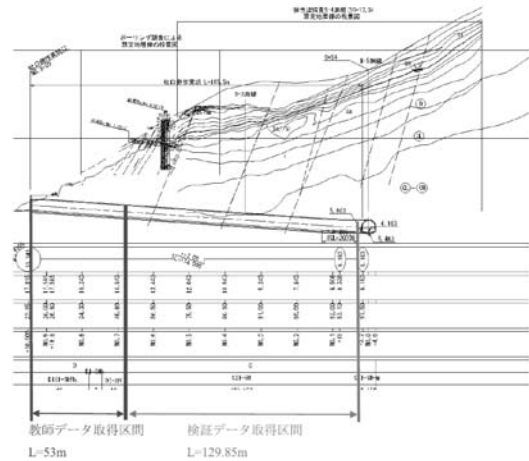


図8 切羽評価の教師区間と検証区間

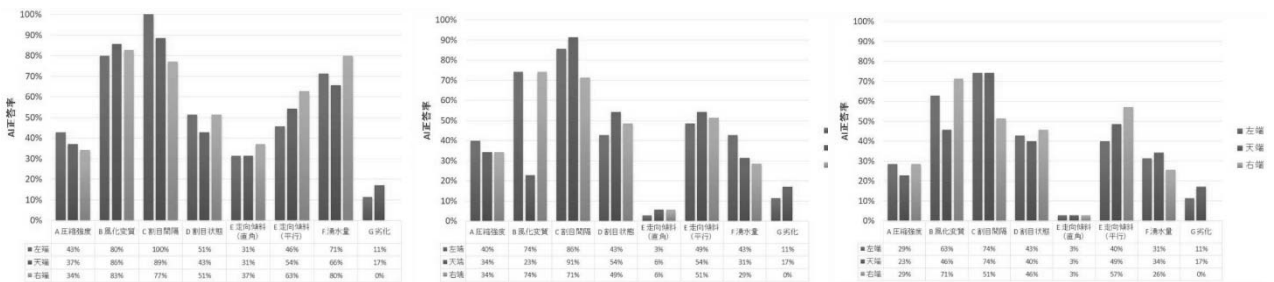


図9 切羽評価検証結果 (左から切羽写真、亀裂抽出画像、穿孔エネルギーカウンター図)

師データ取得区間)とし残り 129.85m を現場技術者による地山判定結果と人工知能 (AI) による地山判定結果の答え合わせを行う区間 (検証データ区間) とした (図8)。

#### (4) 人工知能 (AI) による切羽評価検証結果

本検証では診断結果の正誤は現場技術者の切羽地山判定結果を正として次の式(1a)から正答率を算出した。

$$\eta = \frac{N_c}{N_c + N_e} \quad (1a)$$

ここで、 $N_c$  が正解した画像判別枚数、 $N_e$  が失敗した画像判別枚数である。各項目ごとの正答率をグラフに示す (図9)。切羽写真による判定では風化変質、割れ目状態についての正答率が高い。亀裂抽象画像による判定は割目間隔の項目において正答率が高い。穿孔エネルギーカウンター図による判定では割目間隔の項目において正答率が高い。一方で走向傾斜 (直角) と劣化については正答率が低い結果となった。

#### 4. まとめと今後の展望

今回の検証結果から、人工知能 (AI) による切羽評価手法は、割れ目状態、風化変質の判定では現場技術

者と同じ回答を導き出すことができ、今回活用した画像データでおおよそ現場技術者と同じ判断ができることが期待される。一方で走向傾斜 (直角) と劣化について正答率が低くなったが、今回、教師データとした区間で評価の分布に偏りがあったことが原因と想定され、今後のデータ収集で多くの事例を学習することで改善が見込まれる。

本工事現場で取り組まれているように、工事施工において多くの写真データや地質データ、技術者による判定結果が記録、保管されている状況にあり、それらを人工知能 (AI) が学習することで、人手不足、高齢化にある社会において技術力の伝承、技術者への負担軽減に寄与することや、定性的に施工を行っていた工法を最適に施工することができ、建設コストの削減が期待される。

#### 参考文献

- 1) 労働安全衛生総合研究所：トンネル建設工事中の落石による労働災害
- 2) 厚生労働省：山岳トンネル工事の切り羽における肌落ち災害防止対策にかかるガイドラインの策定について
- 3) 平成 27-28 年度 新日下川放水路詳細設計業務
- 4) 平成 30-32 年度 日下川新規放水路 (吐口側) 工事：施工計画書
- 5) 人工知能学会：人工知能研究
- 6) 総務省：平成 28 年度 情報通信白書
- 7) 平成 30-32 年度 日下川新規放水路 (吐口側) 工事：AI を活用したトンネル切羽の地山判定等の手法 報告書