

AIを活用したトンネル切羽評価の実用化検討

2023年11月1日

岩盤力学委員会

岩盤力学におけるDX活用検討小委員会

委員構成

J-POWER テレコミュニケーションサービス(株)	西本 吉伸(小委員長)
関西大学環境都市工学部	北岡 貴文(WG1リーダー)
清水建設(株)	淡路 動太(WG2リーダー)
(株)高速道路総合技術研究所	中野 清人
(株)大林組	畑 浩二
(株)奥村組	黒武者 貴幸
鹿島建設(株)	宮嶋 保幸
大成建設(株)	坂井 一雄
戸田建設(株)	若竹 亮
西松建設(株)	瀬瀬 善孝
(一社)日本建設機械施工協会	井野 裕輝
東京電力 HD(株)	森 文章
(株)熊谷組	濱田 好弘
飛島建設(株)	熊谷 幸樹
(株)オリエンタルコンサルタンツ	高根 努
国立研究開発法人 土木研究所	菊地 浩貴
(株)安藤・間	辰巳 順一, 鶴田 亮介

目次

AIを活用したトンネル切羽評価の実用化検討.....	1
2023年11月1日.....	1
岩盤力学委員会.....	1
岩盤力学におけるDX活用検討小委員会.....	1
1. トンネル切羽評価へのAI導入の期待.....	1-1
1.1 トンネル工事における切羽評価のフロー.....	1-1
1.2 AI活用による切羽評価の合理化.....	1-2
1.3 期待される導入効果.....	1-2
1.3.1 安全性の向上.....	1-2
1.3.2 客観性の向上と評価者の支援.....	1-3
1.3.3 技術者の補完.....	1-3
1.3.4 連続した切羽評価.....	1-3
1.3.5 施工現場における生産性向上.....	1-3
1.3.6 地山評価の効率化.....	1-4
1.3.7 経済性.....	1-5
1.3.8 情報の共有化.....	1-5
1.4 AIによる切羽評価が実現した後の将来像.....	1-6
1.4.1 切羽評価等の無人化.....	1-6
1.4.2 施工の自動化.....	1-6
1.4.3 施工情報の自動収集とデータベース化.....	1-6
1.4.4 施工中における変位計測に基づく評価モデルのアップデート.....	1-7
1.4.5 人の係わり.....	1-7
2. 技術動向調査.....	2-1
2.1 調査方法.....	2-1
2.1.1 対象とした文献.....	2-1
2.1.2 着目したポイント.....	2-1
2.2 技術動向調査の結果.....	2-2
2.3 本小委員会のメンバーが取り組んでいる技術.....	2-5
2.4 課題等.....	2-9
2.4.1 概要.....	2-9
2.4.2 正解率の向上.....	2-9
2.5 技術動向調査のまとめ.....	2-10
3. 標準データを活用した切羽評価.....	3-1
3.1 検討概要.....	3-1

3.2	標準データの作成方法.....	3-1
3.2.1	収集データの地質性状.....	3-1
3.2.2	収集データの評価分布.....	3-1
3.3	既存AIモデルによる標準データの相互評価結果.....	3-4
3.3.1	国交省形式データの評価結果.....	3-7
3.3.2	NEXCO形式データの評価結果.....	3-7
3.4	考察.....	3-10
3.5	今後の課題.....	3-11
4.	AIを活用した切羽評価の実用化に向けた課題.....	4-1
4.1	検討概要.....	4-1
4.2	評価手法の信頼性の向上.....	4-1
4.2.1	課題.....	4-1
4.2.2	信頼性の閾値.....	4-2
4.2.3	評価理由やプロセスの説明性.....	4-3
4.2.4	継続的な再学習と誤判定への対処.....	4-3
4.2.5	誤判定への対処.....	4-3
4.2.6	計測データの活用.....	4-4
4.2.7	アンサンブル手法などの複数手法の統合活用.....	4-4
4.2.8	設計条件との乖離評価.....	4-4
4.3	教師データ.....	4-5
4.3.1	品質・正当性.....	4-5
4.3.2	多様なデータの収集.....	4-5
4.3.3	教師データの偏り.....	4-5
4.3.4	教師データの項目の標準化.....	4-6
4.3.5	検証用教師データ.....	4-6
4.3.6	教師データの再評価.....	4-6
4.3.7	画像の品質.....	4-6
4.3.8	画像以外の教師データ.....	4-8
4.4	AI評価システムの適用範囲.....	4-10
4.4.1	教師データとの関係.....	4-10
4.4.2	適用範囲の明確化.....	4-10
4.4.3	特殊な岩種への対応.....	4-10
4.5	ブラックボックス化.....	4-11
4.5.1	ブラックボックス化への懸念.....	4-11
4.5.2	判定根拠のトレース.....	4-11
4.5.3	特徴量マップの活用.....	4-11
4.5.4	判断根拠に関する課題.....	4-13
4.5.5	判定単位の細分化.....	4-14

4.5.6	切羽評価項目ごとの評価.....	4-15
4.6	AIによる切羽評価の有効性の証明	4-16
4.6.1	課題.....	4-16
4.6.2	検証システムの構築.....	4-16
4.6.3	有効となる指標.....	4-16
4.6.4	性能証明.....	4-16
4.7	システム・デバイス.....	4-17
4.7.1	切羽写真を撮影するデバイス.....	4-17
4.7.2	マルチスペクトルカメラ.....	4-17
4.7.3	データ取得から結果出力までのシステム統合化.....	4-17
4.7.4	評価に必要なデータ種別.....	4-17
4.7.5	多様な情報の取得.....	4-18
4.7.6	リアルタイム性.....	4-18
4.8	データの共有化.....	4-20
4.8.1	共有化の狙い.....	4-20
4.8.2	共有データの登録システム.....	4-20
4.8.3	共有データの標準化.....	4-20
4.8.4	ユーザーインターフェイス.....	4-21
4.8.5	データのアップデート等に係る運用ルール.....	4-21
4.8.6	データセキュリティと管理体制.....	4-21
4.8.7	データベースの運用負担.....	4-21
4.9	岩盤力学の技術力の低下に対する懸念.....	4-22
4.9.1	懸念事項.....	4-22
4.9.2	トレーニングの機会.....	4-22
4.9.3	教師データの作成・評価.....	4-22
4.9.4	多様なデータ分析に基づく工学的な評価.....	4-22
4.10	AI活用の人材育成.....	4-24
4.10.1	はじめに.....	4-24
4.10.2	求められる人物像.....	4-24
4.10.3	人材育成の方法.....	4-28
4.11	その他.....	4-30
4.11.1	経済性.....	4-30
4.11.2	基準改定.....	4-30
4.11.3	多様な手法の受容.....	4-30
4.11.4	汎用化.....	4-31
4.11.5	山岳トンネル以外への適用.....	4-31
5.	実用化に向けて	5-1
5.1	概要.....	5-1

5.2	発注機関に期待すること	5-1
5.2.1	AI活用制度の整備.....	5-1
5.2.2	切羽評価結果及び写真のオープンデータ化.....	5-2
5.2.3	切羽評価AIシステムを評価するための標準データの設定.....	5-2
5.3	施工者に期待すること	5-3
5.3.1	教師データの収集・管理.....	5-3
5.3.2	切羽評価AIの適切な活用に向けた知識、能力の習得.....	5-4
5.3.3	AI研究開発等におけるノウハウや課題の整理.....	5-4
5.3.4	AI技術の活用の在り方.....	5-4
5.4	評価システム開発者に期待すること.....	5-6
5.4.1	評価精度の向上.....	5-6
5.4.2	判定根拠の明確化.....	5-6
5.4.3	使いやすさの向上.....	5-6
5.4.4	評価システムの公開性.....	5-7
5.4.5	システム利用コストの低減.....	5-7
5.4.6	土木技術との融合.....	5-7
5.5	土木学会に期待すること	5-8
5.5.1	異なる発注者、事業者を横断した提言.....	5-8
5.5.2	情報共有、連携の場の提供.....	5-8
5.5.3	基準テスト、データの品質評価の担い手.....	5-9
5.5.4	講習会の開催.....	5-9
5.5.5	AIによる切羽評価の全体像の提言.....	5-9
5.5.6	土木学会としての役割を果たすための課題.....	5-9

はじめに

背景

土木分野においても、労働力不足、効率化、安全性の向上などの多くの視点から、デジタル技術の活用による、仕事の仕方の改善が望まれ、官民それぞれ多様な立場での取組みが進められている。

国土交通省においては、インフラ分野の DX（デジタル・トランスフォーメーション）推進本部を設置し、「インフラ DX」の取組みに着手し、建設部門での DX 導入を進めている。

その設置趣旨は以下のように示されている。

社会経済状況の激しい変化に対応し、インフラ分野においてもデータとデジタル技術を活用して、国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや、組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現すべく、省横断的に取組みを推進するインフラ分野の DX 推進本部を設置する。

既に、広くデジタル化技術が検討され、コンクリート構造物等の点検・維持管理技術であるとか、河川の流出予測等が多様な検討が進み、一部実装も進んでいる。

岩盤力学委員会としての取組み

岩盤を対象とした分野においても、地形などの変化に着目した斜面安定性評価に関連する取組みなども進められているところであるが、岩盤における検討事例や適用事例は、構造系のもの比べると相対的に少ないと感じるところである。その原因のひとつは、岩盤は人工構造物以上に、着目すべき特徴が多岐にわたり、取組みに難しさがあると考えられる。

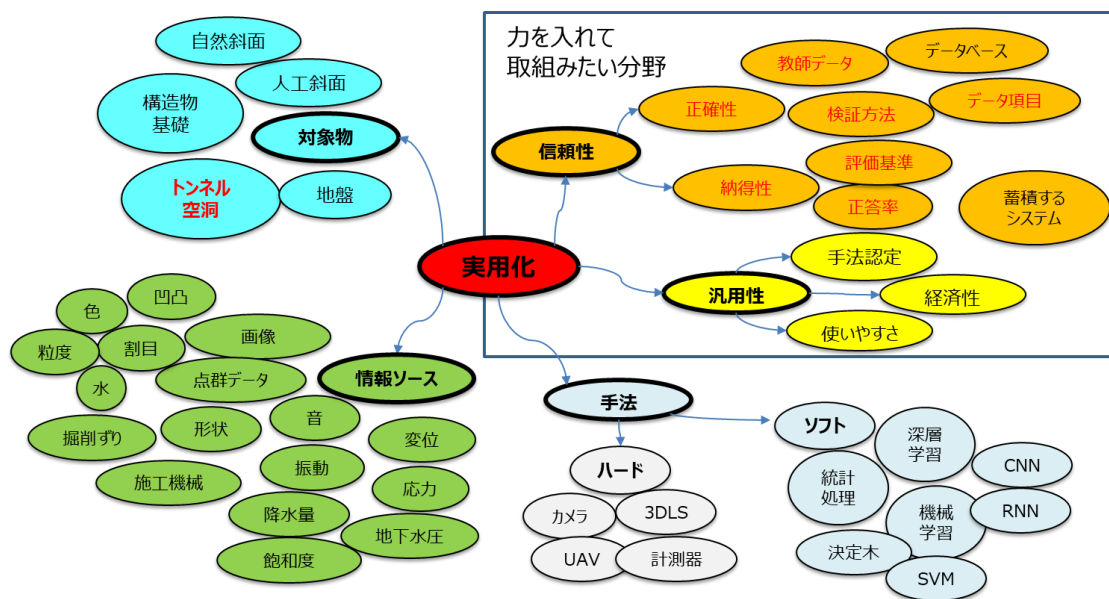
そこで岩盤力学委員会においては、岩盤分野でのデジタル化技術の適用推進や、それらを踏まえた業務の効率化・改善への寄与を念頭に置き、岩盤分野での DX 推進に係わる検討に着手することとした。

取組みにおいては、検討テーマを設定する必要があるが、テーマ設定に先立ち、どのようなテーマで取組みを進めるべきか、岩盤を対象としてデジタル化技術の実装を念頭に、マインドマップの作成を試みた。マインドマップには、対象構造物、考慮すべき情報、デジタル化に関する手法、実用化に向けた課題を挙げて作成した。

今回の取組みにおいては、ある程度具体的なアウトプットができることを念頭にし、比較的データが様式化され、取り扱い情報（画像なども含む）が体系化されて整理されている、トンネル切羽評価の問題を対象にすることとした。また実装という視点では、技術の信頼性はもちろんのこと、工事関係者が広く活用できるような汎用性も重要と考えた。

なお AI の手法は多様であるが、専門のベンダーを使って取組んでいる場合もあり、岩盤力学のエンジニアの視点から AI の個々の手法自体の深掘りは行わないこととした。

以上の視点でトンネル切羽評価に関するテーマを対象とした取組みを進めることとした。



マインドマップ

検討は、①技術動向調査、②標準データによる検討、③実用化に向けた課題検討、④各所への要望事項という区分で進めた。

- 技術動向調査は、すでに試行的に検討が進められている手法や、研究的に取り組まれている内容を調査し、手法の内容、どのようなレベルにあるのか、またどのような課題があるのかについて、取りまとめを行った。
- 標準データによる検討は、委員各社がトンネル工事において取得した写真データと切羽観察記録を収集し、各社の手法における評価を行い、再現性に代表される手法の有効性や、有効となる条件などの検討を具体的なデータにより行った。なお切羽観察記録や写真の収集については、発注者である国土交通省及び高速道路会社の使用許諾を得て利用させていただいた。
- 実用化に向けた課題については、標準データの検討や各社での試行検討の経験を踏まえ、AIによる切羽評価の信頼性向上の取組み、教師データに望まれる事項など、実用化・汎用化に向けた課題と、その解決策について取りまとめを行った。
- 最後に、それらの解決に向けて官民等のそれぞれの機関に対して望む事項をまとめた。

謝辞

本報告書のとりまとめに際しては、実際の切羽データを収集する必要がありましたが、これらの貴重なデータ提供に対し、発注者である国土交通省技術調査課殿及び各地方整備局のご理解とご協力により収集することができました。改めてここに御礼を申し上げます。

また大量の切羽データに基づき、本小委員会の一部のメンバーの方においては、標準データの作成、及び実際に自社で活用しているシステムを使って、標準データを利用した AI 判定作業を実施していただきました。大量のデータとなり相応の負担をかけることとなりましたが、協力していただいたおかげで検討成果をまとめることができました。メンバー各位に改めて謝意を表します。

1. トンネル切羽評価へのAI導入の期待

1.1 トンネル工事における切羽評価のフロー

トンネル工事においては、地山の状態に応じた適切な支保を施工する必要がある。あらかじめ実施された調査結果や、施工中の切羽から読み取れる地質条件など地山全体の安定性を考慮し、さらには施工条件などにも配慮し、熟練した技術者の判断により施工されていく。

このプロセスを概念的に示すと、図 1-1 のようになる。

切羽観察は切羽出現する岩盤の状態を把握するものであり、事実の取得とその情報を得るものである。切羽観察により、切羽評価が行われ、さらにそのトンネルが置かれている地山全体の条件(例えば初期地圧)などを考慮し地山評価が行われ、最終的に施工上の合理性などを総合判断し支保パターンが選定される。

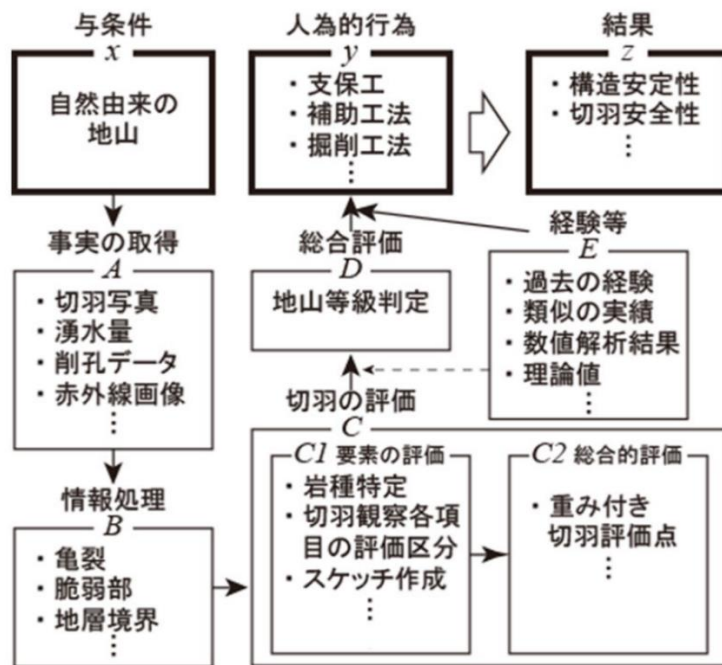


図 1-1 山岳トンネルにおける地山評価のフロー¹⁾

(1) 切羽観察

切羽写真や湧水量、削孔データ等の事実に基づき、技術者が評価区分の判定(要素的な評価)・スケッチの作成・所見等の記入など切羽を観察・評価すること。それらを様式に記録したものが切羽観察簿である。

得られる情報は、切羽観察簿(評価区分、スケッチ、所見、切羽写真等)、地山情報等であり、フロー図の A→B(→C1)の部分となる。

(2) 切羽評価

切羽観察簿等の情報から切羽評価点の算出や類似地山の推定など、切羽の状況を評価することであり、基本的に定量的な評価基準に基づき行われる。なお、類似地山・類似切羽などを参考とした定性的な評価が行われる場合もある。

得られる情報は、定量的評価の場合は切羽評価点等であり、フロー図の C1→C2 (定量的評価の例)、C1→D,E (定性的評価の例) である。

(3) 地山評価

切羽評価結果に加え、切羽以外の調査・計測結果、土被りの状態や包括的な地質構造等を含めて当該切羽の地山等級を判定・分類する行為であり、岩判定と呼ばれることもある。

得られる情報は地山等級であり、フロー図では:A→B→C(+E)→D に相当する。

(4) 支保パターンの選定

地山評価結果に加え、数値解析結果や支保緩衝区間等の要素を考慮して、最終的に現場で施工する支保パターンや補助工法の採用等を決定する行為である。

得られる情報は支保パターン、補助工法の有無、工法・構造等であり、フロー図では D+E→y に相当する。

参考文献

- 1) 田村賢人・佐々木亨・日下敦・菊地浩貴:主観的判断の影響を低減した地山評価支援システム構築の試み, 令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会, III-206, 2023.

1.2 AI 活用による切羽評価の合理化

切羽観察から支保パターンを選定まで、各種評価基準に基づき、熟練した技術者による評価・判定が行われており、技術者が深く介在している。これらのプロセスの中に AI による自動的な判定をする仕組みを組み込むことができれば、一連の評価・判定における技術者の労力が軽減され、要する時間を短縮でき、さらには技術者を介さず自動的な評価・判定による、施工の自動化が実現できる可能性もある。そのような理想像を持ちつつ本検討への取組みを行った。

その実現には多様な課題が存在するが、まず AI を活用した切羽評価の導入において期待される効果を明確にし、さらにそれを活用した将来のトンネル施工現場のイメージを将来像として整理した。

1.3 期待される導入効果

1.3.1 安全性の向上

トンネル掘削時における掘削直後の岩盤面は不安定であり、特に切羽面は垂直に仕上げられる場合が多く、最も不安定な部位である。このため最近では掘削作業の安全確保のため、切羽面も含めできるだけ速やかに吹付けコンクリートなどが施工される。

しかしながら、トンネルの施工を進める以上、切羽観察は必須であり、不安定な切羽面を露出させた状態で、技術者による切羽観察～切羽評価を行うこととなる。このため切羽面付近に近寄っての観察作業が多少なりとも発生するのが実情である。当然安全には十分配慮して行うものではあるが、切羽面等の崩落のリスクを完全に排除するのは難しいといえる。

これに対し、切羽写真などのデジタルデータを AI による切羽評価に利用することができれば、切羽に人が接近せず、十分に離れた位置から写真撮影等の方法により、判定に必要な情報を取得すればよいので、人が切羽付近で作業を行うという安全上のリスクを低減することが期待できる。切羽の肌落ちを AI により評価する手法も検討されている。¹⁾

1.3.2 客観性の向上と評価者の支援

トンネル切羽評価は、地質要素に基づく評価を行い、その結果により判定が行われる。評価基準は制定されているが切羽評価者の技量に委ねられる部分が少なくない。そのため切羽評価を行う技術者には、豊富な経験や知見が求められる。そのため評価結果は多少なりともその技術者の技量や資質に依存し、同じ切羽に対して技術者による判定結果の振れなどの差異が生じることがある。

AIによる切羽評価においては、高い技量を持った技術者の判定に基づく学習モデルを利用した場合は、客観性の高い結果が得られると想定される。経験の浅い技術者が切羽評価を行う場合などにおいては、切羽評価のリファレンスとして活用することが考えられる。自らが判定した内容と大きな乖離がある場合に、自らの判定の再確認を行うなどのきっかけになる。

1.3.3 技術者の補完

切羽評価や地山評価については、技術者の技量に依存する部分は少なくない。しかしながら、そのような技術者は多くはなく、前述のようにすべてのトンネルの切羽観察に立ち会うことは実質的には不可能である。

そのような場合に、ある程度の信頼性を有する切羽評価システムが活用できれば、不足する技術者の補完をすることも考えられる。その点で人材不足の補完という効果が期待できるであろう。

1.3.4 連続した切羽評価

前節と同様であるが、夜間の掘削作業時等においては、切羽観察に関して不慣れた現場作業員が代替して切羽観察を行う場合が多い。AIによる切羽評価システムが適用できれば、技量を有する技術者が直接観察できない切羽であっても、ある程度のレベルでの評価ができる可能性がある。

このように、システムを活用することで連続的にある一定水準の品質で切羽評価が可能になり、地質構造の連続的な評価にも役立てられるというメリットも期待できる。

1.3.5 施工現場における生産性向上

切羽評価は、施工を担当する施工会社の技術者が切羽位置まで足を運び行う。図 1.3-1 に一般的な日常管理における切羽観察の手順を示す。トンネルの施工サイクルのわずかな合間に切羽観察の時間を確保し行うこととなるが、施工サイクルへの影響を最小限にすべく、ずり出しやこそく作業の完了を切羽後方で待機するなどの待ち時間が発生する。また、切羽観察を終えたのちには、切羽で撮影した写真やスケッチを事務所に持ち帰り、PC上で事業者ごとに定められた切羽観察簿を作成する必要がある。このように切羽観察～切羽評価等の対応には、現場への移動時間、待機時間を含め相応の労力が必要となっている。

AIによる切羽評価を活用することが可能になれば、移動や待機時間の削減になり、現場職員の生産性向上にも大きく寄与することが期待できる。AIによる切羽評価で切羽観察を代替できるレベルや項目によって削減できる作業は異なるが、例えば表 1.3-1 に示すような効果が想定される。これらを完全に実現するには、切羽のデジタルデータの取得方法や精度などの課題があるが、三井ら²⁾はタブレットで切羽写真を撮影し、AIによって切羽評価を行って切羽観察簿を作成できるシステムを構築し、切羽担当職員の生産性向上と切羽評価の偏り低減を図っている。

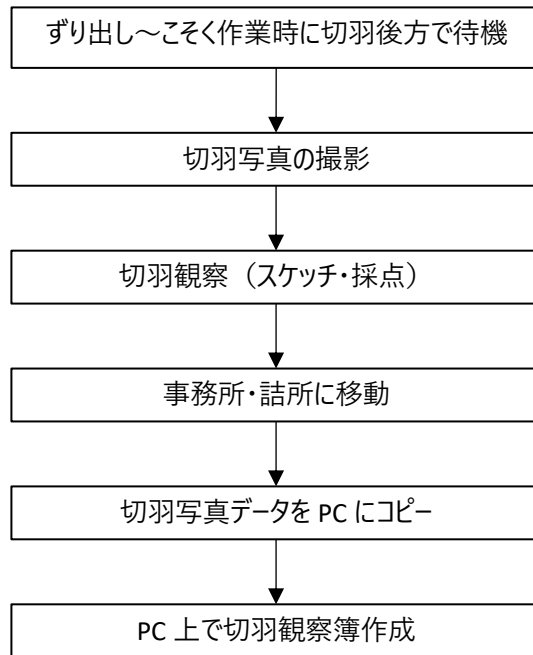


図 1.3-1 日常管理における切羽観察の手順

表 1.3-1 AI による切羽評価によって期待できる日常管理の切羽観察の生産性向上効果(例)

項目	削減できる時間 (想定例)	備考
事務所から切羽の移動時間	30 分	片道 15 分とした場合
ずり出し～こそく作業の待機	15 分	掘削状況, 切羽状況によって毎回異なる
切羽写真撮影・スケッチ	3 分	
事務所での PC 作業帳票作成	30 分	

1.3.6 地山評価の効率化

切羽評価を含む現場で実施する地山評価作業においては、切羽の目視観察が基本となり、施工会社はもちろんではあるが、施工の局面においては、発注者側の技術者他、多くの有識者も含めた評価が行われることもある。

重要な局面では、入念な観察・評価が求められそれ自体は必要な行為であると思われるが、多くの技術者が切羽に集合し、またその時間は施工を停止することで、生産性への影響も懸念されるところであり、より効率的な観察・判定作業が望まれるところである。難しい判断が求められるような状況では、このような観察・判定作業が続くようなこともある。

これに対して切羽評価が合理的に行うことができれば、現場作業の停止時間を短縮することができ、また切羽データ、画像なども含めて、クラウドなどでリアルタイムに共有して遠隔臨場(立会)が可能となれば、多くの関係者が現場に足を運ばなくても検討評価が可能になるなどの効果も期待でき、多くの技術者等の評価作業への参加なども可能になる。

遠隔臨場(立会)は、関係者それぞれの執務箇所から参加が可能のため、掘削作業のサイクルに合わせた時間に地山評価が可能になり、掘削作業の待機時間を削減できることが期待できる。宮嶋ら³⁾は、切羽のデジタルデータを事業者や建設会社とリアルタイムに共有するシステムを構築し(図1.3-2)、このようなシステムにより地山判定の遠隔臨場(立会)を実現した例もある。当然であるが遠隔臨場を実用化するためには、一定以上の評価精度が必要となるとともに、必要な精度の定義や関係者間の同意が不可欠である。

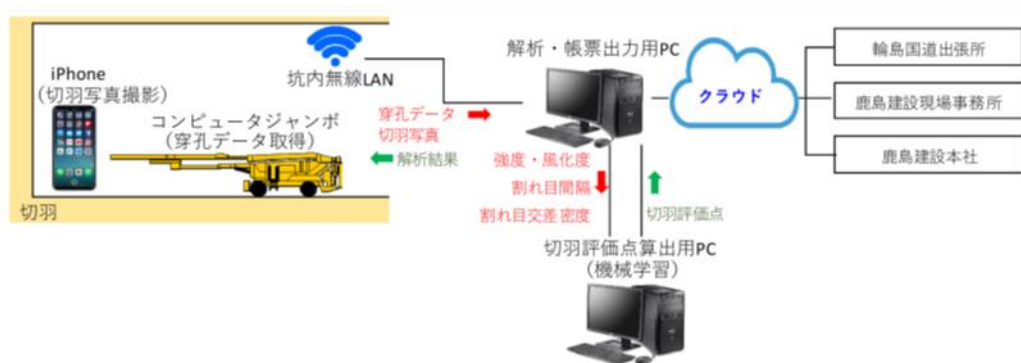


図 1.3-2 切羽情報リアルタイム共有システム³⁾

1.3.7 経済性

前項で述べたように、施工現場での生産性向上や、効率化が進み、また安全管理でも効果が見込まれれば、その結果として経済性の向上が期待できる。

現状の試行段階においては、従来どおりの人が介して行う切羽評価に加えて、AI による切羽評価も併用し、その性能を検証しながら施工を行っている局面が多いため、結果として経済性が得られる状況にはないのが実情であろうと思われる。しかしながら、実用化に向けた課題が解決され、前述したような効果が得られるような日が来れば、おのずと経済性向上に寄与するものと期待する。

1.3.8 情報の共有化

AI による切羽評価を実用化させていく局面で、学習データの共有化など施工時の情報がさらに詳細なレベルで共有化していくことが必要になるであろうと考えられる。副次的な効果として、情報の共有化や、共通で扱うための標準化を進める必要があろう。

トンネルの切羽観察情報は、ある意味大規模な地質調査情報である、国土の各所で施工されているトンネルの切羽観察情報が共有されるということは、国土の詳細な地質情報が共有され、防災面への活用であるとか、多様なインフラ整備にも役立つものと考えられる。

参考文献

- 1) 橋立 健司・吉川 正・山本 拓治・曾根 真理・辰巳 順一・宮嶋 保幸・上岡 真也・辻川 泰人・田中 統造・野村 貴律: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②一切羽の画像撮影方法の最適化についてー, 令和3年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, CS14-26, 2021.
- 2) 三井善孝・山本 悟・山下雅之:山岳トンネルにおけるAIを活用した切羽評価システムの開発, 西松建設技報, VOL.43, 2020.
- 3) 宮嶋ら:切羽のデジタルデータを活用した切羽評価帳票の自動作成システムの開発, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, VI-906, 2021.

1.4 AIによる切羽評価が実現した後の将来像

前項で示したメリットを踏まえ, AIによる切羽評価が実用化レベルに到達し, 実用化されるとしたら, トンネル施工がどのような状況になっているか, 将来イメージを描いてみる.

1.4.1 切羽評価等の無人化

AIによる切羽評価が, 相当精度が向上し, 技術者の代替ができるようなレベルに達すれば, 現場における技術者の切羽評価のための立ち合いが不要になろう. 各施工機械の稼働データや, 切羽写真, その他調査情報等も自動的に遠隔取得可能になれば, 一連の地山評価は人を介さず行うことが可能になるかもしれない.

1.4.2 施工の自動化

最近では, 施工機械の運転を現場の運転席ではなく, 離れた場所でリモート操作により行う試みも進められている. さらに, 単なる車両の移動のみならず, トリルジャンボの削孔作業や, 吹付けコンクリートやロックボルトの打設といった, 施工機械による各種操作まで, 自動運転化される可能性も考えられる. そのような状況が実現できれば, 施工現場は無人で, 施工機械だけで淡々と施工が進むような, 施工の自動化などが実現する可能性もあろう.

1.4.3 施工情報の自動収集とデータベース化

AIによる切羽評価システムで切羽観察や切羽評価が自動化され, さらに地山評価や支保パターンの選定までも自動化されると, 結果としてそれらの記録が自動的にデータとして残りデータベース化しやすくなる.

加えて, 各種施工機械の稼働記録もデータとして自動記録されるような仕組みができると, 切羽観察に関するデータのみならず, 施工機械関連データも含めた, 総合的なデータベース化が構築できることになる.

単に切羽評価の教師データのためだけではなく, 総合的なデータベースができると, 実績の検証や, さらなる合理的な施工へのフィードバックも可能になろう.

1.4.4 施工中における変位計測に基づく評価モデルのアップデート

切羽評価や地山評価の判定の妥当性の確認として、変位計測データ等を用いた評価と比較を行うことで定量的な検証も可能になると考えられる。計測データに基づき、逆解析手法等による岩盤性状の評価が行われることがあるが、計測データに基づく岩盤評価と AI による評価の整合性を確認することで、AI による切羽評価手法の妥当性の検証や AI モデルの見直しにも活用可能になる。

3D レーザースキャナー等でトンネル計測を密に行うことができるならば、都度計測データに基づく岩盤評価が可能になり、AI モデルの妥当性検証も実施可能になる。施工中においても、常に評価モデルのアップデートが為され、評価精度の向上が進められる。

1.4.5 人の係わり

そのような施工が実現すると、技術者は不要になってしまうかもしれない。しかし、学習モデル自体のベースとなる教師データは、もともと技術者の判定によるものであり、自動化されたシステムにおいても、その妥当性については、技術者による検証プロセスは必要であろうと思われる。

自動化により、現場作業員の労働負荷については、大幅に軽減できるものと思われるが、コアとなる技術は人間が管理していく必要性はあるものとする。

2. 技術動向調査

2.1 調査方法

2.1.1 対象とした文献

本技術動向調査では、表 2.1-1 に示す 50 文献の中から AI に関する内容を取り上げ、主として土木学会論文集と土木学会年次学術講演会(2017 年～2022 年)より、42 文献を対象とした。2022 年度は 9 文献、2021 年度は 13 文献、2020 年度は 5 文献、2019 年度～2017 年度は 3 件である。

表 2.1-1 文献の一覧

文献名	調査数
土木学会全国大会	38
土木学会論文集	4
The34thAnnualConf.AI	4
その他	4
合計	50

2.1.2 着目したポイント

技術動向調査は、収集した文献より、表 2.1-2 に示す項目ごとに整理した。以下の項目は選択方式として整理した。

① ハード

UAV(Unmanned Aerial Vehicle:無人航空機(ドローン等)), 3DLS(3D Laser Scanner 三次元レーザースキャナー計測), 計測器等を、ソフトは深層学習や機械学習, 統計処理等を主として取り上げたものとして各文献を整理した。

② 工程区分, 効果区分, 現在のフェーズ

現時点の技術動向の方向性や実用化までの状況を把握するために、各文献を整理した。

③ AIの可能性について

経験に基づく暗黙知や直観を含む人間の知能と人工知能の相互補完が重要と思われるため、AIの結果をそのまま利用、人間が AI の判断を解釈して利用、あくまで人間の判断が主であり AI により気づきを与えるという支援に分類し各文献を整理した。

以上以外の項目は、記述方式で整理した。モデルの概要や使用データ, 現時点の課題や今後の展望(期待)における一般的な項目から、学習時の岩種区分, 学習データの取得実績, 岩判定活用実績を整理することで、現状の AI に関する技術動向を整理した。さらに、AI が問題を生じさせた時の判断や技術伝承の捉え方など、文献から読み取れる範囲で整理した。なお、技術動向調査のうち AI 活用に関連するものを 30 件抽出し、巻末資料として掲載しているので参照されたい。

表 2.1-2 技術動向調査の項目

タイトル	
目的	
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他()
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他()
AI モデルの概要	
使用データ説明	
(学習時)岩種区分	(※例えば、どのような岩種区分には適用性が期待されるか等(本文削除))
現時点の課題	
学習データの取得 実績	
岩判定活用実績	
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他()
AI が問題を生じさせた時の判断	
AI による技術伝承の とらえ方	
今後の展望(期待)	
工事適用例, デモンストレーション事例	
キーワード:	

2.2 技術動向調査の結果

本分野では「切羽画像 AI 分析(切羽評価支援・肌落ち予測等)」、「音声認識 AI 分析」、「動態認識 AI 分析」と、切羽画像による AI 分析を中心として検討がなされてきた。直近では、切羽評価点全項目における精度向上に向けた詳細な検討、そして、「点検の効率化」や新たな適用事例について検討されている。図 2.2-1～図 2.2-5 は技術動向調査の各項目を整理した結果を示す。

現時点では、図 2.2-1 より本分野における AI 技術では、ソフト面を中心に検討されていることが分かる。

図 2.2-2 より、工程区分としては、施工段階が大半を占めており、設計に資する技術開発が少ないことが分かる。

図 2.2-3 より、省人・省力化や安全性・作業環境が 6 割強を占めていることから、施工段階における生産性向上を目的とし、また、精度向上を検討している段階であることが分かる。

図 2.2-4 より, 現状では研究段階であり, 実用化に向けた実証試験を開始したばかりである.

図 2.2-5 より, 「切羽画像 AI 分析」においては, 人間が解釈して利用や人間に気づきを支援, に AI の可能性が期待されている. 点検の効率化や動態認識などは, そのまま利用と, 既に人間による検討結果と大差ないことから, 生産性の向上が期待されている.

なお, 本調査結果は本小委員会内の WG メンバーを中心に文献から読みとり整理した内容である. 巻末に掲載する技術動向調査は, 文献の内容を WG メンバーが読みとき解釈したものであるため, 執筆者の意図そのものではない可能性がある点についてはご了解いただきたい.

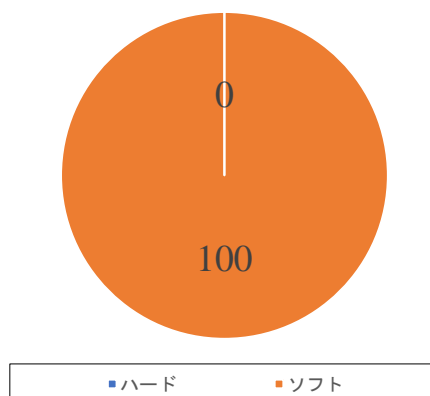


図 2.2-1 ハード・ソフト

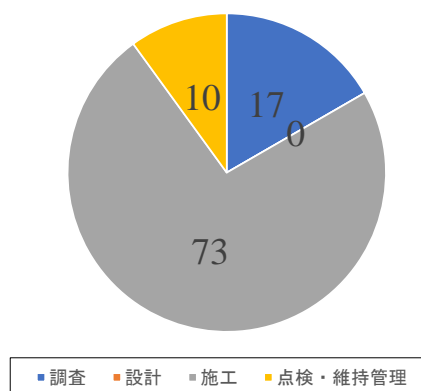


図 2.2-2 工程区分

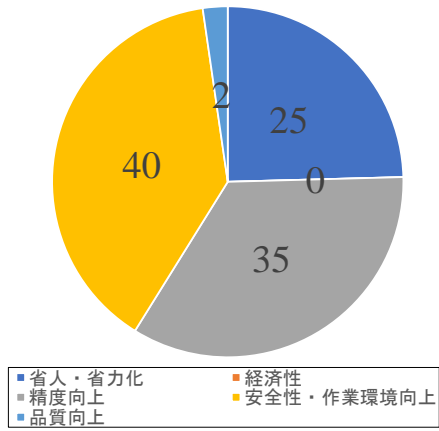


図 2.2-3 効果区分

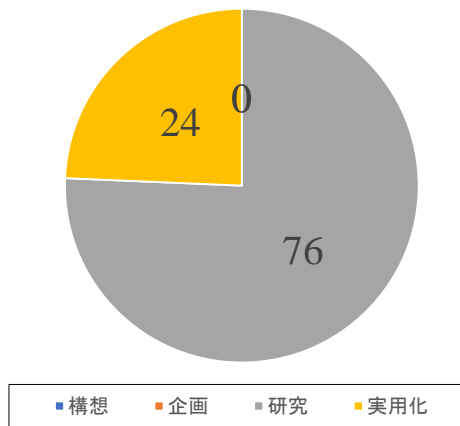


図 2.2-4 現在のフェーズ

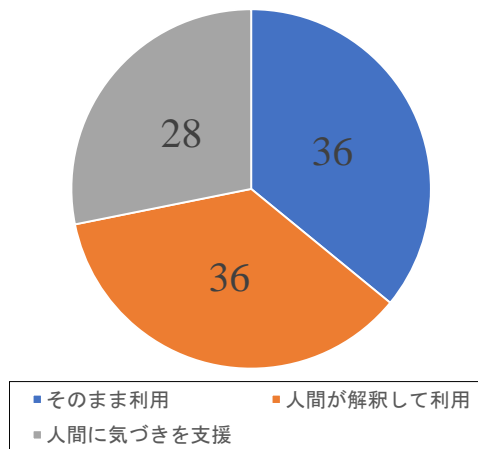


図 2.2-5 AIの可能性

2.3 本小委員会のメンバーが取り組んでいる技術

図 2.3-1~9 には、現状で研究開発を精力的に推進している代表的な技術について整理した結果を示す。使用技術、入力情報、出力情報、現状の 4 項目と、特徴的な図を示した。現状では、各社が AI 技術を駆使しながら、様々な手法を用いて取り組んでいる。詳細な技術については、各図を参照されたい。次なるステップとしては、試行レベルから実用化に持ち上げるためには何が必要であるかについて検討していくことである。

清水建設

使用技術：DL、ノンコア削孔検層、CoreML (ライブラリー)

入力情報：切羽画像、DEM画像、穿孔エネルギー

出力情報：切羽評価点

現状：二色トンネル（近畿地整）で試行済み

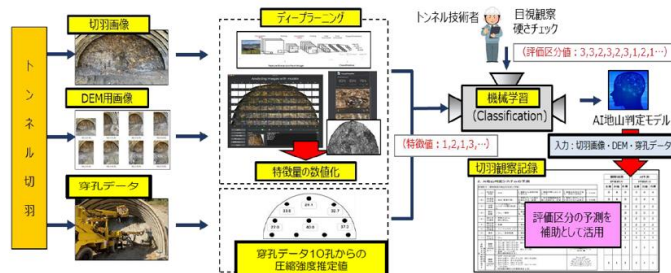


図 2.3-1 清水建設の取組み例

大林組

使用技術：DNN、AlexNet (Image Net学習済み)、SVM

入力情報：切羽画像 (タブレット端末などからクラウド送信)

出力情報：風化変質など7項目切羽評点 (送信装置に返信)

現状：冠山峠トンネル (近畿地整) 他、2019.4~当社全現場にオープン



図 2.3-2 大林組の取組み例

奥村組

使用技術：sMedio社製の「切羽AI評価システム」

入力情報：切羽画像

出力情報：風化変質、割れ目間隔、割れ目状態、湧水量、劣化

現状：現場展開中

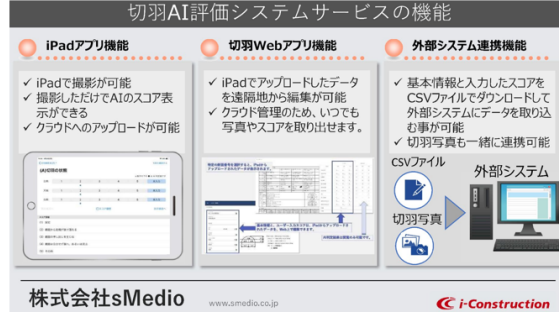


図 2.3-3 奥村組の取組み例

鹿島建設

使用技術：ロジスティック回帰、削孔検層、クリギング、画像処理

入力情報：切羽画像、穿孔エネルギー

出力情報：剥落発生率

現状：現場展開中

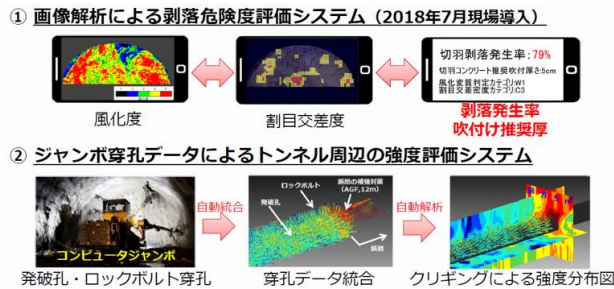


図 2.3-4 鹿島建設の取組み例

戸田建設

使用技術：CNN、VGG16

入力情報：切羽画像

出力情報：風化変質などの3項目切羽評価点

現状：宇治田原トンネル（西日本高速）で試行運用中

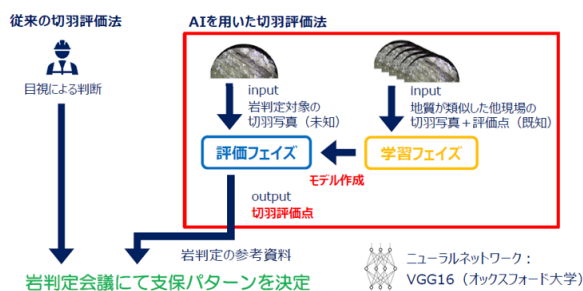


図 2.3-5 戸田建設の取組み例

西松建設

使用技術：CNN、DRISS、VIS（画像特徴の強調）

入力情報：切羽画像（タブレット端末で撮影）

出力情報：切羽評価区分

現状：試行中

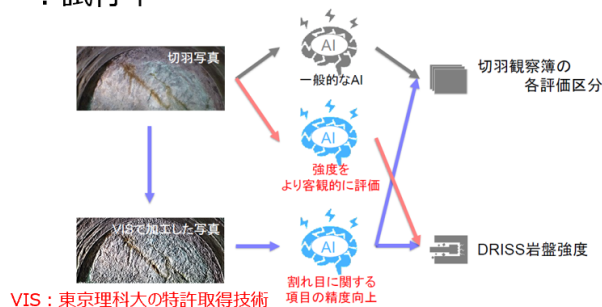


図 2.3-6 西松建設の取組み例

熊谷組

使用技術：CNN、ResNET

入力情報：切羽画像（複数のタブレット端末利用）

出力情報：風化変質などの9項目切羽評価点

現状：試行中

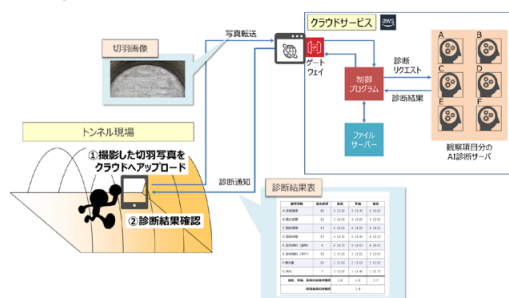


図 2.3-7 熊谷組の取組み例

飛鳥建設

使用技術：CNN、ノコア削孔検層、切羽押し変位

入力情報：切羽画像、穿孔エネルギー、変位

出力情報：風化変質などの5項目切羽評価点

現状：名護東道路4号トンネル（内閣府）で試行済み

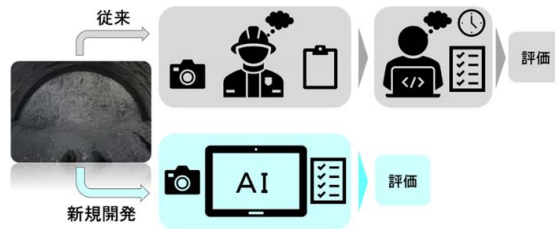


図 2.3-8 飛鳥建設の取組み例

安藤・間

使用技術：CNN、ResNET

入力情報：切羽画像、穿孔エネルギー、スペクトルデータ、ステレオ画像

出力情報：圧縮強度、風化度、割れ目間隔

現状：山清路防災1号トンネルで試行済み

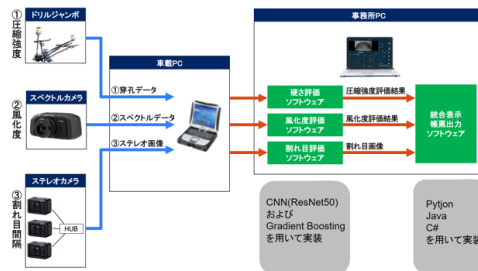


図 2.3-9 安藤・間の取組み例

2.4 課題等

2.4.1 概要

トンネル工事における、切羽等の肌落ちによる労働災害については、装葉中、コソク中、切羽観察中やずり出し後、発破後、吹付け作業中の作業において、切羽付近での作業中に多く発生している。切羽の不安定な状態について正しく把握されていなかったことが原因となり、災害が発生した事例もあったようである。AIによる切羽評価が迅速に実施できれば、これらの災害防止にも寄与できたかもしれない。

AIによる切羽評価に関する論文については、AI技術は日進月歩で進化するためか、年度が進むにつれ課題が順次解決されていくような状況が垣間見れる。初期には特定の項目に限定した検討が多かったが、検討が進むにつれより多くの課題解決のため、観察項目が検討の対象とされるなど、検討内容も深化していると言える。

しかしながら、まだ信頼性についての課題はあり、100%に近い正解率が得られるような状況ではなく、将来期待される完全自動化へはまだ時間がかかるであろう。なお正解率等の定義については、4.2節に示す。

そもそも切羽評価に学習させている教師データは、ベテラン技術者が評価している事例は少ない。

また、教師有り学習によるAIでは、未学習によるトンネルデータへの適用の課題、外部委託による開発環境のため、都度、再学習による外注コストが発生することも課題である。

2.4.2 正解率の向上

文献調査により共通していた課題は、学習に用いるデータ不足による正解率等の向上であった。以下に関連する課題を列挙する。

(1) 学習時に必要なデータ数の課題

AIの教師データとしては、多様な条件のデータがある程度の数量確保できれば良いが、特殊な条件の岩盤で一たは出現頻度が低く十分な数量を収集するのが難しい。例えば肌落ちが有った場所など、劣悪な条件の岩盤の出現頻度は必ずしも多くはなく、結果として十分な数量の教師データが得られにくい。教師データとなるデータのバリエーションや数量の確保が課題である。

(2) 地質関連の課題

岩種などの地質境界の認識における課題が残されている。

切羽の状態が土砂状であるとき、AIの予測精度が悪いことが課題である(割目状態、湧水量の正解率が低い)。

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するため、正解率向上に向けて、湧水をどのように取り扱うかが課題である。

(3) 切羽写真の処理に関する課題

人工物が写っている写真を使うことによる課題もある。画像を領域分割し、対象範囲を限定することで岩盤のみを特定し、機械学習に用いるなどの試みは行われている。

色補正に対して影の重なりを避けて撮影することや、照明が色見本に強く反射し、黒部の画素をえられず色見本検出の課題が残されている。また黒部分をマスキングすることで、照明による影響低減することが検討されている。

画像品質のばらつきによる課題が残されている。

地質区分、風化変質については色に左右されるため、色見本や色補正することの課題が残されている。

フレームレートがリアルタイム計測の処理以下の環境による課題が残されている。

高い正解率を期待した風化変質状態の正解率が、撮影条件によってばらつきがでてしまうことへの課題が残されている(一部危険作業の検出が途切れることがあり、原因として照明の影響で対象物を検出できないことなどが考えられるため)。

ひび割れ自動検出システムにおいては、カメラから撮影箇所までの距離を正確に測定するのに多くの時間を要するような課題が示されていた。

(4) その他

変形モード解析を用いた外力性評価の事例は少なく、今後、今回構築したモデルでは対応できないケースが発生することへの課題が残された。

変位量予測をどのように施工管理に用いるかという明確化が必要である。

タブレットのみで切羽観察表を完成させる機能の実装が課題である。

トンネル軸方向の穿孔データのみを有効データとして利用しており、割れ目等の評価にはその他の角度の穿孔データなどが重要である。

2.5 技術動向調査のまとめ

文献調査より抽出した課題では、AI 技術の正解率を向上させるために、カメラによる撮影方法および機能の検討、生産性向上のためのソフト面の充実、そして、データ取得による課題である。データ取得による問題は、各社で開発するのではなく、グローバルで勝ち抜くためにも、オールジャパンで検討するのが望ましいと考える。そのためには、発注者と受注者、外部ベンダーの枠を超えて、円滑な協働作業の充実が必要となる。さらに、現場の声に今一度耳を傾けることが重要である。

第2次 AI ブーム時代、土木と情報によるコミュニケーションが上手くなされていなかったことが問題であったと考えられる。土木技術は経験工学であり、経験の蓄積と継承により責任が果たされてきた。経験に頼りすぎるとイノベーションが起こりにくいことは否めない。しかしながら、過去に蓄積された土木技術をないがしろにし、最新の AI 技術をブラックボックスのまま導入することだけは警笛を鳴らさざるを得ない。AI のアルゴリズムが複雑化することにより、この問題は加速されている。見落としがちなのは、画像データに人が入ることにより加工するなど、人間であれば当たり前に行えることが、AI にはできていないことに対して、今一度目を向けていかなければならないのではないかと。その理由は、土木技術は現在に至るまで、室内および現場実験を重ね、理論解や近似解を展開して、ステークホルダーとの合意形成により、建設プロジェクトが実施されてきた。その成果は、工期の遅延や建設コストの削減、そして労働災害を減らし、果敢な建設プロジェクトを成功させてきたことは疑いようの余地がないからである。

AIの精度向上は目まぐるしい進化を遂げている。ただし、AIの一番の問題は、ブラックボックスであろう。ブラックボックスは、現在までの土木技術と逆行していると思われる。文献調査より、AIが問題を生じさせた時の判断や技術伝承について、読み取ることはできなかった。失敗は許されない建設プロジェクトにおいて、この観点は非常に重要である。さらに危惧されることは、AI技術の進化により、人が学ぶ機会を奪ってしまうことである。切羽評価では、スケッチすることの大切さの技術伝承(例えば、単に画像を描くのでは無く、直接いろいろな方向や周辺との連動を視認することで、3次元の実態として切羽状態を確認し、それを野帳に手書きすることで、特徴を明確化することへの可能性が高まるため(すなわち、切羽評価に対する人の思考力の向上が必要))をしないと、長期的な視点を考えた場合に問題が生じることが懸念されるであろう。

最後に、現在の課題を抽出したところで、今後、AI技術を実用化するために欠かせないと思われることを以下に示す。

産官学が連携し共通に活用可能なトンネル切羽情報データベースの構築

岩盤力学分野における知識と知恵を説明できるAI技術の構築

AI技術の進化による人の学びを奪うことへの問題

以上は、本小委員会のWG1のメンバーにおけるコメントをまとめたものである。VUCA(Volatility(変動性)、Uncertainty(不確実性)、Complexity(複雑性)、Ambiguity(曖昧性)の頭字語)の時代においては、今回述べた内容がすぐに更新される可能性もあることを強調しておく。

参考文献

- 1) 内平直志, 森俊樹, 大島丈史: 人工知能とプロジェクトマネジメント, IEICE Fundamentals Review, Vol.13, No.4, 2020.

3. 標準データを活用した切羽評価

3.1 検討概要

山岳トンネルの施工を進める上で、切羽観察・評価は、山岳トンネルの支保パターン選定における最も重要な判断基準となっている。しかし、切羽観察・評価を実施する技術は、技術者の経験値や習熟度に大きく依存している。このため、切羽観察による評価結果を平準化することは大きな課題となっており、評価の客観性を確保するために、複数技術者による判断が求められることもある。

こうした背景を踏まえ、AI 画像解析手法を適用することで、客観的で個人差の少ない評価を実施する試みが進められている。現在、こうした取り組みは、開発に取り組む各社がオリジナルの学習データを用いて独自の AI モデルを展開することで適用が進められ、各社の判断基準の中で精度評価が実施されているため、各 AI モデル間の精度を客観的に評価することができない。こうした技術を広く山岳トンネル工事に適用するためには、切羽観察・評価に対する各 AI 評価技術の性能、適用性を保証するための評価手段が必要になると考えられる。その一つとして、教師データ、評価データとしての客観性を確保した「標準データ」を整備し、公共利用できる枠組みを構築することが挙げられる。

本章においては、標準データを活用した切羽評価の有効性を検証するため、はじめに各社において実施された切羽観察データを抽出し、疑似的な標準データを作成した。そして、各社において独自に学習を進めた AI モデルによって、標準データの評価を行い、各 AI モデル間での正解率のバラツキや偏りについて分析を行った。これらの分析結果を踏まえ、AI モデルの評価性能を平準化するために必要となる標準データの活用について考察を行った。

3.2 標準データの作成方法

標準データ作成の試行に用いた切羽観察結果は、国土交通省において事業が進められた道路トンネルを対象とし、切羽画像および切羽評価点の記録状況が比較的良好なものを任意に抽出した。道路トンネルにおける切羽観察では、国交省形式による切羽評価区分(図 3.2-1)、もしくはNEXCO形式による切羽評価区分(図 3.2-2)を用いることが一般的である。ここでは、国土交通省形式で記録された 10 トンネル、1,952 切羽、および NEXCO 形式で記録された 8 トンネル、1,972 切羽の収集を行った。これら各現場において評価された切羽評価データに対して、切羽画像と各切羽評価項目のタグ付けを行うことで教師データの作成を実施した。

3.2.1 収集データの地質性状

収集された切羽データにおける岩石種および地山等級分布のうち、国交省形式のものを図 3.2-3 に、NEXCO 形式のものを図 3.2-4 に示す。国交省形式のものは中硬・軟質岩(塊状)、第三紀層のものが比較的多くなっているが、地山等級区分はC II およびD I がほぼ同数でD II、D III がそれぞれ1~2割程度の割合となっている。NEXCO 形式のものでは、比較的、各岩種のものを均等に含んでいるが、地山等級はD I にやや偏った分布を持っている。

3.2.2 収集データの評価分布

収集された切羽データにおける切羽評価区分の分布状況について国交省形式のものを図 3.2-5 に、NEXCO 形式のものを図 3.2-6 に示す。国交省形式では 9 項目について各 4 段階に区分けされ、NEXCO 形式では 8 項目について 4~6 段階の区分けが行われている。各評価区分の頻度は実際の

評価区分(掘削地点の地山の状況と挙動)					
(A)切羽の状態	1. 安定	2. 鏡面から岩塊が抜け落ちる	3. 鏡面の押し出しを生じる	4. 鏡面は自立せず崩れ、あるいは流出	5. その他
(B)素掘面の状態	1. 自立(普請不要)	2. 時間がたつと緩み肌落ちする(後普請)	3. 自立困難掘削後早期に支保する(先普請)	4. 掘削に先行して山を受けておく必要がある	5. その他
(C)圧縮強度	1. $\sigma_c \geq 100 \text{ MPa}$	2. $100 \text{ MPa} > \sigma_c \geq 20 \text{ MPa}$ ハンマー打撃で砕ける	3. $20 \text{ MPa} > \sigma_c \geq 5 \text{ MPa}$ 軽い打撃で砕ける	4. $5 \text{ MPa} > \sigma_c$ ハンマー刃先食い込む	5. その他
(D)風化変質	1. なし・健全	2. 岩目に沿って変色、強度やや低下	3. 全体的に変色、強度相当に低下	4. 土砂状、粘土状、破碎、当初より未固結	5. その他
(E)割れ目の頻度	1. 間隔 $d \geq 1\text{m}$ 割れ目なし	2. $1\text{m} > d \geq 20\text{cm}$	3. $20\text{cm} > d \geq 5\text{cm}$	4. $5\text{cm} > d$ 破碎、当初より未固結	5. その他
(F)割れ目の状態	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 開口	4. 粘土挟む、当初より未固結	5. その他
(G)割れ目の形態	1. ランダム方形	2. 柱状	3. 層状、片状、板状	4. 土砂状、細片状、当初より未固結	5. その他
(H)湧水	1. なし・滲水程度	2. 滴水程度	3. 集中湧水	4. 全面湧水	5. その他
(I)水による劣化	1. なし	2. 緩みを生ず	3. 軟弱化	4. 崩壊、流出	5. その他
割れ目の方向性卓越する不連続面のあるとき	縦断方向 (切羽をみて)	1. 水平 ($10^\circ > \theta \geq 0^\circ$) 2. さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$ 、 $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3. さし目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4. 流れ目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5. 流れ目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$ 、 $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6. 垂直 ($\theta \geq 80^\circ$)			
	横断方向 (切羽をみて)	1. 水平 ($10^\circ > \theta \geq 0^\circ$) 2. 右から左へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$ 、 $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3. 右から左へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4. 左から右へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5. 左から右へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$ 、 $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6. ($\theta \geq 80^\circ$) (切羽面のみかけの傾斜角をとる)			

図 3.2-1 国交省形式の切羽評価区分

観察項目	評価区分						
	100以上	100~50	50~25	25~10	10~3	3以下	
A.圧縮強度 (N/mm ²)	一軸圧縮強度	100以上	100~50	50~25	25~10	10~3	3以下
	ハンマーの打撃による強度の目安	岩片を地面に置きハンマーで強打しても割れにくい。	岩片を地面に置きハンマーで強打すれば割れる。	岩片を手持ってハンマーで叩いて割ることができる。	岩片とおしをたたき合わせて割ることができる。	両手で岩片を部分的にでも割ることができる。	力を込めれば小さな岩片を指先でつぶすことができる。
	評価区分	1	2	3	4	5	6
B.風化変質	風化の目安	概ね新鮮	割れ目沿いの風化変質	岩芯まで風化変質	土砂状風化、未固結土砂		
	熱水変質などの目安	変質は見られない	変質により割れ目に粘土を挟む	変質により岩芯まで強度低下	著しい変質により全体が土砂状粘土化		
	評価区分	1	2	3	4		
C.割目間隔	割れ目の間隔	$d \geq 1\text{m}$	$1\text{m} > d \geq 50\text{cm}$	$50 > d \geq 20\text{cm}$	$20 > d \geq 5\text{cm}$	$5\text{cm} > d$	
	RQD	80以上	80~50	60~30	40~10	20以下	
	評価区分	1	2	3	4	5	
D.割目状態	割目の開口度	割目は密着している。	割目の一部が開口している。	割目の多くが開口している。	割目が開口している。(幅1~5mm)	割目が開口し5mm以上の幅がある。	
	割目の挟入物	なし	なし	なし	薄粘土を挟む(5mm以下)	厚粘土を挟む(5mm以上)	
	割目の粗度鏡肌	粗い	割目が平滑	一部に鏡肌	よく磨れた鏡肌		
評価区分	1	2	3	4	5		
E.走向傾斜	走向がトソ軸と直角	1. 差し目 傾斜 $45 \sim 90^\circ$	2. 差し目 傾斜 $20 \sim 45^\circ$	3. 差し目流れ目 傾斜 $0 \sim 20^\circ$	4. 流れ目 傾斜 $20 \sim 45^\circ$	5. 流れ目 傾斜 $45 \sim 90^\circ$	
	トソ軸と平行			1. 傾斜 $0 \sim 20^\circ$	2. 傾斜 $20 \sim 45^\circ$	3. 傾斜 $45 \sim 90^\circ$	
	評価区分	1	2	3	4	5	
F.湧水量	状態	なし	滴水程度	集中湧水	全面湧水		
	評価区分	1	2	3	4		
	評価区分	1	2	3	4		
G.劣化	水による劣化	なし	緩みを生ず	軟弱化	流出		
	評価区分	1	2	3	4		
	評価区分	1	2	3	4		

図 3.2-2 NEXCO 形式の切羽評価区分

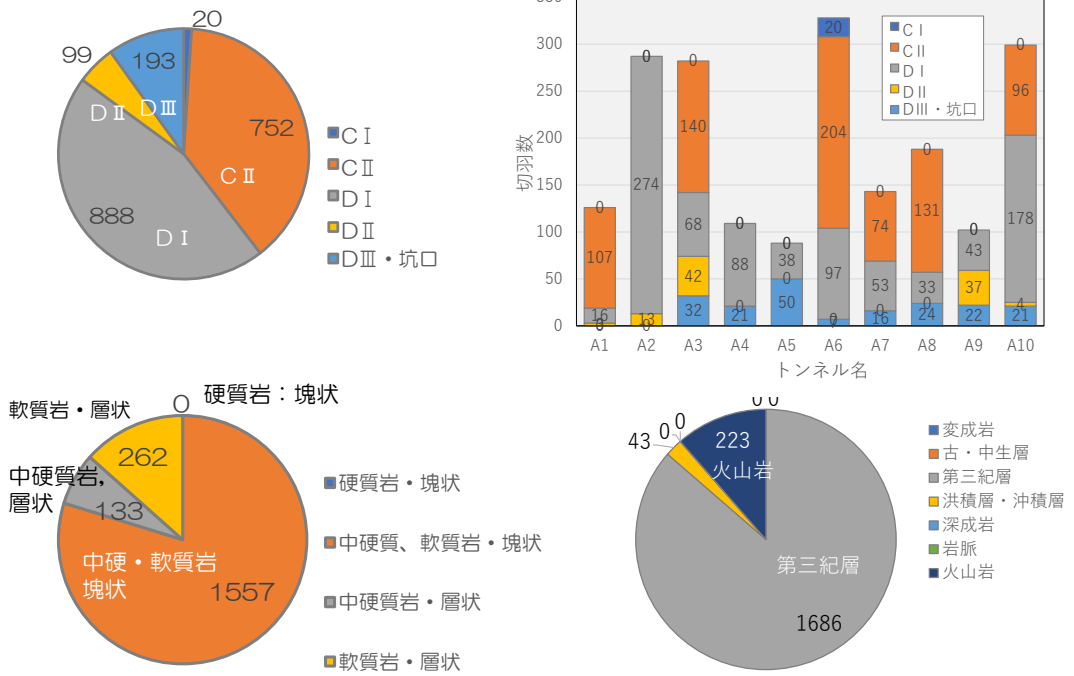


図 3.2-3 国交省形式切羽評価データにおける岩種および地山等級分布

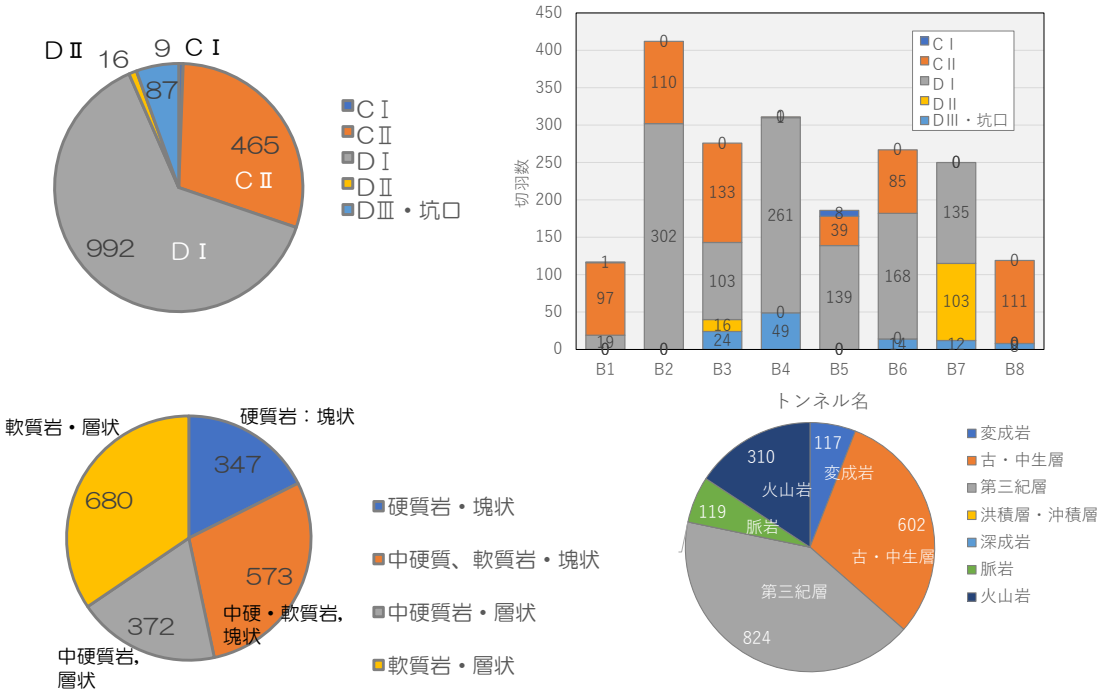


図 3.2-4 NEXCO 形式切羽評価データにおける岩種および地山等級分布

地山における出現頻度を反映し、特定の評価区分に偏った分布形態を示している。こうした教師データにおける評価区分頻度の偏りは、AI 学習モデルの作成に影響を与える可能性があるが、ここでは、標準データには、実際の出現頻度に応じた評価分布を持つものとして整理を行った。



図 3.2-5 国交省形式切羽評価データにおける岩種および地山等級分布(右)

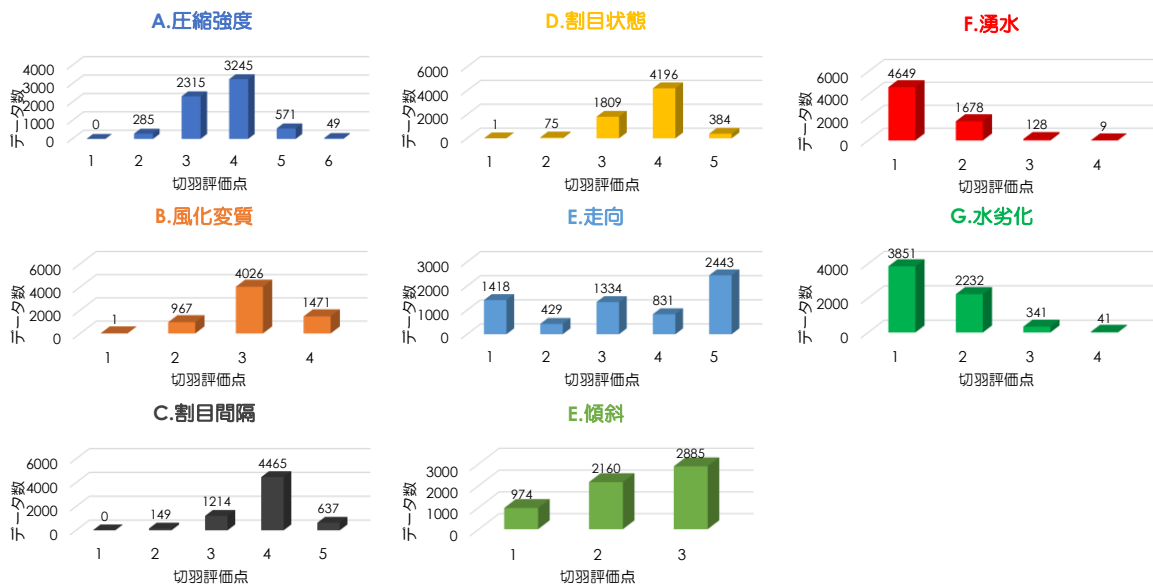
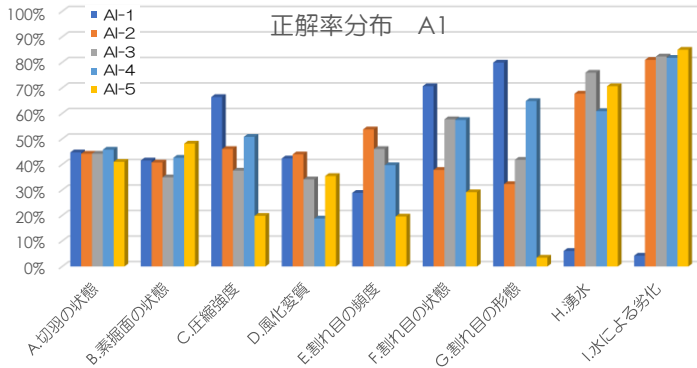


図 3.2-6 NEXCO 形式切羽評価データにおける岩種および地山等級分布

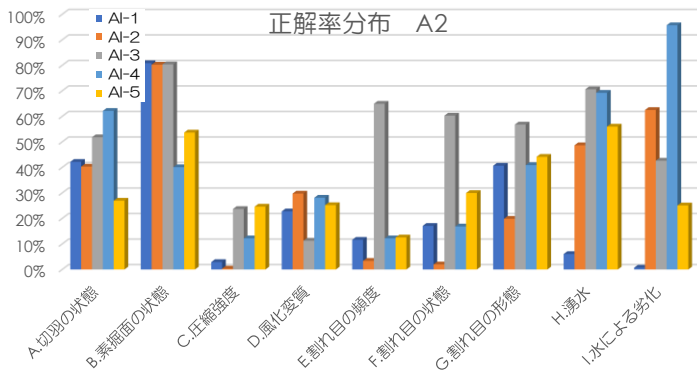
3.3 既存 AI モデルによる標準データの相互評価結果

国交省の道路トンネルにおいて任意に集められた切羽評価データから作成された標準データに対して、既存の AI モデルによる評価を行い、切羽観察結果との正解率の比較を行った。ここでは、切羽画像のみから評価項目を判定する AI モデルのみを評価対象としている。各 AI モデルには、特定の地質条件に特化して学習した AI モデルや幅広い学習データを用いて学習した AI モデル、さらに試行中のものを含んでおり、今回抽出された標準データによる学習は基本的に行われていない。



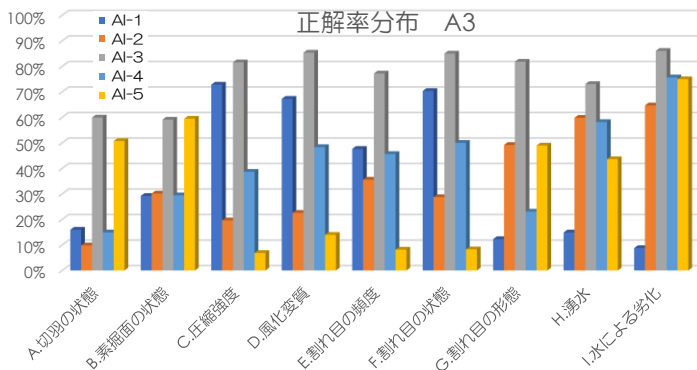
岩石G	総数
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	126
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

図 3.3-1 国交省形式 A1トンネルにおける正解率分布



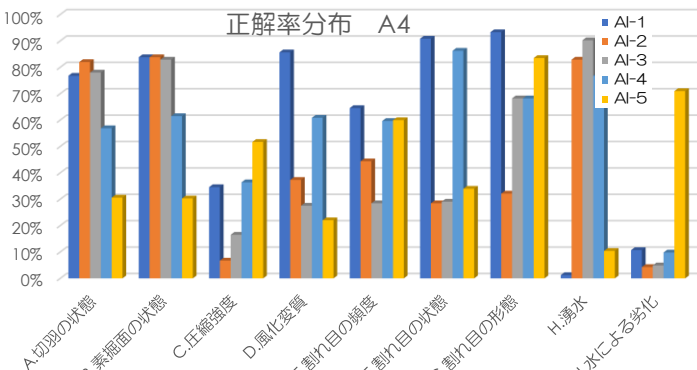
岩石G	総数
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	287
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

図 3.3-2 国交省形式 A2トンネルにおける正解率分布



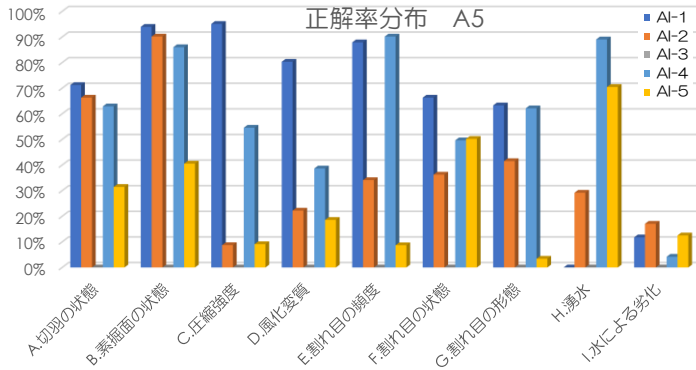
岩石G	総数
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	159
洪積層・沖積層	43
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	80

図 3.3-3 国交省形式 A3トンネルにおける正解率分布



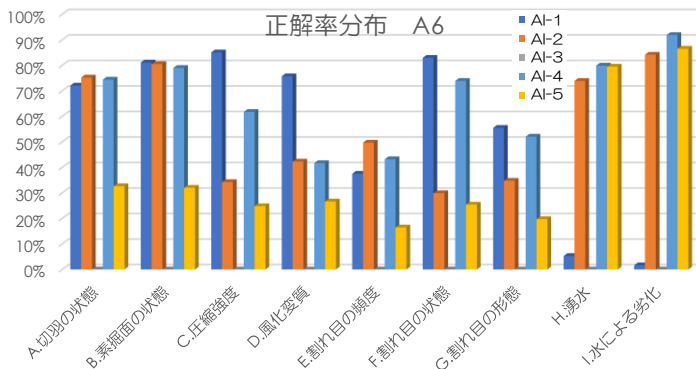
岩石G	総数
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	109
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

図 3.3-4 国交省形式 A4トンネルにおける正解率分布



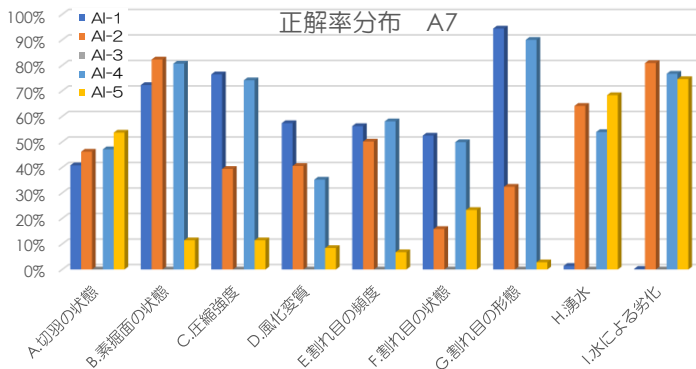
岩石G	総数
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	88
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

図 3.3-5 国交省形式 A5トンネルにおける正解率分布



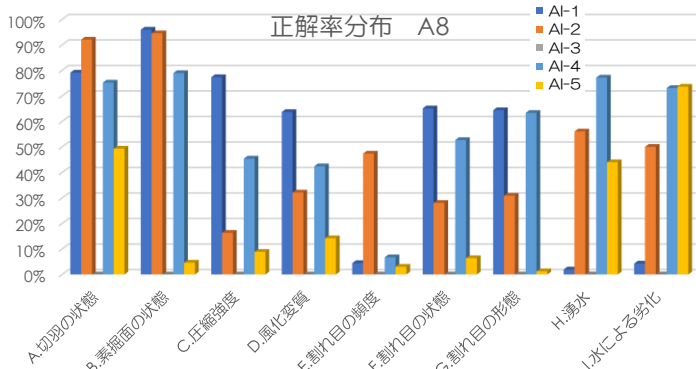
岩石G	総数
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	328
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

図 3.3-6 国交省形式 A6トンネルにおける正解率分布



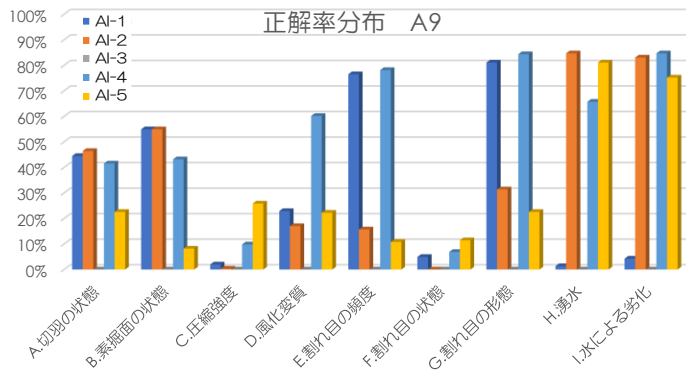
岩石G	総数
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	0
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	143

図 3.3-7 国交省形式 A7トンネルにおける正解率分布



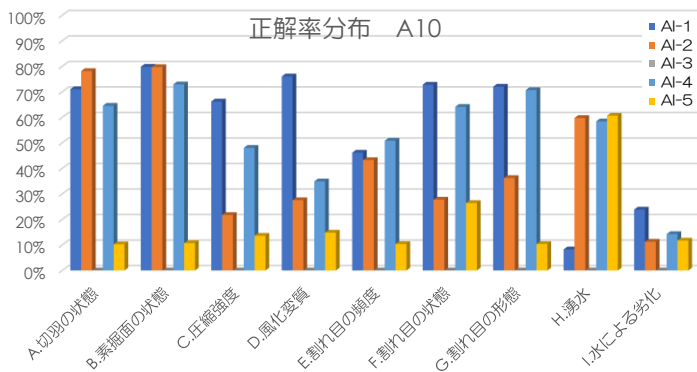
岩石G	総数
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	188
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

図 3.3-8 国交省形式 A8トンネルにおける正解率分布



岩石G	総数
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	102
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

図 3.3-9 国交省形式 A9トンネルにおける正解率分布



岩石G	総数
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	299
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

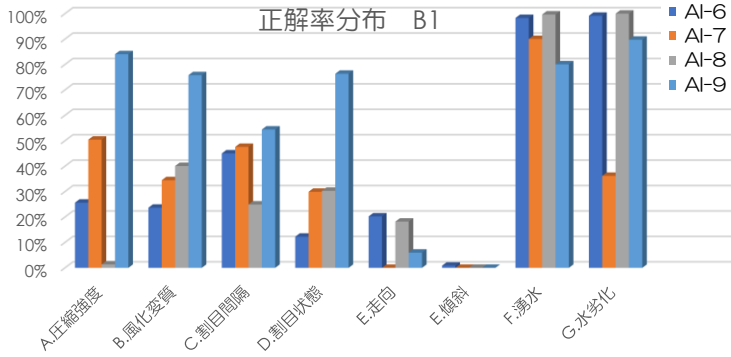
図 3.3-10 国交省形式 A10トンネルにおける正解率分布

3.3.1 国交省形式データの評価結果

国交省形式で切羽観察が記録されている 10 トンネル、N=1,952 の切羽画像に対して、5 つの既存 AI モデル(AI-1～AI-5)を用いて評価を行った結果を図 3.3-1～図 3.3-10 に示す。正解率は各トンネルおよび各 AI モデル間で大きくばらつき、各 AI モデルが得意とする条件や全体的に正解率が伸びない傾向のある地質条件があることが示唆される。また、未学習の標準データに対して評価を行った正解率が 80%を超える項目はほとんど認められない結果となった。

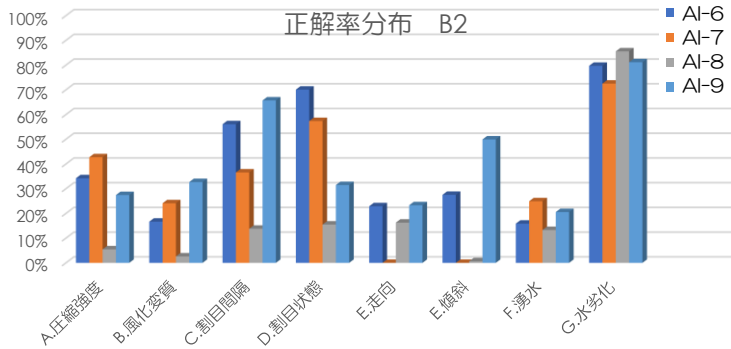
3.3.2 NEXCO 形式データの評価結果

NEXCO 形式で切羽観察が記録されている 8 トンネル、N=1,972 の切羽画像に対して、トンネルごとに 4 つの既存 AI モデル(AI-6～AI-9)により評価を行った結果を図 3.3-11～図 3.3-18 に示す。NEXCO 形式の切羽評価データセットに対しても、正解率は各トンネルおよび各 AI モデル間で大きくばらつき、正解率が 80%を超える項目はほとんど認められない結果となった。ここでも、各 AI モデルが得意とする条件や全体的に正解率が伸びない傾向のある地質条件があることが示唆され、未学習の標準データに対する正解率は相対的に低い結果となった。



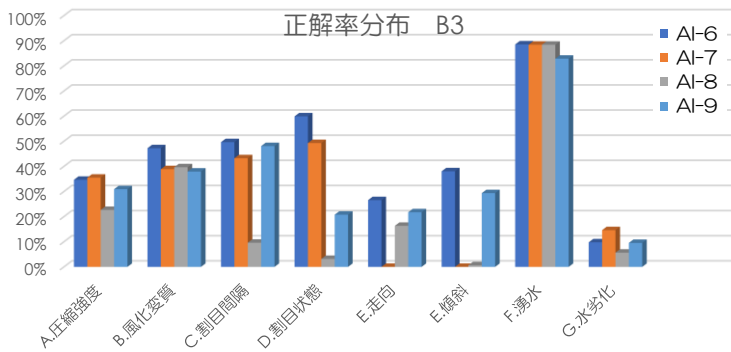
硬質岩・塊状	0
中硬質、軟質岩・塊状	0
中硬質岩・層状	0
軟質岩・層状	117
変成岩	117
古・中生層	0
第三紀層	0
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

図 3.3-11 NEXCO 形式 B1 トンネルにおける正解率分布



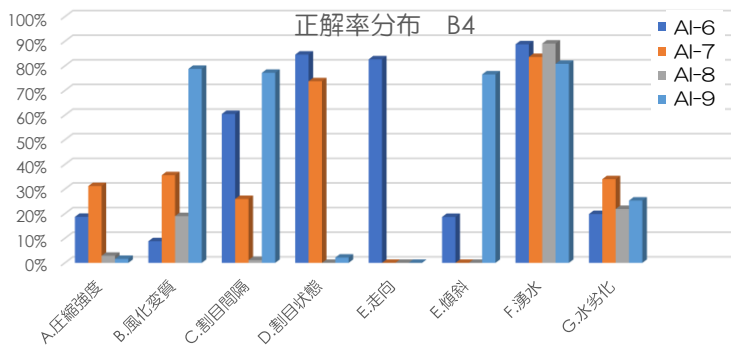
硬質岩・塊状	152
中硬質、軟質岩・塊状	0
中硬質岩・層状	260
軟質岩・層状	0
変成岩	0
古・中生層	412
第三紀層	0
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

図 3.3-12 NEXCO 形式 B2 トンネルにおける正解率分布



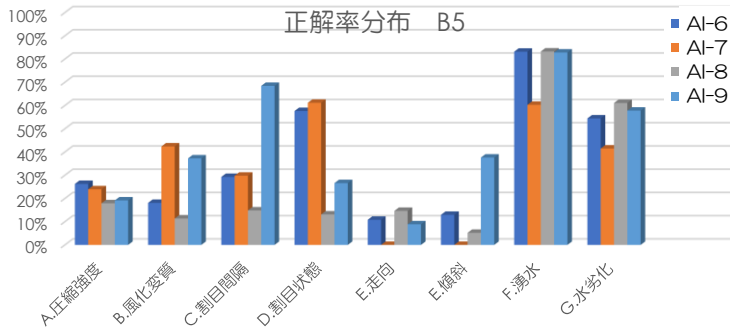
硬質岩・塊状	0
中硬質、軟質岩・塊状	274
中硬質岩・層状	0
軟質岩・層状	2
変成岩	0
古・中生層	2
第三紀層	148
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	126

図 3.3-13 NEXCO 形式 B3 トンネルにおける正解率分布



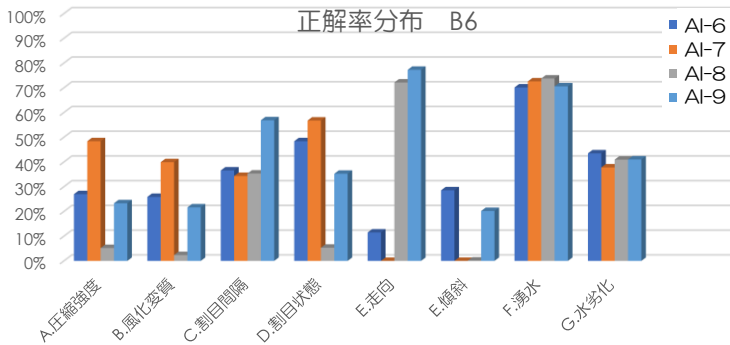
硬質岩・塊状	0
中硬質、軟質岩・塊状	0
中硬質岩・層状	0
軟質岩・層状	311
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	311
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

図 3.3-14 NEXCO 形式 B4 トンネルにおける正解率分布



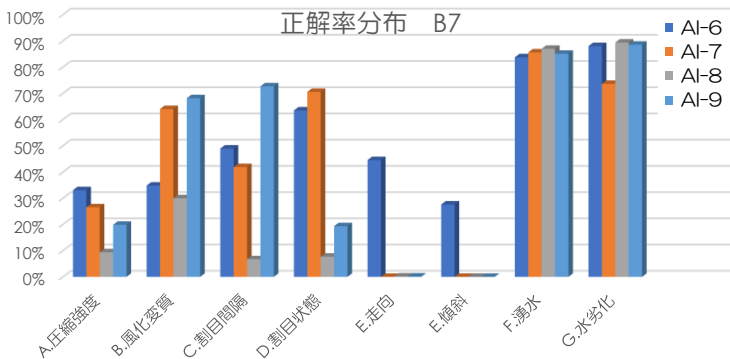
硬質岩・塊状	76
中硬質、軟質岩・塊状	0
中硬質岩・層状	112
軟質岩・層状	0
変成岩	0
古・中生層	188
第三紀層	0
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

図 3.3-15 NEXCO 形式 B5トンネルにおける正解率分布



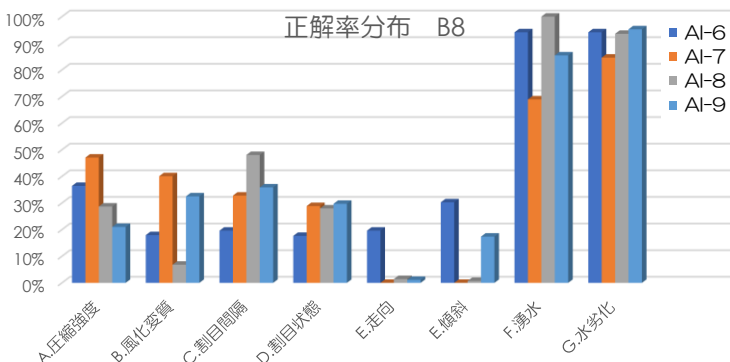
硬質岩・塊状	0
中硬質、軟質岩・塊状	299
中硬質岩・層状	0
軟質岩・層状	0
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	115
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	184

図 3.3-16 NEXCO 形式 B6トンネルにおける正解率分布



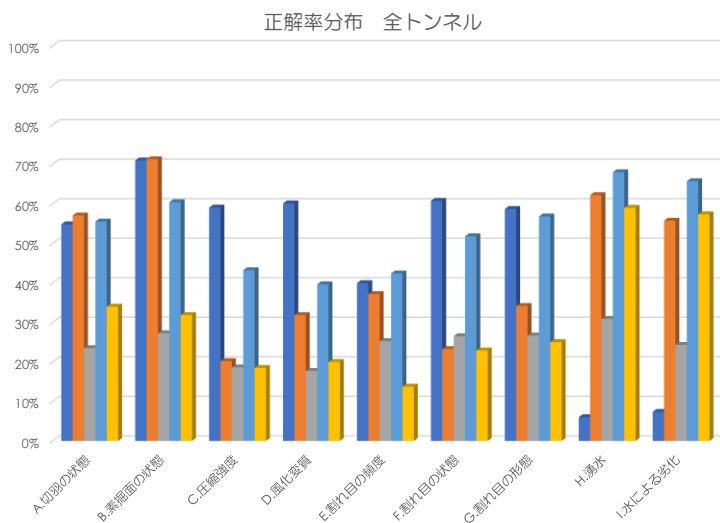
硬質岩・塊状	0
中硬質、軟質岩・塊状	0
中硬質岩・層状	0
軟質岩・層状	250
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	250
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	0
火山岩	0

図 3.3-17 NEXCO 形式 B7トンネルにおける正解率分布



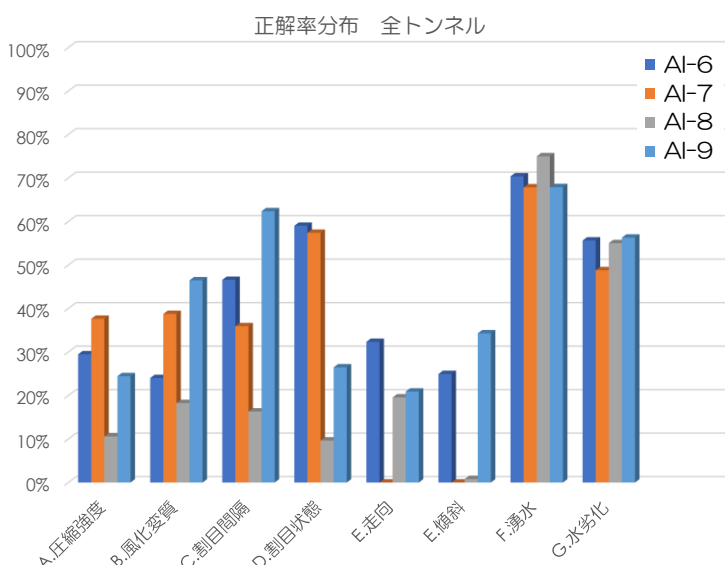
硬質岩・塊状	119
中硬質、軟質岩・塊状	0
中硬質岩・層状	0
軟質岩・層状	0
変成岩	0
古・中生層	0
第三紀層	0
洪積層・沖積層	0
深成岩	0
脈岩	119
火山岩	0

図 3.3-18 NEXCO 形式 B8トンネルにおける正解率分布



項目		総数
総合		1952
岩石G	硬質岩・塊状	0
	中硬質、軟質岩・塊状	1557
	中硬質岩・層状	133
	軟質岩・層状	262
岩石区分	変成岩	0
	古・中生層	0
	第三紀層	1686
	洪積層・沖積層	43
	深成岩	0
	岩脈	0
	火山岩	223

図 3.4-1 国交省形式 AI~10 全トンネルにおける正解率分布



項目		総数
総合		1972
岩石G	硬質岩・塊状	347
	中硬質、軟質岩・塊状	573
	中硬質岩・層状	372
	軟質岩・層状	680
岩石区分	変成岩	117
	古・中生層	602
	第三紀層	824
	洪積層・沖積層	0
	深成岩	0
	脈岩	119
	火山岩	310

図 3.4-2 NEXCO 形式 B1~8 全トンネルにおける正解率分布

3.4 考察

国交省形式の切羽評価の標準データセット(N=1,952)に対する各 AI モデルにおける正解率の傾向を図 3.4-1 に、NEXCO 形式の切羽評価データセット(N=1,972)に対する各 AI モデルにおける正解率の傾向を図 3.4-2 に示す。今回、収集を行った国交省形式の標準データセットは、第三紀堆積岩の中硬質・軟質岩にデータが偏っている。特定の AI モデル(AI-1, AI-2, AI-4)で相対的に正解率が高くなる傾向が認められるのは、これらの AI モデルが第三紀堆積岩のバリエーションが豊富な教師データにより学習を行っていることに起因する可能性が高い。一方、本試行による AI モデルの入力値は切羽画像のみであるため、本来、削孔エネルギーなどの他の切羽評価データを総合的に判断することが有効となる圧縮強度や割目の形態などでは正解率が伸びず、AI モデルごとにバラツキが認められる結果となったと考えられる。

以上のように、切羽画像のみから評価を行う既存 AI モデルを用いて、任意に収集された切羽観察結果の評価を行うと、十分な正解率は得られず、また、既存 AI 間でも正解率のばらつきが大きい結果

となった。現状では、各 AI モデルを一般的な切羽に対して、追加学習なしで適用することは困難であり、適用するトンネルに対して追加学習によるチューニングを実施することにより、各トンネル、各地質条件に適応した AI モデルを実用化することが可能になると考えられる。

3.5 今後の課題

現状で、既存 AI モデルを未知のトンネルや地質条件を持つ切羽評価に適用しても十分な正解率が得られない可能性が高いことが分かった。今後は、任意に集められた標準データセットを用いて、AI モデルの再学習を行い、どれだけ正解率の向上が見込めるか、もしくは AI モデル間での評価誤差がどれだけ小さくなるかを検証し、標準データセットの必要性および標準データセットに必要なデータ数、評価バリエーションについて議論を進めていく予定である。

以上のように、AI モデルは基本的に、教師データとして与えられた評価結果を忠実に再現していくため、切羽観察のように多様な地質条件に対して評価することが必要な技術に対しては、学習データの標準化だけでなく、客観的に AI モデルの性能を評価できる検証データの整備も必要となっていくと考えられる。こうした取り組みにより、目まぐるしいスピードで進化していく AI 技術に対して、客観的に性能評価を可能とする基礎的なデータ整備の議論が高まっていくことが期待される。

4. AIを活用した切羽評価の実用化に向けた課題

4.1 検討概要

本章においては、AIを活用した切羽評価を実用化するための課題とそれに向けた解決策に関する検討を行った。小委員会内であらかじめ各メンバーから課題を列挙してもらい、それらを整理し以下の課題を抽出した。

- (1) 評価手法の信頼性向上
- (2) 教師データの品質
- (3) 適用範囲
- (4) ブラックボックス化への対応
- (5) AIを活用すること自体の有効性の評価
- (6) 必要なシステム・デバイス
- (7) 切羽データの共有化・オープン化
- (8) 経済性
- (9) 技術力の低下への懸念
- (10) AI活用の人材育成
- (11) その他

また、切羽評価フローの各プロセスにおいて、AIの適用の可能性は考えられ、適用プロセスにより考慮すべき条件が異なる。現状において各所で試行されているのは、主に定量的な評価が行われる切羽評価の部分であり、地山評価や支保パターンの選定などのプロセスまで包含しているものは少ないと思われる。よって、本章で取り扱うAI活用については、切羽観察に基づく切羽評価の部分が主であり、地山評価や支保パターンの選定に至る部分については、関連する部分を除き含めないものとした。

4.2 評価手法の信頼性の向上

4.2.1 課題

AIによる切羽評価を実用化するためには、実用化に耐えるだけの信頼性が無ければならない。信頼性向上のために取り組むべき事項を以下に述べる。

機械学習による信頼性の評価を行う際の指標として、一般に正解率、適合率、再現率、及びF値等が使われる。一定水準以上であることを示すには、これらの指標において、定量的な判断基準を示すことが一つの方法と考えられる。指標の概要を以下に示す。またクラス分類における混同行列を表4.2-1に、各指標の算定式を表4.2-2に示す。

(1) 正解率

正解率(Accuracy)は、予測結果全体がどれくらい真の値と一致しているかを示す指標である。切羽評価のような多クラスの分類においては、全切羽数(標本数)に対する正しい予測ができた率を言う。

(2) 適合率

適合率(Precision)は、予測結果における正解率を示すものである。切羽評価において、あるクラスの予測結果において、実際の判定と一致している率を示す指標である。

(3) 再現率

再現率(Recall)は、実際のクラスに対し正しい予測ができた比率を示すものである。切羽評価においては、各評価クラスにおいて、どれだけ正しく評価ができているのかを確認するような指標として活用できる。

(4) F 値

F 値は、トレードオフの関係にある適合率と再現率を調和平均した指標である。

表 4.2-1 クラス分類における混同行列

	実際は A	実際は B	実際は C
予測が A	True A	False A(B)	False A(C)
予測が B	False B(A)	True B	False B(C)
予測が C	False C(A)	False C(B)	True C

表 4.2-2 信頼性評価指標の算定式

指標	意味	算定式
A の正解率	全クラスでの正解率	$Accuracy = \frac{TrueA + TrueB + TrueC}{Total}$
A の適合率	A 予測の正解率	$Precision = \frac{TrueA}{TrueA + FalseA(B, C)}$
A の再現率	A に対する正解率	$Recall = \frac{TrueA}{TrueA + FalseBC(A)}$
A の F 値	A 適合率と再現率の調和平均	$F - measure = \frac{2 \times PrecisionA \times RecallA}{PrecisionA + RecallA}$

4.2.2 信頼性の閾値

AI による切羽評価を実務上において活用するためには、一定水準以上の評価の妥当性が保持されることが必要であろう。前項に示したように、信頼性の評価指標はいろいろあるが、これらの指標において定量的な閾値が示されると実用化しやすくなると考えられる。

将来的に技術者の評価を代替するという性能を期待するのであれば、少なくとも技術者が判定するレベルと同等以上の信頼性が要求されるであろう。切羽評価は熟練した技術者により行われるが、個々の技術者は多様な経験を有するが、経験も多様であり、全て同じ評価結果を示すとは限らず、技術者の評価においても、完全一致ということは無く、異なる評価を出す場合もある。そのような視点で、AI による切羽評価においても、そのレベルの信頼性があれば、ほぼ技術者が行うレベルとして実用化可能になると考えられる。

他方、補助的な利用を前提とする場合は、必ずしもそこまでの信頼性を要求しなくとも良いかもしれない。

なお、前項の信頼性評価の例には含まれないが、不正解の結果を出した場合に、著しく異なる結果を出すようなシステムは望ましくない。乖離の程度についても、考慮できるような信頼性評価指標も必要であると考えられる。

4.2.3 評価理由やプロセスの説明性

信頼性の向上の一つとして、どのような理由で評価を出したのか、評価プロセスが明確になると良い。本件は AI 活用上のブラックボックス化の懸念に係わることであり、別途 4.5 節にその課題の対応について述べる。

現在の AI による切羽評価では、AI が切羽画像のどの部分に着目してヒートマップとして出力する例なども報告されている(図 4.2-1)¹⁾。このヒートマップから、評価理由をある程度推定することは可能であるものの、技術者の評価を代用できるほどの信頼性を得るまでは至っていないのが現状である。切羽画像のどの部分に着目したかを示すだけでなく、判定に至るまでの経過や理由をテキスト形式で出力する機能等を付与できれば、評価結果の信頼性を向上できる。

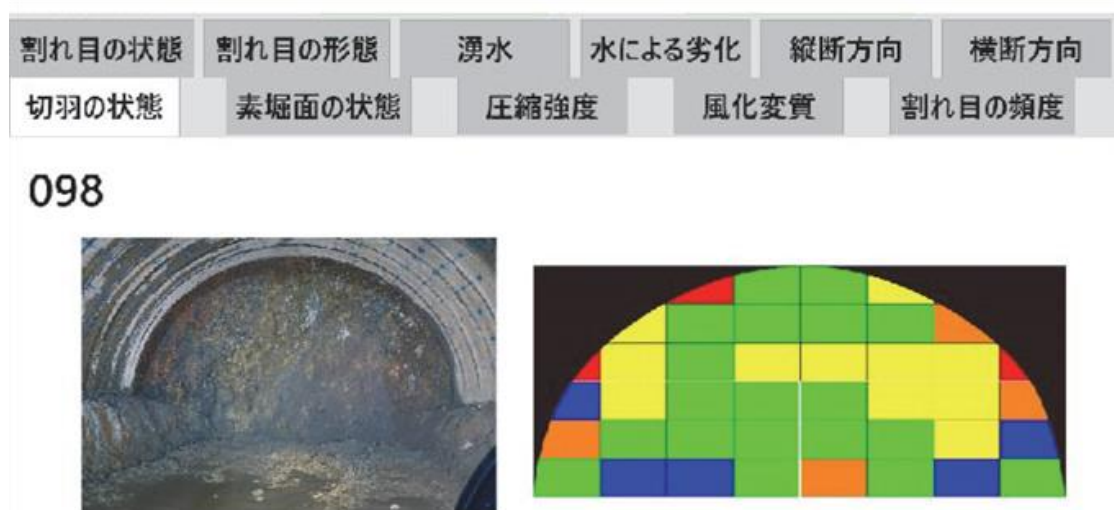


図 4.2-1 AI による切羽評価における着目箇所のヒートマップ例

4.2.4 継続的な再学習と誤判定への対処

AI による評価システムは、教師有り学習である場合が殆どであり、教師データの充実化が重要であることは言うまでもない。施工を進めて行くうちに、新たな教師データとなりうるデータセットが増えていくため、そのデータを活用した教師データのアップデートを行い、再学習を継続することが信頼性向上につながるであろう。

特に、教師データとして不足している地質・岩盤条件によるデータセットは、評価システムの適用範囲を拡大する点で重要である。

4.2.5 誤判定への対処

前項に関連し、AI による切羽評価の結果が出た時点で、評価結果の妥当性は不明かと思われるが、後で誤判定であったことが判明したデータについて、その結果をフィードバックする仕組みがあると、同じ誤判定を避けることができ、運用を進める中で信頼性を向上できる可能性がある。

教師データについては、施工情報を蓄積しつつ、再学習を行いより品質の高いものとする事となるが、誤判定の実績は貴重な情報になると思われる。

4.2.6 計測データの活用

現在の AI による切羽評価の教師データは、切羽観察における評価項目、切羽画像、削孔データ等である。特に切羽観察の評価項目の一部はやや抽象的なものがあり、定量的ではないものも含まれる。

トンネル施工時に行われる、各種計測(計測 A、計測 B、切羽前方探査など)は定量的なものであり、これらも教師データとして活用することで、評価精度を向上させることが出来るかもしれない。

現状において、トンネル計測データの取扱いにおいては、初期値の取得条件などによるデータの前処理を丁寧に行う必要や、計測する断面位置が限られるなど、教師データとして使うための課題もある。施工と平行して 3D 計測などが連続的に実施できると、計測データも教師データとして使いやすくなると思われる。

4.2.7 アンサンブル手法などの複数手法の統合活用

現在試行されている AI による切羽評価の手法は、画像認識でよく使用される深層学習手法である畳み込みニューラルネットワーク(CNN ; Convolutional Neural Network)が多い。一方 AI の手法は多種多様であり、切羽評価に使用する手法を限定する必要はない。AI の学習手法は現在も進化を続けており、深層学習に続く大きなブレイクスルーも期待されている。

複数の手法を絡めて評価しようとする、アンサンブル手法によるシステム構築なども、多くの AI 活用の場面で活用され、切羽評価におけるアンサンブル手法の検討も行われている²⁾。各種手法により得意な条件、不得意な条件などを考慮し、アンサンブル方式による、複数の手法を組み合わせることで、信頼性を向上させることも考えられる。

4.2.8 設計条件との乖離評価

AI による切羽評価は、切羽画像等の情報に基づき、AI により切羽評価点等を判定し、切羽状況を評価するものである。これに加えて、AI による切羽評価結果が設計条件に対してどのように推移していくのか予測する機能を付加することができれば、評価結果の信頼性を向上できる。

【参考文献】

- 1) 鶴田 亮介・谷口 翔・野村 貴律:切羽画像を用いた切羽学習による評価区分推定に関する検討, 土木学会, トンネル工学報告集, 第 32 巻, I-4, 2022.
- 2) 長谷川 裕員・邊見 涼・鳥居 敏・谷村 浩輔・淡路 動太:山岳トンネルの地山評価における深層学習とアンサンブル学習の適用, The 34th Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 205-G-13-02, pp. 1-2, 2020.

4.3 教師データ

4.3.1 品質・正当性

教師データは、AIモデルが学習するための入力データとそれに対応する正解データのことを指し、AIモデル構築において重要な役割を担うものである。よって、正しい切羽評価が行われたデータである必要がある。

切羽の画像データを教師データとする場合は、技術者が事前に切羽の状態の評価を行い、風化変質や湧水などの状態を正解データとし、評価した画像データをAIモデルの入力データとする。

信頼性の指標において、正しい判定結果をベースに各種指標を定量評価することになるが、教師データとなるべきデータが、正しい評価をしたものであることは必須である。学習させるための教師データについては、十分な品質を兼ね備えておく必要がある。画像であれば、画像データの品質がある一定以上の要求条件を満たしている必要がある。また、切羽判定の内容についても、妥当な内容になっているものでなければならない。

切羽評価データについては、掘削作業中に切羽観察簿が順次作成されるが、人間が作成するが故、主観性が含まれることや稀に誤判定や誤記などが含まれる場合もある。教師データとして使用するものは、それ自体の信頼性を十分に高めておく必要がある。

4.3.2 多様なデータの収集

教師データあり学習モデルは、教師データの範囲であればある程度の正解率を出すことができるが、学習させていないものについては、正解率は低下してしまうことが経験上知られている。そのため多くの地質・岩盤条件において適用させるためには、多種多様な地質・岩盤条件の教師データが利用できるような状況にしておく必要がある。

毎年多くのトンネル工事が行われているが、個々の現場では取得可能な情報は限られているが、各所で行われているデータが共有化できれば、非常に多くのバリエーションの地質・岩盤条件のデータを取得できるものと思われる。また、過去に遡って教師データとして活用可能なものがあれば、それらも含めればさらに多様なデータを収集することが可能になる。

4.3.3 教師データの偏り

正解率の算定において一部のクラスの頻度が極端に多いと、評価結果もそのクラスの予測が多くなるという、教師データの偏りにより信頼性の指標は影響を受けることが知られている。一般にトンネル工事では中間クラスの岩盤出現率が高く、BやDIIといった高位や低位の岩盤の出現率が少ない場合もある。大部分を占めるクラスに、特異なクラスが存在するような教師データがあると、特異なクラスの再現率が低くても、全体としての正解率が高く評価されることとなる。このため、対象とするトンネルの岩盤のバリエーションをある一定以内の偏りになるような教師データセットを用いて学習をさせることが必要であるとされている。

個々のトンネルは地域特性があり、地質・岩盤条件についてはある程度限定されてしまう。そのため毎年各所で施工されているトンネルのデータを広く収集することで、教師データの偏りを低減することは可能であろう。特に希少な条件の情報は貴重である。

また海外のデータの追加なども有効と思われる。海外のデータも含めて拡張を行うことで、教師データの偏りを少なくし、教師データの品質を確保することが望まれる。

学習モデルを構築するに際しては、どの程度の偏りまで許容されるのか、許容される偏りの閾値のようなものも考慮する必要がある。

4.3.4 教師データの項目の標準化

教師データとして、切羽観察項目(岩種、割目、湧水状況など)を活用するが、これらの項目の設定においては経験を踏まえ、事業者毎に見直しが進められてきている。それぞれ適切な見直しであると思われるが、結果として事業者により、切羽観察項目や、評価の方法について差が生じてしまうため、これらをまとめてそのまま教師データとして使うことができない。

その対策の一つは、各事業者の切羽観察項目(切羽観察簿の様式)はそのままに据え置き、標準形に読み替え処理をする方法が考えられる。もう一つは事業者間共通の切羽観察項目と評価基準を統一し制定する方法である。

教師データとしての活用性や評価結果の正確さに重きを置くのであれば、後者のように統一された方法で切羽観察を行うことが望まれるが、事業者毎に着目すべき点に差があるのも事実であり、統一が難しい場合には、前者のように各事業者毎の切羽観察簿とは別に、統一した教師データへの読替えができるような共通切羽観察簿的なものを制定する方法も考えられる。

なお、各事業者においても、過去から切羽評価項目の見直しを適宜実施しているため、過去のデータを活用する場合も、この読替え処理を行えば教師データとしての活用も可能性になると考える。

4.3.5 検証用教師データ

AI による切羽評価システムにおいて、教師データの見直しなども適宜実施すべき点については既に述べたが、教師データの見直しによるモデルの検証も重要である。実務で活用するためには、十分な検証が済んでいるべきであり、そのためには品質の良い検証データが必要である。

多様な地質・岩盤条件であり、高品質の写真、精度の良い切羽評価結果等の揃った検証用教師データセットを用意しておく必要がある。

4.3.6 教師データの再評価

本章の冒頭にも述べた通り、教師データの品質維持は非常に重要である。基本的に教師データそのものやデータセットは、詳細に点検されていればそれ自体は信頼性を有するものと判断されるが、教師データが多数集まることにより、教師データのセットとしての適性については、構成が異なっていく可能性もあるので、適宜再評価を行うことが望ましいと考えられる。

データセットとしての条件の偏りであるとか、誤判定の経験から教師データの構成の見直しなど、新たなデータを増えることによる、教師データの維持管理なども必要になることが考えられる。

4.3.7 画像の品質

(1) 影響を及ぼす要因

AI 切羽評価では画像データを教師データとして扱うことが多い。その場合撮影された写真画像の品質が一定の水準以上のものである必要がある。

多くの AI を活用した切羽評価システムでは、切羽観察時に撮影された写真を入力データとして強度や風化変質などに代表される切羽評価項目または地山区分を判定する。しかし、写真は切羽照明の種類や照度によって撮影された画像の色調が変化する。また、トンネル形状や支保の規模、撮影距離などの影響によっても撮影画像は影響を受ける。加えて、画像品質は撮影するカメラ自体の性能にも大きく依存する。

現状において、各社が試行している切羽評価システムでは、それぞれ撮影条件が異なっているため、各社のデータをそのまま共通データとして活用することは容易ではない。撮影の仕様が統一されていないと、切羽写真の品質がばらつき、共通的な教師データにする場合の障害となる。

将来的にデータを共有化することを念頭に置けば、標準的な撮影条件を規定しておくことも必要であろう。

現状において、画像データに影響を及ぼす要因を表 4.3-1 に示す。

表 4.3-1 画像データに影響を及ぼす要因

要因	及ぶ影響など
画像の不鮮明さ	撮影デバイスに依存する。 画像の解像度が低い場合、特徴を正確にとらえることが困難となる。
画像のノイズ	撮影環境によっては白飛びや黒つぶれが生じる。 画像のノイズが多い場合、AI モデルは正確な特徴を捉えにくくなる。
撮影環境	照明や撮影距離・方向の影響などにより、同じ物体が異なって見える場合がある。 撮影対象となる切羽以外の人工物等が写りこむ場合がある。 上記の場合、AI モデルは誤った評価する可能性がある。
撮影デバイスの設定条件	撮影デバイスのタイプや露光、露出時間によって画像の品質にばらつきが生じる。 画像に含まれる色や形状、画像の大きさなどが異なる場合、AI モデルは正確な特徴を捉えにくくなる。

(2) 検討事例など

これらの課題について、いくつかの研究が為されている。

佐々木ら¹⁾はカメラの設定値の条件を整理し、切羽面の照度条件は撮影距離条件に比べ画像の解像度に与える影響は軽微である一方で、F 値や露光時間等のカメラの複数の設定値が視覚解像度に与える影響を明らかにし、それらの評価式および設定範囲の目安を提案している。

田村ら²⁾は新写真評価式(案)を満たすことで、トンネル坑内という特殊な環境で、視覚解像度や白飛び・黒つぶれ等の観点で良質な画像が撮影できることを明らかにし、さらに画像解析システムによる検証においてもこれらの画像を用いることで風化変質、割れ目の間隔、割れ目の状態、割れ目の形態の評価に関して精度が高い結果が得られることを確認している。

木山ら³⁾は多数の切羽観察写真から AI 評価を行う際に課題となる 5 つの写真画像課題を抽出した。これらの課題は以下に列挙される。

- ①写真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手振れにより切羽が鮮明な画像になっていない
- ④写真の画素数が小さい
- ⑤影・黑板等の人工物が写り込んでいる

この上で、木山ら³⁾は複数の現場で撮影実験を行って切羽観察写真を機械学習写真に使用できる撮影仕様について検討し、「山岳トンネル切羽写真撮影要領(案)」を取りまとめた。

ただし、直近の事例では、切羽写真撮影にスマートフォン、タブレットというような、スマートデバイスを用いる機会が増えている。近年のスマートデバイスは撮影画像の性能も向上しており、さらに携帯性にも優れている。スマートデバイスによる写真撮影時の基準検討なども必要であると考えられる。

(3) 新写真評価式(案)

今後収集する予定画像データに関しては、国立研究開発法人土木研究所が提案する新写真評価式(案)等⁴⁾を活用することで、一定の品質を確保した切羽写真が取得可能であると期待される。新写真評価式(案)においては、照明により切羽面の明るさを十分に確保し、カメラでのズームが必要ない距離からの撮影が推奨されている。カメラの設定値は、次式で算出される評価点が0.1～0.5の範囲かつF値は8以下、画素数は300万画素以上とすることが推奨されている。

$$\text{評価点} = \frac{F \text{ 値}}{S \text{ 値} \times \text{ISO 感度}}$$

さらに、切羽面のトリミング処理等の画像処理の効率化や画像解析の精度向上のためには、画角や障害物、影の映り込み、ブレ・ピンボケ等に留意することとされている。

一方で撮影機材やその他技術は日々進化を続けているので、撮影条件を限定することでAIモデルの精度向上を妨げる可能性があることや施工サイクルへの影響、実務作業者の負担増加が懸念されることにも留意が必要である。

4.3.8 画像以外の教師データ

近年のAI切羽評価は画像データに加え、教師データとして穿孔データやスペクトルデータを活用した手法も開発されている。穿孔データは、削孔検層時に得られる削岩機の作動油圧や削孔速度等のデータを基に岩盤強度を評価したものであり、従来のハンマー打撃による岩盤強度と置き換えて活用することにより、より客観的に圧縮強度の教師データを作成できることが期待される。スペクトルデータは風化度合いと相関性があり、両者の関係を事前に学習しておくことで、マルチスペクトルカメラによる画像データから風化変質の評価区分を判定することが可能となる。これらの教師データは切羽評価の精度向上に寄与しているが、各施工会社によってデータ収集状況の程度が異なるため、共通データとして扱う際はデータの有無を明示しておく必要がある。

参考文献

- 1) 佐々木亨・長谷川慶彦・日下敦・巽義知・菊地浩貴, 切羽観察への画像解析技術活用に向けた切羽写真撮影条件に関する基礎的検討, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, VI-676, 2020.
- 2) 田村賢人・佐々木亨・菊地浩貴・日下敦, 画像解析技術活用に向けた切羽写真撮影条件に関する一考察, 第49回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp330-335, 2023.
- 3) 木山智裕・鈴木雅行・吉川正・山本拓治・橋立健司・小島英郷・曾根真理・高橋浩: 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—, 土木学会全国大会第75回年次学術講演会, CS15-22, 2020.
- 4) 菊地浩貴・日下敦・小出孝明・巽義知・長谷川慶彦, AIを用いた山岳トンネルの切羽評価に関する一考察, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, VI-736, 2019.

4.4 AI 評価システムの適用範囲

4.4.1 教師データとの関係

AI による切羽評価により、ある程度の高い正解率を得るためには、その岩盤条件においてある程度学習が進められている必要がある。一般に学習モデルを活用する AI 予測においては、学習した範囲外のデータについては、正解率が著しく低下するとされている。切羽評価においても同様なことが言えよう。

岩盤条件は多種多様であるが、個別のトンネルにおいては、ある程度出現する岩盤条件が予測できるため、想定される条件により絞り込まれたデータにより学習をすることで、ある程度の正解率が得られているというのが現状であろう。

学習モデルとして、多様なデータを一括取込んで学習させるというオールマイティな学習モデルを作る方法も考えられるが、現状の方法では特徴の抽出も非常に複雑になり、正解率がなかなか上がらない。そのためある程度岩盤条件毎（例えば岩石グループ毎など）に区分し、それぞれの条件の中で学習モデルを構築するほうが比較的高い正解率が得られる。

施工会社によっては、教師データの正解データとなる岩種に偏りが生じたり、教師データの数自体が少ない場合もある。そのため、各施工会社は、使用した教師データ数や岩種などの学習条件を明示し、適用範囲や適用条件を示すことが、AI モデルの性能評価に必要である。学習条件を明示する際には、教師データ数や各評価項目の出現分布を可視化することで、システム使用者の理解度向上を図ることが望ましい。

4.4.2 適用範囲の明確化

教師データに基づいて構築される学習モデルは、多様な岩種に適用可能なオールマイティなものから、一定の条件下で適用可能なものなどが想定される。モデルを構築する際に使用された教師データにより適用範囲が限定される可能性が高いため、システムの適用においては、教師データに基づく適用条件を明確にしておくことが望ましい。

4.4.3 特殊な岩種への対応

適用条件を明確にしたとしても、実務上は多様な切羽に遭遇する可能性があり、それが適用条件を満たすか否かを事前に把握できない場合も想定される。特殊な岩種などで評価の信頼性が十分でない場合には、システムから適用条件を満たさないというアラートを技術者に発信するなどの仕組みがあると便利である。

この場合、切羽評価結果については、十分な信頼性が得られない可能性があるため、当然であるが技術者による評価を行うことが必要である。また、このような特殊な地山条件でデータは教師データとして貴重な情報となるので、十分な信頼性を検証した上で教師データとして活用可能な記録として残しておくことが重要である。

また評価精度を高めるためには、特殊な岩種に特化した評価モデルを構築することも有効であろう。特殊条件のデータについては、多くのデータを得ることは難しいと思われるが、特殊条件に適用可能なモデルを構築しておくことも重要である。

4.5 ブラックボックス化

4.5.1 ブラックボックス化への懸念

切羽評価に用いる AI の学習手法には一般的に深層学習が用いられるが、深層学習ではデータの処理プロセスが膨大であるため、「AI がなぜその答えを導き出したのか分からない」というブラックボックス化に直面する。

公的なインフラ整備事業においては、その事業の内容・プロセスの妥当性が問われる場合も少なくない。事業者として何らかの判断根拠についての説明責任を負うため、完全なブラックボックスということとはなかなか受け入れられないのではないかと思われる。万が一トラブルが生じた際に、それに至る経緯をトレースできなければ、トラブルの再発防止策などの策定が困難になる。致命的な結果を招く可能性が低い場合には許容することも考えられる。しかしながら、AI による切羽評価では、支保パターンの選定といったトンネルの品質やコストに直結する判断を行うことから、評価結果に至ったプロセスを明確にすることが非常に重要である。

以上から、切羽評価に用いる AI の評価手法の信頼性を向上させるためには、ブラックボックス化を解決することが課題となる。本課題に対する解決策を以下に述べる。

4.5.2 判定根拠のトレース

現在、技術者により行われている切羽評価は、評価要素毎の判定結果に基づく総合評価としての定量的な評価だけでなく、定性的な判断や判定に至った根拠については、切羽観察簿に特記として文章に記録され、判定の経緯はトレースすることができる。

機械学習における教師有り学習においては、予め判定に影響すると思われる要素(特徴)を考慮しアルゴリズムを構築するので、学習結果による各パラメータを確認することで、どの因子が寄与し判定を行ったのか判定に至った根拠をある程度トレースすることが可能である。

しかし深層学習においては、システム自体が特徴を試行錯誤しながらシステム内部で抽出し、学習モデルを最適化し構築するものであり、システムが抽出した特徴が何であるのか、工学的視点との重ね合わせが難しく、いわゆる判定プロセスのブラックボックス化という課題が生じる。

切羽判定により何らかの問題が生じた際、その原因の検証を行うことが難しく、判定責任の所在が曖昧であるという課題が残る。この課題は切羽評価に限らず、深層学習の適用において常に付きまとう課題である。同様の内容は「4.2.3 評価理由やプロセスの説明性」にも例を挙げて記載した。

4.5.3 特徴量マップの活用

深層学習における判断根拠を示すものではないが、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)において CAM(Class Activation Mapping)という方法により、深層学習において画像のどの部分で特徴を見出しているのかを視覚的に知る方法がある。これは CNN による画像認識モデルに対し、特徴量をヒートマップとして示すものであり、これにより AI の判定において着目した場所を知ることができるので、そこに何があるのかを確認することで、AI が何を特徴として判定したのかを多少推定することができるかもしれない。しかし、それは場所を示すが、工学的に何を意味するかまでは示すものではないので、あくまでも補助的なものである。

以下に CAM を活用した事例を示す。

(1) 特徴を捉えた事例

図 4.5-1 は、左が切羽写真、右が CAM による特徴表示(切羽以外に特徴量を持たないように切羽以外を削除した改善モデル)であり、AI は切羽の変質・劣化部に着目している。

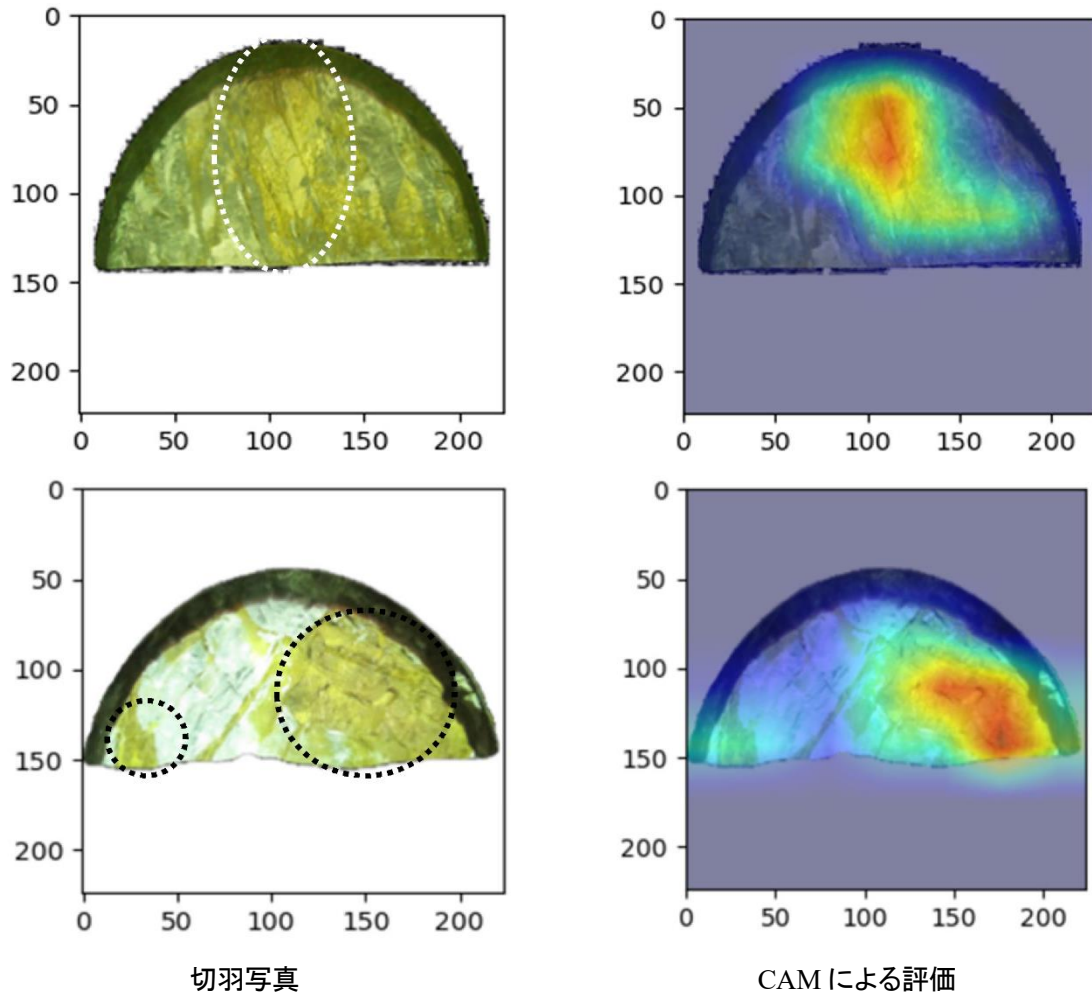


図 4.5-1 CAM による特徴表示の例(変質部への着目例)

(2) 着目すべきではない場所の検知

図 4.5-2 は本来の切羽判定で着目すべきでない場所を特徴量としていないかの確認例である。

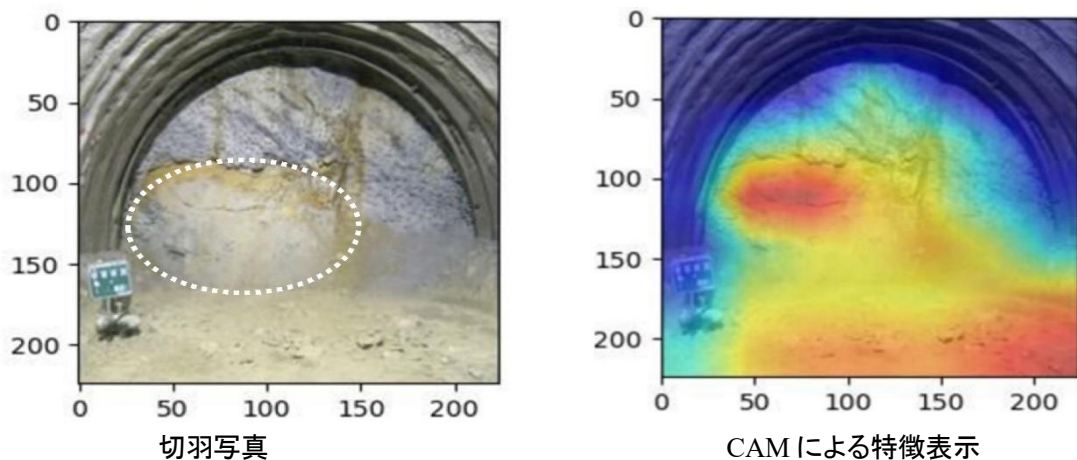
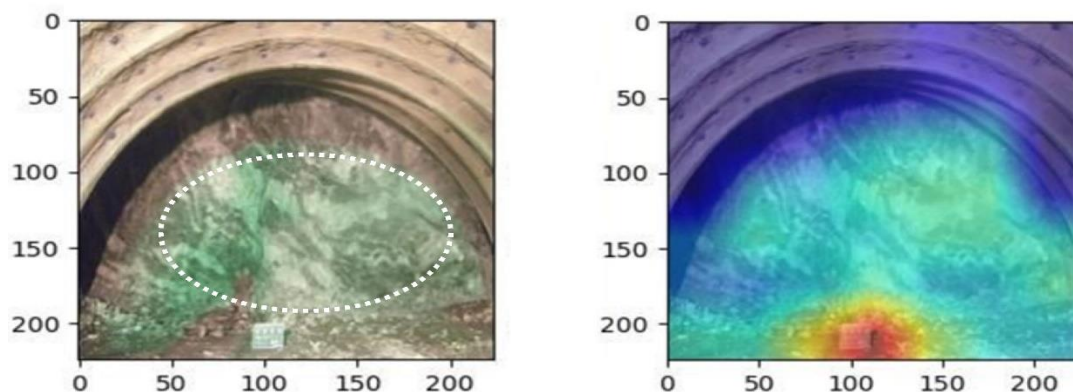


図 4.5-2 CAM による特徴表示の例(判定に不要な要素への着目例)

CAM により不要な要素を確認することができ、それを排除することでブラックボックスに潜む不適切データを取り除くことも期待できる。AI は切羽の変質・劣化・亀裂に着目しているが、判定対象でない切羽前方の基盤面の色味の違いにも着目している。

図 4.5-3 は切羽に工事看板を置いた場合に、それに着目している例である。AI は切羽の変質・劣化・亀裂にはあまり直目せず、判定対象でない工事看板にも着目しているようである。



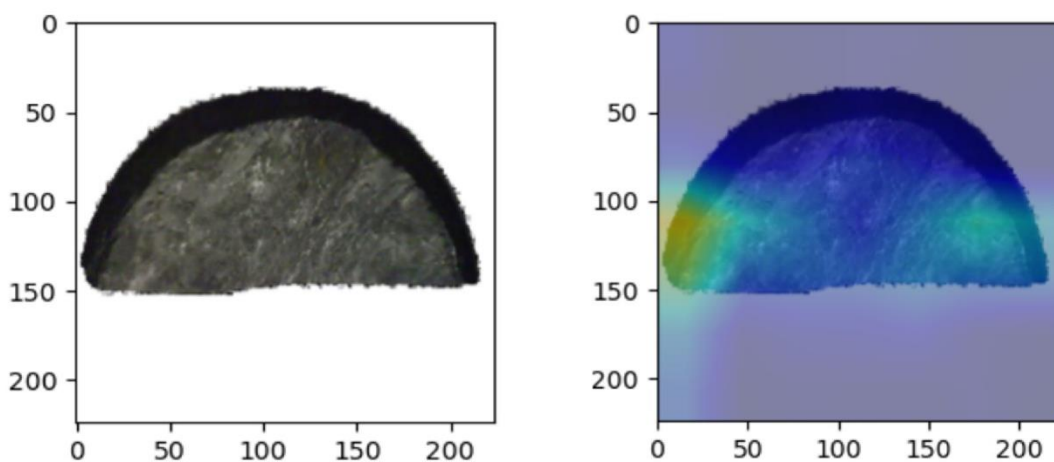
切羽写真

CAM による特徴表示

図 4.5-3 CAM による特徴表示の例(工事看板への着目例)

(3) 支保部分の除外

画像に切羽以外にトンネルの支保が写りこむ場合に、支保に着目し切羽の特徴を検知しない場合があるため、図 4.5-4 に切羽部分のみを切り出して CAM を適用した事例を示す。AI は素掘り面付近の影に強く着目している。



切羽写真

CAM による特徴表示

図 4.5-4 CAM による特徴表示の例(支保範囲を除外して適用した例)

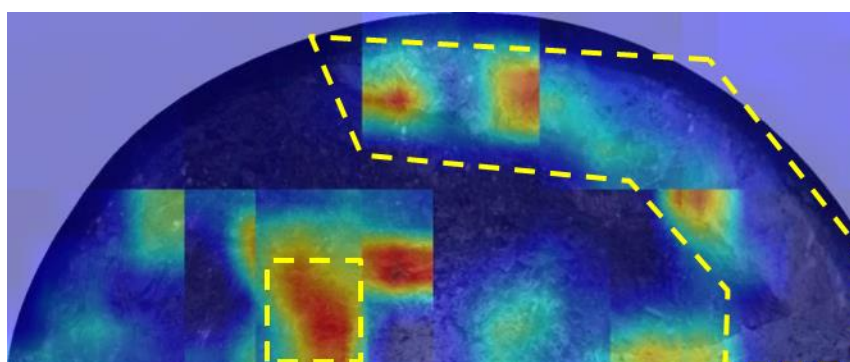
4.5.4 判断根拠に関する課題

近年の AI モデルは結果だけではなく判断根拠を示す AI モデルも開発されているため、AI が判定した判断根拠も併せて評価することが望ましい。例えば、判断根拠も算出する AI モデルを用いれば

切羽の画像データから風化変質等の判定を行う際に最終的な評価結果だけでなく、切羽画像データのどこに着目して評価したかを可視化することができ、AI モデルによる評価結果が妥当であるかを確認することができる(図 4.5-1 参照). この結果では AI は茶褐色等, 風化変質と思われる色の変化を抽出している. 菊地ら¹⁾は深層学習済の AI の評価結果に対する判断過程を可視化することで, 技術者が本来着目する特徴とは異なる部分や障害物を特徴量として抽出する傾向が強いことを明らかにしている.



(a)RGB 画像



(b)AI による特徴量抽出結果

図 4.5-1 風化変質の判定における AI モデルの着目点

4.5.5 判定単位の細分化

例えば, AI による判定領域を 1m 格子で細分化することで, 判定領域内の切羽の変化は小さくなるため, 切羽に占める特徴量の割合も高くなり, 技術者が照らし合わせをおこなった場合でも特徴量と風化・変質・劣化等が生じている箇所との乖離は抑制されると考えられる. ただし, この方法を採用するにあたっては, 細分化の作業に加え, 通常 of 切羽判定では行わない細分化された領域での切羽判定が必要となる. また, この判定作業は切羽判定の時間的制約から直接切羽を見るのではなく, 写真による判定となるため, 判定精度に課題も残す. また, 通常 of 切羽判定で行う天端, 右肩, 左肩といった総合評価と細分化した判定をどのように照らし合わせるかも解決する必要がある.

4.5.6 切羽評価項目ごとの評価

現在各社が取組んでいる手法は多様であり、直接切羽評価結果を AI で予測する方法もあれば、切羽評価要素毎に予測し、各項目の予測結果から切羽評価を行うという 2 段階のプロセスを経るものもある。

切羽判定は表 4.5-1 切羽観察表の一例(全岩質共通)に示すようにいくつかの評価要素に対して行われ、それを集計し総合評価することで、切羽全体としての評価が行われる。

いくつかの AI 導入事例によると、切羽全体の評価を直接行うのではなく、各評価要素を深層学習により予測させ、それらの結果から総合評価予測を行うという手法での試みも行われている。この方法によると、深層学習部分での判断根拠が不明な点は同じであるが、各評価要素の予測結果がわかるので、評価プロセスが多少なりとも確認することが可能となる。

表 4.5-1 切羽観察表の一例(全岩質共通)²⁾

	評価区分				
	1	2	3	4	5
切羽の状態	安定	鏡面から岩塊が抜け落ちる	鏡面の押し出しを生じる	鏡面は自立せず崩れ、あるいは流出	その他
素掘面の状態	自立(普請不要)	時間がたつとゆるみ肌落ちする(後普請)	自立困難掘削後早期に支保する(先普請)	掘削に先行して山を受けておく必要がある	
圧縮強度	$\sigma_c > 100\text{MPa}$ ハンマー打撃跳ね返る	$100\text{MPa} > \sigma_c > 20\text{MPa}$ ハンマー打撃で碎ける	$20\text{MPa} > \sigma_c > 5\text{MPa}$ 軽い打撃で碎ける	$5\text{MPa} = \sigma_c$ ハンマー刃先食いこむ	
風化変質	なし・健全	岩目に沿って変色、強度やや低下	全体に変色、強度相当に低下	土砂状、粘土状、破碎、当初より未固結	
割れ目の頻度	間隔 $d > 1\text{m}$ 割れ目なし	$1\text{m} > d > 20\text{cm}$	$20\text{cm} > d > 5\text{cm}$	$5\text{cm} = d$ 破碎当初より未固結	
割れ目の状態	密着	部分的に開口	開口	粘土を挟む、当初より未固結	
割れ目の形態	ランダム方形	柱状	層状、片状、板状	土砂状、細片状、当初より未固結	
湧水	なし・滲水程度	滴水程度	集中湧水	全面湧水	
水による劣化	なし	緩みを生ず	軟弱化	崩壊、流出	

参考文献

- 1) 菊地浩貴・日下敦・小出孝明・巽義知・長谷川慶彦, AI を用いた山岳トンネルの切羽評価に関する一考察, 令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会, VI-736, 2019.
- 2) 近畿地方整備局道路部道路工事課, トンネル地山等級判定マニュアル(試行案), 平成 28 年 7 月

4.6 AIによる切羽評価の有効性の証明

4.6.1 課題

AIによる切羽評価手法を実用化するためには、その手法が客観的に有効であることが証明されることが望ましい。現状では各所にて試行的に開発が個別に進められて、正解率などの評価はそれぞれに行われているが、汎用化させるためには客観的な有効性の証明が必要であろうと考える。本項ではそのために、どのようなことが必要となるか、考察を行った。

4.6.2 検証システムの構築

各種手法による予測結果が、入力条件に応じた一定上のレベルの出力(例えば正解率)を示すようなテンプレート的な検証システムがあれば、それを活用し使用したシステムの有効性を判断するという方法が考えられる。

地質・岩盤条件は多様であるため、適用条件において記述したが、あらゆるジャンルの地質・岩盤条件に適用可能なシステム構築は難易度が高い可能性があり、現実的には地質・岩盤条件に応じた検証モデルを構築するケースが現実的かと考えられる。

適用したいトンネルの地質・岩盤条件がある程度予測が付くものと思われるため、その地質・岩盤条件に合致する検証モデルにおいて事前評価を行うことで、利用したいシステムの妥当性や、適用可能範囲も明確にできるものとする。

4.6.3 有効となる指標

検証システムを構築した際に、そのシステムの利用の可否を判定する指標設定も必要である。

信頼性の向上において、信頼性の閾値として言及したが、少なくとも技術者が判定するレベルと同等の信頼性が示されるレベルの評価結果を出すレベルが必要であろうと思われる。判断基準には多少なりとも抽象的な部分もあり、技術者の判断の揺らぎも想定されるが、そのレベルの正解率が望まれるところである。また、不正解の結果を出した場合に、著しく異なる結果を出すようなシステムは望ましくないであろう。乖離の程度についても指標として考慮しておくことが望ましい。

なお、求める要求水準により、指標をかえることも可能であろう。

4.6.4 性能証明

前述した検証システムや評価指標が構築され制定されたとして、それらに基づいた信頼性が確保された手法を実務に適用する際に、何らかの品質証明的なものがあると、信頼性についての保証となり実務上において活用しやすくなるのではないかとと思われる。またその証明は、第三者的な客観性をもった公的機関が発行するのが望ましいと考える。

このような証明を与えることにより、発注者・受注者それぞれの立場位において実工事への導入が行いやすくなるものとする。

4.7 システム・デバイス

4.7.1 切羽写真を撮影するデバイス

写真の撮影に関する仕様については、教師データの部分で詳細を記述したが、それらの条件を満足するような撮影用のデバイスの活用が必要である。

近年ではスマートフォンなどのスマートデバイスの性能が向上し、写真の品質が向上していること、また可搬性に優れているため、デジタルカメラではなくタブレットやスマートフォンで切羽撮影を行うケースも多くなってきている。基本的には一定水準以上の品質を満たすことが必要であり、それが満足できるならば、デジタルカメラに限らず、スマートデバイスの活用も可能である。

これらのデバイスが正式な工事写真としても利用できる環境(工事管理要領の見直しなど)が整備されれば効率化につながると考える。

4.7.2 マルチスペクトルカメラ

撮影機材として、通常の可視光線に対応したカメラ画像ではなく、マルチスペクトル画像による評価を行うシステムの試みも進められている¹⁾²⁾。

マルチスペクトル画像は、複数の波長帯の電磁波を記録した画像であり、目視で認識できる可視光線の波長帯の電磁波だけでなく、紫外線や赤外線、遠赤外線など人の目で見えない不可視光線の波長帯の電磁波も記録されるものである。

トンネル切羽をマルチスペクトルカメラで撮影し画像を取得することで、可視光線の波長だけでは捉えられない特徴量にも着目し岩種や風化程度などを判定し、評価精度の向上に寄与できる可能性がある。

取扱いにおいては、撮影に多少時間を要するなど、汎用のデジタルカメラのように手軽に扱えない部分もあるが、マルチスペクトルカメラも多方面で活用されつつあり、一つの選択肢であると考えられる。

4.7.3 データ取得から結果出力までのシステム統合化

切羽評価 AI による地山評価には、画像データや穿孔エネルギーデータ等様々なデータを取得・集約する必要がある。現状においては、いろいろな試行段階でもあり、各データの取得・集約から、システムへのデータ入力、結果出力まで、それぞれシステム処理に労力がかかる場合が多い。全体の流れが効率的にできるような、統合されたシステムとして活用することで効率性が得られると思われる。

将来的に人が介在をできるだけ少なくし、作業の自動化を目指す場合には、これらの処理を連係し統合化する必要があろう。

4.7.4 評価に必要なデータ種別

AI による切羽評価において、切羽や地山評価に用いる特徴量が非常に重要となる。現在活用されている切羽写真や穿孔エネルギーデータだけでは地質や地山状況を十分評価ができない可能性がある。

切羽における湧水状況や肌落ちや抜け落ち等の切羽(素掘り面や鏡面)の安定性など、評価に必要な新たな評価項目と、そのセンシングデバイスについて必要性を整理し、個々のシステムから AI による切羽評価システムに受け渡すデータ種別の選別が必要となる。その際に、データ種別及びフォーマットが標準化できれば、各システムの入出力データ統一化が可能となる。ただし、過剰に取得

データを増やすと計測装置の増加や計測時間の増大を引き起こし、コスト及び作業時間の観点から不利になることに留意する必要がある。

4.7.5 多様な情報の取得

現在取組まれている各種 AI による切羽評価手法においては、切羽画像及び穿孔エネルギーデータを活用している場合が多いが、トンネルの施工全般のサイクルから得られる情報として、それ以外にも多くの情報が得られる可能性がある。

発破後のずりの粒径分布、コソク時の情報(動画から得られる情報)や、切羽面のみならず天端面や側壁面の情報、さらには音や振動として捉えられる情報なども得られる。これらの情報がすぐに切羽評価に活用できるかどうかは不明であるが、施工機械の自動化などにより各種センサーが施工機械に搭載されることで、より多くの情報を得ることが可能になるかもしれない。

今後は、現時点では使われていない情報も、岩盤性状との関連があれば、切羽評価等に役立つ情報として活用する可能性もある。これらの情報を得るためのデバイス・ツールなどの活用も有効である。

4.7.6 リアルタイム性

実用化の視点ではリアルタイム性も重要である。現場で切羽の状態を観察し、瞬時に切羽評価結果が手元に出力されれば、作業効率は向上する。現在も、タブレット端末を用いて切羽写真を撮影しつつ、その場で迅速に AI 診断の結果を確認するシステムなどが報告されている³⁾。

よって、早期の情報更新による関係者への周知・展開が安全な施工に資することから、リアルタイム性は必要であると考えらる。

リアルタイム性の実現については、現場で得た情報(画像など)を、瞬時に評価システムのある場所(例えばクラウドサーバー)に伝送し、システムで評価を行い、その結果を瞬時に現場の端末に伝送するようなネットワークが構築されていることである。最近のトンネル工事においては、無線 LAN システムを坑内に構築し各種情報伝達に活用されており、そのようなネットワーク環境があればリアルタイム性については比較的容易に実現できるものと思われる。

また、単に切羽評価結果のリアルタイム性のみならず、地山評価の実績図などに反映できるシステムなど、トンネルの施工管理全般に活用可能な図化・可視化処理もできると、単一の切羽評価に限らず大局的な視点で全体的な整合性なども確認でき、施工監理の品質向上にも資すると思われる。

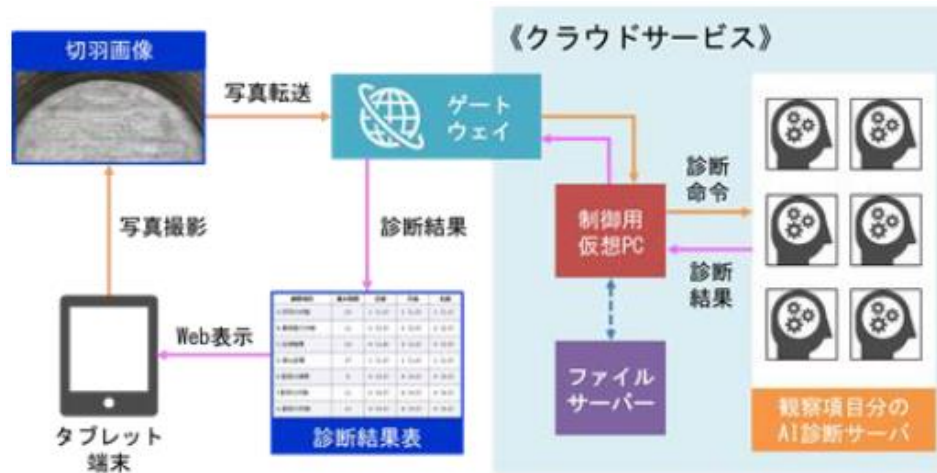


図 4.7-1 クラウド利用型 AI 判断システムの構成

参考文献

- 1) 鶴田 亮介・谷口 翔・多寶 徹:山岳トンネルの「切羽地質情報取得システム」の開発, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, VI-673, 2020.
- 2) 谷口 翔・鶴田 亮介・多寶 徹・柴崎 知令:「切羽地質情報取得システム」の現場適用事例, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, VI-674, 2020.
- 3) 畑本浩伸・青木宏一・飛鳥馬翼・北原成郎:クラウド活用型トンネル切羽 AI 診断システムの構築に関する検討, AI・データサイエンス論文集, Vol.2, No.J2, pp.777-784, 2021.

4.8 データの共有化

4.8.1 共有化の狙い

AIによる切羽評価システムの実用化・汎用化においては、多様なデータを教師データとして活用することで適用範囲が広がる。しかしながら現状においては、施工会社のみならず事業者が触れることができるデータは限定されている。トンネル施工に関わる全ての技術者がすべての切羽情報にアクセス可能になれば、教師データのバリエーションも非常に広くなる。多様なデータを収集するためにデータの共有化が必要である。

現状は各社が開発したAIによる切羽評価システムの評価は、各施工会社が実際に掘削したトンネル工事におけるデータが用いられている場合が多く、地域等によって比較的限定された地質・岩盤条件での活用が多く、条件に限定されない汎用性のある学習モデル構築は容易ではない。多様な地質・岩盤条件における切羽データが共有され、教師データも共有可能になれば、より適用範囲の広い評価システムの構築が可能になる。

データの共有化が実現できれば、産官学含めて多くの立場の技術者が切羽評価システムの開発に利用できるようになり、開発のスピードが加速し、より実用的なシステム構築にも寄与すると考える。

しかし、教師データを共有するためには、公共性があり、信頼性の高い管理・運用体制の構築が不可欠である。具体的にはデータの登録方法や運用ルールの作成、常にアップデートできる仕組みの構築そしてデータセキュリティの対策が必要である。これらを適切に実施することで、教師データの共有が円滑に進み、より多くの官学・民間技術者がデータを利用することが可能となる。以下にデータ共有化のための課題と解決策について述べる。

4.8.2 共有データの登録システム

現状では切羽評価結果を含むトンネルの工事記録情報は、個々の工事報告として施工者が発注者に提出し、個々の工事情報として記録される。

AIによる切羽評価処理を行うことで、切羽データ(画像、切羽観察記録、その他関連情報)がデジタル化された情報として保持されるので、それらをまず事業者の情報としてデータベース化する。それは個々の工事の記録としてデータベースとして保持する。さらには個々の情報が自動的に公的なデータベースに登録されるような仕組みがあると、全ての工事のデータが共有可能となる。

ただし、教師データとして活用することを考慮すると、信頼性保持が必要となり、原データをそのまま公的なデータベースに保持するのは問題があるため、データの再評価により一定水準以上の信頼性を有する状態にして登録することが必要である。

全切羽データの登録が難しければ、教師データとして価値の高い、特徴的な地質・岩盤条件の切羽データについて選定を行い登録するような仕組みでもよい。

4.8.3 共有データの標準化

共有すべきデータの登録には一定のフォーマットに沿ってデータを登録することができる仕組みが必要である。現状において事業者毎に切羽観察様式が異なり、評価点の計上の方法も異なっている。可能であれば事業者間の統一を取ることができれば、データの標準化が可能であるが、前述のように標準様式を別途定め、事業者毎に制定されている様式を、自動的に読み替えて標準様式に変換して

登録する方法も考えられる。変換により元の評価が正しく残らないような問題が生じないように、元データの保持も重要である。

4.8.4 ユーザーインターフェイス

多くのユーザーが共通のデータを共有・利用しやすい、ユーザーインターフェイスを持つシステムであることが望ましい。特に、適用範囲など、教師データを扱う場合には、地質・岩盤条件による絞り込みが必要なケースが想定される。使用したいデータを容易に検索できる仕組みが必要である。

また、データベースにどのようなデータが登録されているのか、地質条件、岩盤条件など、各岩盤評価項目毎の分布や、各データの信頼性を確認するためのトレーサビリティ等もたどれるような機能も必要であろう。

4.8.5 データのアップデート等に係る運用ルール

前述のとおり AI による切羽評価システムの信頼性と汎用性の向上のため、新たに得られるデータを随時更新し登録するような仕組みが必要である。教師データとしての登録においては、データの信頼性を維持するための再評価などの手順を踏む必要があり、そのための手間(費用)が発生する。

そのためには、その負担も含めた運用ルールを定める必要がある。トンネル工事を行う場合の標準的な手順として運用ルールが認知されると、工事の都度自動的に教師データとすべきデータの再評価が行われ、蓄積され、常に最新の教師データのデータベースにアクセス可能になる。公共工事等の標準仕様書などに、この登録するルールが明記されると良い。

4.8.6 データセキュリティと管理体制

扱うデータが公共の用に供するものであり、データの扱いには公正性と倫理性が求められることから、運用管理においては原則として公的な機関もしくはそれに準じる機関であることが望ましい。

データセキュリティという視点で、改ざんの防止や、可用性の阻害というような情報セキュリティ上の課題への対処ができる仕組みが必要である。

データの開示については、いわゆるオープンデータ化という位置付で、制限をかけないで、自由にデータを活用しいろいろな研究に活用してもらおう考え方もあれば、ある程度の開示制限をかけ、事前に登録のあった者だけが共有するような仕組みも想定される。それぞれメリットデメリットが想定されるが、自由に完全にオープン可能な範囲と、制限開示する範囲を分けて扱うなどの方法も考えられる。

4.8.7 データベースの運用負担

共有データベースの運用については、相応の労力が必要となる。単にデータを蓄積するのが目的ではなく、蓄積データを活用しより合理的な施工を実現するという点で、これらの効果に見合う利便性を示すものである必要がある。

運用管理のコストは、工事の効率化で得られる対価の一部を振り当てる方法として、請負工事費の間接経費の一部を充当する方法や、受益者負担の視点からデータベースを有償で活用するような仕組みにより費用を賄う方法も考えられる。他方このデータベースは、単にトンネル切羽評価という視点のみならず、国土の地質情報のデータベースという大きな価値として認識することもできるため、コスト負担はもっと広い視点で行われても良いかもしれない。

4.9 岩盤力学の技術力の低下に対する懸念

4.9.1 懸念事項

AI による切羽評価が導入されてくると、技術者が切羽評価を行う機会が減少し、技術者がスキルを向上するための場面が少なくなるなどの技術者の技術力低下が懸念される。さらに、本来技術者不足を補う技術として期待される AI による切羽評価技術であるが、技術者に頼らず評価・判定ができるため、技術者の減少傾向に拍車をかけるという懸念もある。

従来においては、切羽評価者は切羽を洞察し、また野帳に特徴的な事象を記録することで、多くの知見を蓄積していたが、単に写真撮影のみの作業になることで、貴重な経験を失ってしまうという懸念である。野帳のスケッチは、単なる図面を描くのではなく、その場の事象を直視して、状況を思考したものを描くことに意味があることを強調しておく。

AI 技術の進化は、人を怠慢にさせていくことにもつながる恐れがある。人が考えることの重要性を忘れてしまえば技術革新がなくなるかもしれない。AI 技術の育成においては、このような落とし穴があることを意識しながら、改善が求められるであろう。

しかしながら AI 導入により多くのメリットを享受できる可能性があるため、AI 導入と技術力低下への課題を両立させていくような努力も必要である。

4.9.2 トレーニングの機会

技術力低下の防止については、通常業務とは別に、切羽評価に関するトレーニングの機会などを制度的に設けることが考えられる。

また、AI によりある程度精度よく判定ができる時代が来たとしても、その検証的な作業は引き続き継続していくべきと考える。その一環として、岩種ごとの AI による評価精度を示すカルテの整備や、学習モデルの適用条件等の更新、AI 評価が大きな乖離を出した場合の原因分析など、技術者が行う評価と、AI による評価のすり合わせのための作業は継続的に生じると思われる。そのような局面では技術者の技量が求められることになるため、そのような機会を活用し、若手技術者の育成や、技術者の技術力の維持向上を図ることができるのではないかと考えられる。

4.9.3 教師データの作成・評価

信頼性の高い学習モデルを構築するには、品質の高い教師データが必要となるが、教師データは技術者の知見に基づくものであり、その視点で優れた技術者が必要とされる場面である。このようなミッションがあることから、切羽評価を行う技術者の重要性は残ると思われる。

単に個々の施工現場での切羽評価という位置付ではなく、共有データとなる教師データの作成という位置付けでの活躍が期待される。

4.9.4 多様なデータ分析に基づく工学的な評価

AI による切羽評価を行う過程において、各種切羽評価項目の情報や、AI システムに入力すべき各種付帯情報などがデータベース化され、さらに品質の高い教師データなども共有可能になる。トンネル工事におけるビッグデータのデータベースが構築されることにより、各種データ分析が非常にやりやすくなるという環境も得られよう。

単に切羽評価技術という側面のみならず、トンネル周辺の地山条件等も加味した、岩盤挙動の評価検討などの取組みがしやすくなる効果も期待できるのではないかと考える。

4.10 AI活用の人材育成

4.10.1 はじめに

トンネル施工を始めとした、岩盤力学に関連するプロジェクトにおいては、岩盤力学分野に精通した技術が不可欠であるが、DXを推進する中では、AI等の情報処理分野等の技術活用も必要になり、その分野の知見も必要になってくる。

今後DXの利活用が積極的に実施されるため、図4.10-1に示すように、現時点ではDX支援技術者と協調できるように相応の知見を身に付けておくべきである。

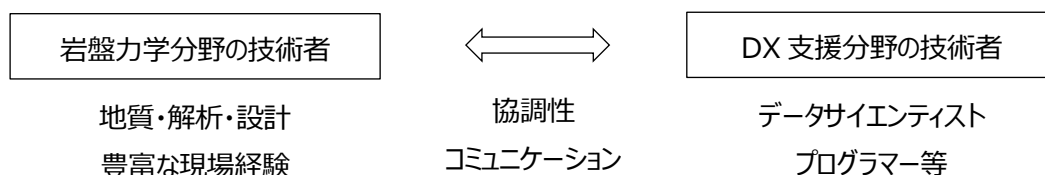


図 4.10-1 岩盤力学分野の技術者とDX支援分野技術者による協調

DX支援分野の技術について、情報推進機構によれば、人材の分類については、プロデューサー、ビジネスデザイナー、アーキテクト、データサイエンティスト/AIエンジニア、UXデザイナー、エンジニア/プログラマーに分類されている¹⁾。また、必要な能力としては、ビジネス発想力、ビジネスを作り出す力、プロジェクトマネジメント力、社内調整力や社内政治力、システムデザイン力(設計力)、データ分析力、データビジネス発想力、UI/UXデザインと改善力、DXに向くシステム開発環境を使ってシステム開発を行う力²⁾が挙げられている。

DX支援分野の技術との協調により検討を進める必要があり、今後どのようにして岩盤力学分野の技術者が、データサイエンスやAIエンジニアリングの技術や技術者と向き合っていくべきかが課題である。

以上により、岩盤力学分野の技術者が、DX支援分野の技術と協調していくための、人材育成とはいかなるものかという視点で、以下の項目に従って考察を行った。

(1) 求められる人物像

それぞれの立場での必要な能力

誰が使う→利用する立場の素養能力

誰が維持していく→維持管理する立場の素養能力

(2) 人材育成の方法

4.10.2 求められる人物像

(1) 岩盤分野におけるAI技術開発に係わる関係者

素養や能力を検討するうえで、係わる立場がそれぞれあるので、係わりを図4.10-2のようなマップにしめした。発注者、施工者、システム開発者、研究者に区分したものである。技術開発段階において

は、現場の情報やニーズのフィードバック、多種多様な手法のトライアル、プロジェクトの中へ適用する合理性など多様な取組みをそれぞれの立場で検討し、新たな技術として醸成させていくこととなる。

それぞれの立場において求められる人材像について示す。

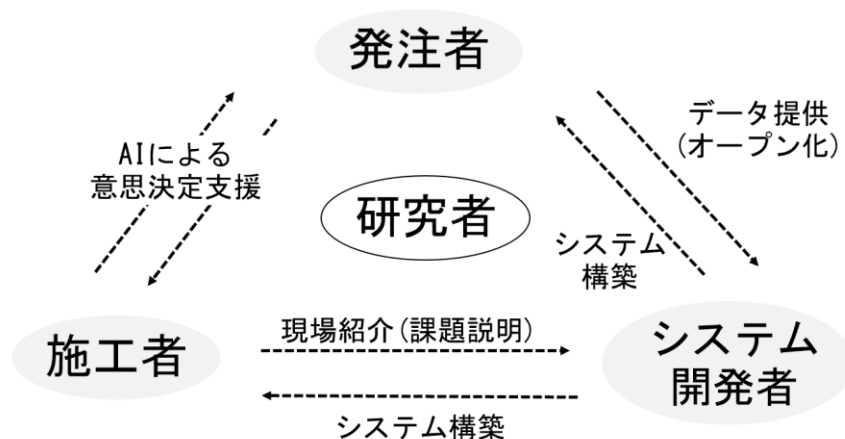


図 4.10-2 AI 技術の実用化に向けた関係者の連係

(2) 共通的な素養・能力

それぞれ立場において、岩盤力学の技術分野、及び AI 等の情報処理分野における必要と思われる素養・能力を以下に示す。

① 岩盤力学分野の基本的な素養

岩盤力学の技術分野の専門性としては、岩盤工学・土木地質学に関する知見を有し、また施工時に得られる、切羽情報、計測情報、調査情報等の各種情報について、その情報自体の分析能力や、施工時や維持管理時も含めた情報の活用、さらには新たな岩盤構造物の計画・設計・施工などへの反映など、情報の分析や多様な活用について興味を持ち、応用していくことができる素養が望まれる。

② AI等の技術動向を踏まえた計画立案能力

AI 等の情報処理分野については、現状や限界を理解し(AI 技術レベルを理解)、それらを踏まえた DX 推進計画を立案・実施できることである。技術は日々進化するが、その時点でできること、できないことを理解し、現実性のある取組み計画を構築できる能力が必要である。また、現状を理解しつつ、次の段階の技術革新を予測し、その状況も考慮した将来に向けた技術を適切に盛り込める能力や知識を有するような人材が望まれる。

③ グローバル化への対応力

グローバル化を意識して、英語により発信された情報を検索・海外に発信できる人材や、費用対効果を算定できるような素養も望まれる。

④ データ分析力

デジタルデータを利用して価値を見出せる能力であり、いわゆるデータアナリスト的な能力が必要であろう。ビッグデータを目のまえにしてそのデータが意味するものを多様な視点から分析評価できるような、技術と視点をもつことが必要であろう。どこに課題や問題があるかを見抜く力というような能力も望まれる。

⑤ 異分野とのコミュニケーション能力

コミュニケーション能力として、異なる分野の技術者とのコラボレーションが必要となり、自分のフィールドで感じていることを的確に伝え、また他分野の技術者の意見なども要領よく把握し、関係プレイが円滑にできるような能力も重要である。

(3) 研究者

研究者は、過去の反省に立った現状分析を適切に行うためにも、研究開発における研究マインドが求められる(例えば、現第3世代のみならず、第1世代から続くAIの研究時系列や衰退原因を理解すること)。

ICT技術、プログラミング、AI理論(数学(確率・統計等))、工学と科学の橋渡し(自ら実行するなら不要)、これらを包含する対象工事・構造物の基礎知識(本質)を習得できる能力が求められる。

また、トンネルに限らず他工種を含めたAIに関する最新の研究事例や知見等に対する情報収集能力も必要となる。

(4) 管理者

実務者が活躍するには、組織の理解が不可欠である。AIのような新たな取組みをするには、管理者の理解や導入活用に関する意識が必要である。理想的には、管理者においても、岩盤力学分野のみならず、ICTやAIといった情報化技術分野についてもある程度の造詣が必要であろう。これは、発注者側と施工者側のそれぞれに共通するものである。

さらに、インハウスの技術者のみならず、外部ベンダーやプログラマーなどを活用する場合には、それらのコントロールも必要になる。管理者は難しい舵取りが要求されるであろう。すなわち、加速する技術革新の時代においては、より一層のマネジメント力が求められることは言うまでもない。また、管理者の後継者を育てるためにも、フォロワーシップ人材の育成も欠かしてはいけなないと考えられる。

(5) 現場実務者(岩盤専門)

トンネル技術者としての地山評価における観察・計測や施工方法等をはじめとしたトンネル技術全般に関する知識、経験が求められる。実現場は、切羽評価にあたっては、打音調査(粘土や亀裂)することや、湧水による状況により地山がどう変化しているのか(路盤の湿り具合による判定等)、主要な走向傾斜や切羽の安定性を判断するには層理や節理面などを分析している。そのためには、自分の目、手、頭を使って、対象物の特性や特徴を調べて、見抜く能力を有した技術者。すなわち、土木屋としての基礎能力の高い技術者とした。

(6) 現場実務者(AI支援者)

短期的には、運用するAI技術の中身(使用されている関数やその特性、パラメータ等)を理解するためのプログラミング等のIT技術の基礎知識が求められる。長期的には、AIで使用されている関数やパラメータ、フロー等を自身で調整できる程度のプログラミング、サーバー、データベース、セキュリティ等のIT技術の知識である。さらに、AIシステム担当者(保守、改良を含めた全般の運用)はICT・AI技術の知識を有する必要がある。一方、サイバー空間内(現状は3Dスキャン等の画像データで構

築)では、実現場を再現するには課題が多々ある、との意見もあり、AI 支援者においても現場経験が求められる。

(7) 利用する立場における人材

切羽評価システムによる判定は施工者及び発注者で共有され、両者が直接的な利用者ということになる。切羽評価の自動化においてAI 技術は非常に便利なツールであると思われるが、前述のように、思考プロセスがブラックボックス化し、結果だけが残る、判定を出した経過が不明となるようなリスクがある。

システム上において、ブラックボックス化を少しでも排除するような工夫は今後進められていくものと思うが、利用する立場においては、単に結果だけを受け取るのではなく、結果を出したプロセスについても確認し、工学的な視点での妥当性が確認できるような素養を持つておく必要がある。

また、利用する AI システムの処理プロセスについては、プログラミングをするようなレベルまでは求めないものの、内容を理解し説明できるような素養は必要かと思われる。

このような能力については、施工者のみならず発注者においても有しているべきと思われる。

またシステム構築をインハウスではなくアウトソーシングする場合においては、ますます AI 評価システムに関する部分がブラックボックス化しやすく、専門業者に委託して実施するような場合に、いわゆるベンダーロックインと言われるような状況になってしまうと、完全なブラックボックス化してしまう懸念もある。そういう意味で、アウトソーシングをする場合には、ベンダーロックインが生じないように、相互理解ができるような関係構築が必要である。そのためにはユーザーサイドのある程度の技術力が必要となる。

ベンダーロックイン:

特定ベンダー(メーカー)の独自技術に大きく依存した製品、サービス、システム等を採用した際に、他ベンダーの提供する同種の製品、サービス、システム等への乗換えが困難になる現象。これに陥った場合、製品、サービス、システム等を調達する際の選択肢が狭められる。価格が高騰してもユーザーはそれを買わざるを得ないため、コストが増大するケースが多い。また、市場の競争や技術確認の恩恵を十分に受けられない可能性もある。(ウィキペディアより引用)

(8) システムの維持管理する人材

① システム本体の維持管理

複雑なシステムになればなるほど、属人化する懸念が高まり、その個人が居ないと使うことができないような状況になる懸念が考えられる。精緻な結果を出すよう試行錯誤を繰り返しシステムのチューニングを行うことが必要であり、複雑化することもやむを得ない部分がある。

属人化させないためにも、システム設計内容が関係者間で共有できるような環境構築が必要である。また複数名からなるチームによる開発を行うことで、ノウハウが複数名で共有化されると、属人化を防ぐこともできよう。

特に、AI の分野では日々新たな知見が示され、システム自体もアップグレードを繰り返すことが想定されるため、システム管理をする立場にある人材は、そのような技術の進化をウォッチし、適宜取り込んでいくような素養が必要であろう。

システムそのものは、条件さえ満たせば多様な方法の適用が可能と考えられるので、システムそのものの開発・維持管理は、施工者やベンダーの競争領域であり、それぞれにおいて人材育成を進めて行くことになる。

② 教師データの維持管理

評価システムはシステム本体に加えて、適切な教師データによる評価モデルの構築も重要になる。

教師データの課題については前述したが、教師データとして利用可能な品質レベルのチェックができること、また教師データの偏りによる影響も大きいことから、評価モデルを構築していくうえで追加すべき教師データは何であるかなど、教師データのバランスについても評価できるような能力が必要と思われる。

教師データの取扱いについては、共有可能な情報として扱うべきことから、こちらの維持管理は協調領域として進めるべきである。

4.10.3 人材育成の方法

岩盤力学関連の技術者が、データサイエンスや AI といった DX 推進技術を理解し習得していくための人材育成をどのようにしていくかは重要な課題である。

リカレント教育のように自発的なモチベーションにより学ぶことができれば、それはそれで良いことであるが、研究機関ではいざ知らず、事業者の立場では自己努力だけで技術習得は容易ではない。

人材育成方法として、①自己学習、②座学型研修、③ワークショップ型研修、④実践型演習、⑤実務での育成(OJT)などの方法があるとされている²⁾。

(1) 自己学習

専門知識と知恵を習得できるに越したことはないが、自己の能力だけで知識を習得するには時間を要する場合もあり、また接することができる情報にも限界があり、これだけでは不十分であろう。

(2) 座学型研修

専門技術を持つ指導者による技術指導が基本となり、自己学習に比べ合理的に人材育成が可能となるが、受講者が受身になってしまう懸念などがある。また社内講師を活用する場合は講師の負担や、外部講師を活用する場合はその費用負担などが課題になる。

外部 AI ベンダーや協力関係にあるコンサルタントでは、教育プログラム(有料)が用意されている。適宜そのような機会の活用などが考えられる。

(3) ワークショップ型研修

受講者自身も課題を持ち、自分で調査をしたり考えたり行動したりして学ぶ研修のやり方であり、座学型研修に比べて受講者の積極性が求められるなどのメリットが期待できる。

(4) 実践型演習

事例などを活用して、受講者がデータ分析や AI による処理を試み経験することで技術を習得するもので、より実践的なものとなる。

(5) 実務での育成であるOJT

取り組むべき課題を、事例検討ではなく実務として対処し課題解決を行うものであり、OJTの対応ができれば相応の実力を身に付くものと思われる。

人材育成の方法としては、①自己学習、②座学型研修が基本となるが、実践レベルの技術を身に付けるためには、③ワークショップ型研修、④実践型演習、⑤実務での育成の取組みも必要になる。

企業の取組み事例として、社内において、全社的組織として「AI 推進部会」を設立し、ICT や AI に詳しいメンバーが持ち回りで講師役を担い、AI 技術のレクチャを実践形式で実施するような取組みも行われている。持ち回りにより、講師の負担が公平化される。

また OJT 的な取組みとして、実構造物での設計施工を、施工中のコンサル業務あるいは施工者の施工管理業務に、若手技術者を加えて実務の中で育成を進めている例もある。

他方、実務経験的な内容を、大学にフィードバックし若手研究者の人材育成を行う事例として、現場で土木技術分野の DX 推進事例を経験している土木技術者を大学講義に招き、構造物の設計や DX の利活用の内容や意義、効果を伝え、いろいろな AI 技術の実用性等について実感させるような取組みもある。

人材育成の方法は多様であり、また最近インターネットを活用した教育プログラムなども非常に身近になり、数年前に比べると自己学習も行いやすくなっている。学ぶことは、当事者の意識が不可欠であるが、多様な人材育成方法と連係することで効果的な育成を進めることができる。

現在は、VUCA³⁾の時代と言われており、多様な方法での人材育成が望まれる。

参考文献

- 1) 情報処理推進機構: デジタル・トランスフォーメーション推進人材の機能と役割のあり方に関する調査, <https://www.ipa.go.jp/files/000076047.pdf><2022/8/10 取得>
- 2) 孝忠大輔: AI 人材の育て方, 翔泳社, 2021.
- 3) Volatility (変動性), Uncertainty (不確実性), Complexity (複雑性), Ambiguity (曖昧性) の頭字語である。

4.11 その他

4.11.1 経済性

現状においては、AIによる切羽評価を試行している状況にあり、従来からの評価技術者の観察に加えてAI切羽評価に必要なデータ取得を追加的に行っている。写真撮影はもとより、穿孔データの取得、レーザースキャナーによる変位計測等、手法に応じて多様な情報取得が必要になり、それによる、費用や時間が必要となっているのが実情である。

しかしながら、将来的にAIによる半自動もしくは全自動で適切な切羽評価が行われれば、効率的であり経済性も明確になってくるものと思われる。

本件に限定したものではないが、DX推進においては、導入直後の混乱期から適応期、そして加速期に至り実用化段階に移行すると言われている¹⁾。混乱期は、まさに現状であり、いろいろな試行段階においては、新方式の学習や、機器導入等のコストや、新旧の二重基準などネガティブな側面が多く、新方式に対する心理的な抵抗感も根強いものがあるかもしれない。その後チャレンジを継続する中で抵抗感が徐々に薄れ、抵抗感が無くなり新方式への移行が実現されるとされている。このように実用化される段階においては、明確な経済性が得られるものと思われる。

現状においては、一部は有効なシステムとして効果を享受し活用されているものもあるが、開発途上で試行段階にあるものが多く、施工者側の努力や発注者の協力による、試行として取組まれているものが多い。今後実務で継続的に活用していく場合には、AIによる切羽評価による効果がある程度定量化され、費用に対する十分な効果あるという実績を示していく必要がある。

4.11.2 基準改定

現在各所にて開発・試行されているAIによる切羽評価の手法は、現行の施工基準である切羽観察要領に軸足をおいたAI活用について検討されているものが殆どであると思われる。従来の方法にどれだけ追いつけるのかという視点で、このアプローチは必要と思われる。

しかし一歩進めて、AIによる切羽評価手法では、多様な情報の活用や、評価情報の入力仕方など、現状と異なる情報の取込みが必要になる可能性もある。合わせて開発されているICT技術との関係などを考慮すると、AIによる切羽評価に関する情報取得を考慮して管理基準等を整備することも必要と思われる。

管理手法の整備においては、手法が多岐に渡る可能性があり多様な有効な手法が受入れられるべきであり、また個々のAI技術も日々進化し手法もそれに応じた修正など変化していく可能性も大きい。このようなバリエーションや変化に柔軟性に対応できるようなものが必要であろう。他方、多様な手法を受入れる前提として、前述したブラックボックス化を避けるという視点からも、各手法の共通的な判断のトレース性も必要であることから、それらについても対応可能な管理が求められるであろう。

AIによる切羽評価手法の実用化に向けて、現在までに構築された評価技術を念頭に置きつつ、新基準の構築を目指すことを提言する。

4.11.3 多様な手法の受容

現在、研究機関、建設会社、コンサルタント会社、またはソフト開発会社がそれぞれ独自の切羽評価システムの開発と実用化に向けた取組みを進めている。システムごとに、撮影画像の使用法(撮

影画像そのものを使用する,トンネル断面形状に切り抜いたものを使用する,複数の小さな画像群に分割など),計測データ(ドリルジャンボによって取得した穿孔データ,マルチスペクトルカメラによるデータなど)の有無などが異なっている。

多様なアプローチが為されているが,より良いシステムを構築するモチベーションとして,競争原理のもと技術開発を進めること自体良いことであり,一定の水準を満たすシステムは受容可能とすべきであろう。4.6 項に示したように,システムの有効性評価のルールが構築されれば,多様な方法は受容できると考える。

なお,繰り返しになるが,多様な方法が受容される前提として,ブラックボックス化への課題であるところの,それぞれの手法による一定の判定根拠のトレーサビリティの確保が重要である。それも有効性評価の要点の一つになる点を改めて指摘する。

4.11.4 汎用化

AI による切羽評価技術を汎用化させるためには,誰でも活用できるような環境を作る必要がある。現在は,これらの技術開発に取り組む研究機関や民間企業に限定されているが,トンネル施工に関わる多くの企業(建設会社)が活用できるようにならなければ,汎用化させることは難しいであろう。

インハウスでシステム運用ができない場合は,そのシステムサービスを提供するコンサルタント会社の活用など,または汎用に活用できるようなオープンソース形態の評価システムなどの公開なども必要かもしれない。

かつて空洞の応力解析などにおいても,有限要素法などの基本的な手法を始めとし,多様な高度な解析手法が活用されるようになり,今日ではオープンソース化されているコードは非常に多い。AI による切羽評価手法なども,将来的にこのような状況になることも有り得るかもしれない。

4.11.5 山岳トンネル以外への適用

トンネル切羽評価は岩盤の性状を評価しようとするものであり,岩盤の評価という視点では,トンネルに限定せず,地下空洞や立坑,さらには岩盤基礎や斜面などへの適用性なども想定される。

施工条件や置かれる環境が異なるので,トンネルで適用したシステムが必ずしもそのまま適用できるとは言い難いが,類似のアプローチも考えられるのではないかと思う。

いずれにせよ,検討に供するようなデータ(教師データ)が必要になることから,ICT 技術なども有効に活用し,データ取得が重要になろう。また,岩盤分類の多様性については,トンネル以上に構造物や事業者により多様である。山岳トンネルで蓄積してきた知見を活用し,多様な岩盤構造物への適用が進められると良い。

参考文献

- 1) 第7回国土交通省インフラ分野のDX 推進本部,資料1「インフラ分野のDX アクションプラン第2版」とりまとめに向けて

5. 実用化に向けて

5.1 概要

前章までに、AIを活用したトンネル切羽の岩盤評価の実用化に向けた課題を挙げてきたが、これらの課題解決のためには、実施に関連する各部門の取組みが不可欠であろうと考えられる。本章では、発注者、施工者、システム開発者、学会のそれぞれの部門に期待することをとりまとめた。

5.2 発注機関に期待すること

5.2.1 AI活用制度の整備

(1) 切羽観察様式の統一

現在、発注機関毎に切羽観察様式が異なるため、それぞれに対応した結果を出力できるAIを整備する必要がある。加えて、教師データの整備においても、それぞれの評価に用いるデータの整備が必要となる場合があり、データの有効活用の観点からも非常に煩雑になる。

AIの活用を促進するためには、発注機関によらず統一した切羽観察様式と観察手法および評価基準を整備することが求められる。

(2) ロードマップの策定

DXの推進において、取組みの推進方法や意識に各発注者間において差が感じられる。この取組みをより進め、一体性を高めるためにロードマップを作成することが有効であると考えられる。ロードマップを用いて、現状求められる性能から今後必要となる性能を整理し、その流れに付随して必要な環境整備を行うことによりDXの活用が進むと考えられる。

(3) 運用ガイドラインの整備

AIによる切羽評価の活用を進めるためには、運用ガイドラインの整備が必要となる。類似の取組みとして、「点検支援技術(画像計測技術)を用いた3次元成果品納品マニュアル【トンネル編】」がある。内容として撮影条件の整理やデータ形式の記載があり、この内容を満たすような形式でデータが出力できるような技術が活用されている。

これらを参考に、ガイドラインを整備し切羽画像や切羽評価結果の統一フォーマットを規定することで、データの収集がより容易になる。加えて、データが増加し評価、整理が進むことで精度向上につながると思われる。また、ガイドラインという形で内容を整理することで、AIの原理や評価結果について、発注者の理解にもつながると考えられる。

(4) コストを反映できる制度設計

現在は新技術導入促進や技術提案により、AIの活用が行われているが、今後の開発を恒常的に進めていくためには安定的な費用負担が行えることが前提となる。その場合、現在の予算確保方法では不安定な部分があるため、AIの活用を評価し、コストとして見込む仕組み作りが必要となる。AIにより、安全や効率に結びついた場合にインセンティブを認めることは、現在の発注形態上困難であると

考えられる。そのため、安全上必要なものとして認め、一定のコストを見込みことから始め、現在の土工における ICT 加算のように、費用に見込める仕組みづくりが必要である。

また、コストと結びつく部分として、AI のレベル別にコストを評価できる仕組み作りも必要となる。

5.2.2 切羽評価結果及び写真のオープンデータ化

各開発者で教師データを収集すると、データ数の確保や地質のばらつきの問題が発生する。教師データを確保するためには、開発者の壁を越えてデータを収集する必要がある。そこで、前項の切羽観察様式及びガイドラインに基づいた撮影画像のデータベース整備をすることが有効であると考えられる。類似の取組みとして、「全国道路施設点検データベース(xROAD)」が挙げられる。この取組みでは、国の直轄管理の点検データだけではなく、自治体及び高速道路会社の点検データも取り込み、データを閲覧できる仕組みとなっている。

データ収集については、発注者間で横断的にデータを収集できる枠組みを整備したうえで、数多くのデータを収集することが望まれる。様々なデータが収集できるが、公開範囲については必要なものを精査した上で公開することが望まれる。

5.2.3 切羽評価 AI システムを評価するための標準データの設定

AI を活用する上で、使用される AI の精度評価が重要となる。現在、各社のデータに基づいて評価されているが、定量的に評価するためには標準データに基づいた評価結果を比較する必要がある。そのために、標準データの設定については、各トンネルの設計、ボーリングデータに基づいたパターンを基に発注者にて設定することが望まれる。

なお、AI の評価については、技術者による評価結果のチェックを行うことが重要である。

5.3 施工者に期待すること

切羽評価 AI の実用化に向けては、教師データの取得や AI モデルの構築、現場適用など実装までのプロセスの多くを施工者が主体となっていくことが想定される。現状では各社個別に工夫して対応しているものの共通する課題等が明らかになりつつある。本節ではそれらを施工者に期待されることとして整理し以下に列挙する。

5.3.1 教師データの収集・管理

切羽評価 AI の学習、構築に必要な切羽観察記録や切羽写真等の教師データの取得は、施工者が主体となり行われるものである。教師データの質は切羽評価 AI の精度に一定の影響を与えることが指摘されていることから、一定の品質が確保された教師データを収集・蓄積し、分かりやすく整理・管理するとともにデータの質の保証が明示されることが望ましい。

(1) 切羽写真

4.3 節にも示されているとおり、鮮明な切羽写真の取得に際しての基本的な事項としては、障害物の写り込みが無いこと、適正な画角であること、ブレ・ピンボケが無いこと、白飛び・黒つぶれが無いこと等が挙げられる。画素数を始めとしたカメラの設定値は 4.3.7 項に示される推奨値を参考にするとともに、撮影機材(デジカメ、スマートフォン、タブレット等)についても一定の条件を満たしたうえで均一に収集することが望まれる。このほか、撮影距離、切羽面照度、照明の仕様等の撮影環境についても、切羽毎、現場毎に条件が大きく変わらないよう配慮することで、切羽写真の品質に与える影響が小さくなることが期待される。

(2) 観察・計測データ

4.3.8 項、4.7.5 項にも示されているとおり、切羽写真以外に観察記録や各種計測データの活用も想定されるため、技術者の主観や経験に左右されない客観的、定量的な情報が蓄積されることが期待される。切羽観察における評価区分の判定や地山等級、支保パターンの決定にあたっては、技術者個人の経験や技量、各社の施工方針等に大きく左右されないよう工夫するとともに、非工学的・非技術的な判断が介在しないよう留意することが重要である。また、変位計測やエネルギーデータの取得にあたっては、初期値の計測タイミングや計測方法を適切に管理し、同条件にてデータを蓄積することが望ましいが、少なくとも施工完了後にデータを活用できるよう計測条件等を記録しておくことが望まれる。現状の切羽評価 AI の学習には切羽写真や A 計測の結果等が用いられることが多いが、教師データとして有効なデータは研究開発段階にあり、例えば B 計測の結果や特殊なカメラによる画像データ、岩石・岩盤試験結果等の任意で追加実施された計測データなど、納品義務はないものの実施される計測データが有効である可能性がある。そのため、これらの情報も一定の品質を満たすよう取得することが望ましいが、AI 学習への適用性という観点で求められる品質等に関する知見は少ないため、少なくとも取得時の条件等を記録しておくことが望ましいと考えられる。

(3) データの整理・分類

切羽評価 AI 等の技術開発を推進する背景には、安全性や合理性等において他社との差別化を図ることで優位性を獲得することにある。一方で、業界全体やオールジャパンで技術開発の推進を考え

た場合、共通の開発基盤や情報の共有がなされることが望ましいと考えられる。これを踏まえ、切羽写真や計測データ等の情報は、可能な限りデータ形式を統一して分かりやすく整理するとともに、情報共有を可能にする仕組みが構築されることが望まれる。例えば、切羽写真は jpeg 等の画像データとして保存するとともにサイズの圧縮等は行わずオリジナルデータを保存することで AI 学習により活用しやすくなるものと考えられる。また、各種データは切羽や測点毎にフォルダ分けするなど、データ相互の対応がとれるよう整理することが重要である。

5.3.2 切羽評価 AI の適切な活用に向けた知識、能力の習得

AI を適切に活用するためには、AI が出力する結果の妥当性等を評価するための能力が必要である。これには、トンネルや地盤工学等のトンネル技術に関する知識に加え、AI 技術に関する知識、経験や適切なデータの取得や管理方法に関する知見も求められる。また、AI 技術は日々進化しており、常に最新の技術や知識を習得することが重要である。

(1) トンネル技術

山岳トンネルの施工においては、特に切羽観察で地質や岩盤力学に関する高度な知識が要求され、本来、地質技術者に求められる業務をトンネル技術者が兼務せざるを得ない場合もある。このことから、定期的に地質技術者やベテラン職員による現場指導等により、知識・技術を習得することが望ましく、ひいては主観によらない切羽評価を行える人材育成が期待される。

(2) AI 技術

4.10.2 項でも述べられているように、切羽評価 AI の特性や限界を理解して活用することが重要である。そのためには、AI 技術の中身を理解するためのプログラミング等の IT 技術の基礎知識や、実務上の留意点や課題等を把握することが重要である。これらの習得には、社内教育や現場での実務教育、場合によっては学会等の場を活用した会社横断的な勉強会等が有効であり、習熟者が増加するような教育環境の整備が期待される。

5.3.3 AI 研究開発等におけるノウハウや課題の整理

切羽評価 AI が実用化される段階においては、各技術を定量的に評価し、各現場条件に応じた最適な技術の選定等を行う必要があると思われる。そのために、現状の研究開発・現場への試実装の段階で得られた評価結果のノウハウや課題を蓄積することで評価時の資料として有効活用されることが期待される。特に、切羽評価 AI を実現場へ導入した際に技術者の評価や実際の地山性状と切羽評価 AI の結果、乖離したケースや意図しない特徴量に着目したケースの原因など、即ち成功事例だけでなく失敗事例や課題を記録として残すことにより、切羽評価 AI モデル自体の性能評価や業界全体の技術開発の推進に寄与すると考えられる。

5.3.4 AI 技術の活用の在り方

切羽評価 AI の活用にあたっては現状の技術レベルや課題等を理解することが重要であり、短期的には、最終的な判断は技術者が行うことを前提に技術者の判断を補う補助的なツールとして活用する

ことが想定される。また、技術開発や現場適用にあたっては、切羽評価 AI の適用範囲を明示することでより合理的な切羽評価が可能になると考えられる。

さらに、切羽評価 AI を実務上で活用するのみにとどまらず総合的な掘削方針等の提案につなげることや積極的に技術提案に盛り込むことでトンネル工事全体の合理化が期待される。

5.4 評価システム開発者に期待すること

AIによる切羽評価を広く普及させるという視点で、多くの施工会社が利用できる環境を作ることが必要であるが、現状ではインハウスでのシステム構築を行っている施工会社は限られており、汎用の評価システムが活用可能な環境を作る必要があると考えられる。そのため、評価システムを提供するベンダーに対する期待を以下に列挙する。

5.4.1 評価精度の向上

(1) 精度の向上

現在まで各所で試行している限り AI による判定精度はまだ十分に高くはなく、実用化という点ではさらなる改善が必要であろう。現状では学習データの不足や、学習データや評価する切羽のデータ等、利用するデータの品質の低さなどの課題があるが、システム自体の精度の向上を期待するところである。

(2) 評価システムの利用限界・利用条件の明確化

評価精度に関連し、各評価システムは事前のモデル構築時に多様な学習に基づき構築していると思われるが、対象データにより精度は異なるものと想定される。サービス提供前に、その利用限界・利用条件などを明示し、利用者(施工者、発注者)のニーズとの適合性を予め確認しておくことが必要である。評価事例などの情報提供があると良い。

(3) 現場情報のフィードバック

AIシステム開発を専門とするベンダーは、AI構築においては専門家ではあるが、岩盤評価の経験について豊富とは言い難い。切羽観察記録と写真という与えられた条件のみならず、現場で感じられるより多くの情報を得ることにより、より良いシステム構築が可能になるかもしれない。トンネル施工現場は、第三者の立入が容易ではない場所であるが、システム開発者と施工会社の関係を密にするなどの対応が望まれるところである。

5.4.2 判定根拠の明確化

AI活用において、特に深層学習を活用したものは、評価根拠のブラックボックス化については共通の課題である。本件においても同様であり、利用者である施工者や発注者が、判定の根拠をある程度トレースできるような仕組みが欲しいところである。畳込みニューラルネットワーク(CNN)においてCAM(Class Activation Mapping)等の方法により、深層学習にて画像のどの部分で特徴を見出しているのか視覚的に知る方法があるが、そのような判定根拠を示すような補助ツールなどが活用できるようなシステム構築を期待する。

5.4.3 使いやすさの向上

今後の評価システムには、ユーザー側が使い易い次のようなインターフェースの構築を期待する。

(1) 評価システムを常に更新していく環境の整備

工事实績の蓄積とともに、教師データなどに使用される切羽写真や切羽観察結果は増加するので、施工の進行と同時に、評価モデルも更新することができれば、施工を続けることにより精度が向上していく可能性がある。

そのためには、容易に追加データも加えた学習処理も、施工時に平行して行うことができるシステムの提供を望む。

また関連し、そのような随時の評価モデル更新においては、相応の手間がかかり、現状においては更新作業のための費用が生じる場合があるが、費用なども含めて容易に対応できるサービス提供体制(契約)があると良い。

(2) 携行性の良いデバイスでの利用

現場において、データ入力から評価結果の取得まで短時間でできることが理想であり、また携行性に優れたデバイスでの利用が便利である。すでに一部のシステムでは、スマートフォンやタブレット上での利用を進めているが、坑内に PC を持込んで使用することは利便性に欠ける。スマートフォンやタブレット上で利用可能なシステム開発を望む。

5.4.4 評価システムの公開性

トンネル切羽評価という専門性の高い分野のシステム開発においては、対応するベンダーも限られてくる可能性もあるが、特定のベンダーにのみノウハウが蓄積されてしまうと、当該ベンダーによる技術の囲い込み状況、いわゆるベンダーロックインに陥ることが懸念される。

当然、技術の蓄積による知的財産権は尊重すべきものであるが、システムについては適正な対価にて、利用したい者が利用したい時に利用できる形態でサービス提供を受けられるよう期待する。

5.4.5 システム利用コストの低減

現在は、AI によるシステム開発段階であり、多くの試行を重ねている状況にあり、多くのリソースをつぎ込み、相応のコストも要している状況と想定される。将来的に実用化されてくると、活用の場面も増え、また学習処理等もパターン化されてくると、より効率的にサービス提供も可能になり、コストも低減されてくるものと期待する。

活用の場面を増やすという視点では、コストは重要な要素である。今後のコストダウンに期待する。

5.4.6 土木技術との融合

良いシステムを構築する上では、施工者とシステム開発者間の相互理解を深めることが重要であると考え。システム開発者には現場状況などを良く理解してもらうことが重要であり、施工者は評価システムの内容を良く理解することが重要である。

例えば異業種交流的な観点で、システム開発者の AI エンジニアを施工会社に派遣し、土木技術側からの要求事項の理解を深め、より良い評価システムの構築に寄与できるのではないかと考える。

また、評価システムで出来る・出来ないこと、その特性など、施工者側の技術者の理解度を向上させる点でも有効であると考え。施工者に向けた評価システムに関する、教育・研修等の機会があれば、非常に有効であると考え。

5.5 土木学会に期待すること

土木学会の定款や土木学会ホームページ^{*}に掲げられている3つの活動の柱に示されるように、土木学会は産官学の技術者が集い、連携する場を提供することができる場である。そのような視点から土木学会に期待することを以下に示す。

土木学会定款

「土木工学の進歩および土木事業の発達ならびに土木技術者の資質向上を図り、もって学術文化の進展と社会の発展に寄与する」ことが示されており、以下の三つを活動の柱として、さまざまな活動を展開している。

- ・学術・技術の進歩への貢献
- ・社会への直接的貢献
- ・会員の交流と啓発

土木学会ホームページ(学会概要), <https://www.jsce.or.jp/outline/index.shtml>, 2023年4月9日より引用

5.5.1 異なる発注者, 事業者を横断した提言

AI を実用化するためには大量の学習データが欠かせない。一方、道路、高速道路、鉄道ごとに発注者が異なり、切羽観察簿などの施工管理の基準は様々である。このことが、学習データの蓄積の障壁となっている。今後、学習データを効率的に収集するためには、切羽観察簿や切羽の評価項目を統一することが欠かせない。このことは、5.2 節の発注者に期待することに記載した通りであり、こうした様々な発注者や事業者に対して、横断的に提言する役割は土木学会に期待されるのである。

(1) データ蓄積の必要性に対する理解促進

切羽観察結果のデータや切羽写真を収集するためには、各発注者の理解が欠かせない。このためには、事業者にとっての、AIによる切羽観察の価値について提示することが必要であり、これを整理して提示することは土木学会に求められている役割である。

(2) 切羽観察の評価項目の統一

各事業者から切羽観察結果のデータを収集した場合、評価項目が異なり、このことが、AIの学習データ収集を困難としている要因の一つである。土木学会が、評価項目を統一することの重要性と必要性を整理し、各事業者に提言することが期待される。

5.5.2 情報共有, 連携の場の提供

土木学会は産官学の中立的な立場として、様々な発注者や建設会社を横断して切羽のデータを収集、管理する役割が期待される。具体的な役割は様々なケースが考えることができる。以下にその例を示す。

(1) 情報共有, 連携できる場としての役割

切羽データの収集内容と収集方法, 各社が開発するシステムの技術, 開発したシステムの利用方法など, 様々な情報を共有する場を提供することが土木学会に期待される。

(2) データ蓄積の必要性の広報

AI による切羽観察技術を実用化するために大量のデータ収集が不可欠であることを整理し, 学会活動を通じて, 各機関への理解促進のため働きかけは土木学会の重要な役割である。

5.5.3 基準テスト, データの品質評価の担い手

収集したデータを AI の学習データとして利用するためには, 切羽写真の解像度や明るさ, 統一された切羽観察の評価基準が重要となる。様々な機関から収集したデータとシステムを横断的に取り扱うことができる土木学会には, これらの基準について検討し, 提言する役割が期待される。

(1) データの品質の基準を提言

収集したデータから, AI の学習データとして利用するために必要な仕様を検討し, 基準を各発注者に提言し, 施工管理基準に記載できるような提言が期待される。

(2) 標準データの構築

各社が開発しているそれぞれのシステムが, 実用可能であるかを計るためには, 標準となるデータ構築が欠かせない。当小委員会では標準データの構築を試みているが, 発注者ごとに異なる評価項目や岩種に偏りがあるなど, 中長期的に継続した取り組みが必要である。

5.5.4 講習会の開催

AI による切羽評価技術の活用を促進するためには, AI 技術の現状と課題を理解して, その利用方法を明確にすることが必要である。土木学会には, 受発注者の双方を対象とした講習会を通じて, AI 技術に対する理解促進を担うことが期待される。

5.5.5 AI による切羽評価の全体像の提言

AI による切羽評価技術の活用を促進するためには, ① 学習データの収集方法, ② 切羽観察の評価方法の基準化, ③ 開発したシステムの実力の評価方法, ④ AI の評価結果の利用方法, これらの標準化が求められる。これを実現するためには, 産官学の協力が不可欠であり, AI の専門家も交えた議論の場を土木学会が提供することが求められる。

5.5.6 土木学会としての役割を果たすための課題

産官学の協力の場を提供できる土木学会の役割は大きい。しかしながら, 標準データや様々な基準を構築するためには相当の労力が必要となり, 参加メンバーの負担は大きい。

AI による切羽評価技術の実用化に向けて提言した活動を実現するためには, 相当の労力と費用が必要である。AI による切羽評価技術の必要性と喫緊の課題であることを整理し, 広く理解を得ることが重要である。

技術動向調査により実施した 30 件の文献リスト

番号	件名
1	AI による地山の透水係数の同定と予測解析への適用性
2	山岳トンネルにおけるAI を用いたトンネル変位量予測の検討
3	AI モデルを利用した最適発破設計への取組
4	切羽の鏡吹付けコンクリートに発生する亀裂認識実験によるAI クラック検知システムの適用性評価
5	山岳トンネルにおける鏡吹付コンクリートひび割れ検知システムの開発
6	AI を活用したトンネル覆工表面画像のひび割れ自動抽出結果検証
7	AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測に関する研究開発④ー複合解析モデルの適用結果ー
8	ANN による穿孔データを用いた定量的な切羽評価の検討
9	AI を活用したトンネル切羽の地山判定システム
10	トンネル切羽画像を用いたオンライン学習に基づく穿孔エネルギー推定
11	画像解析技術を用いたトンネル切羽の落石監視システムの開発
12	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ー研究開発項目と実施概要ー
13	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ー切羽の画像撮影方法の最適化についてー
14	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ー色見本を用いた色補正プログラムー
15	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ー 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ー
16	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ー切羽画像から肌落ち予測の教師データについてー
17	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ー 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ー
18	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ー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ー
19	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
20	トンネル変状原因推定 AIの構築

番号	件名
21	トンネル点検の効率化に向けた AI技術等の活用
22	シールド発進立坑における動体認識 AIを用いた危険作業の検出
23	山岳トンネルにおける切羽画像AI 診断に関する検討
24	人工知能(AI)を用いた切羽評価支援システムの開発
25	切羽写真の画像解析による割れ目間隔の定量評価技術
26	山岳トンネルの切羽評価におけるAI 適用手法の開発
27	山岳トンネルにおけるAI を活用した切羽評価システムの開発
28	人工知能を用いた切羽評価に影響をおよぼす岩盤の特徴分析
29	トンネル切羽観察(風化変質)のAI(自己組織化マップ:SOM)による自動評価の試み
30	AI, CIM, 画像処理技術を活用した建設現場地質情報ICT管理システムの構築

技術動向調査により実施した 30 件の文献リスト

番号	件名
1	AI による地山の透水係数の同定と予測解析への適用性
2	山岳トンネルにおけるAI を用いたトンネル変位量予測の検討
3	AI モデルを利用した最適発破設計への取組
4	切羽の鏡吹付けコンクリートに発生する亀裂認識実験によるAI クラック検知システムの適用性評価
5	山岳トンネルにおける鏡吹付コンクリートひび割れ検知システムの開発
6	AI を活用したトンネル覆工表面画像のひび割れ自動抽出結果検証
7	AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測に関する研究開発④ー複合解析モデルの適用結果ー
8	ANN による穿孔データを用いた定量的な切羽評価の検討
9	AI を活用したトンネル切羽の地山判定システム
10	トンネル切羽画像を用いたオンライン学習に基づく穿孔エネルギー推定
11	画像解析技術を用いたトンネル切羽の落石監視システムの開発
12	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ー研究開発項目と実施概要ー
13	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ー切羽の画像撮影方法の最適化についてー
14	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ー色見本を用いた色補正プログラムー
15	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ー 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ー
16	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ー切羽画像から肌落ち予測の教師データについてー
17	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ー 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ー
18	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ー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ー
19	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
20	トンネル変状原因推定 AIの構築

番号	件名
21	トンネル点検の効率化に向けた AI技術等の活用
22	シールド発進立坑における動体認識 AIを用いた危険作業の検出
23	山岳トンネルにおける切羽画像AI 診断に関する検討
24	人工知能(AI)を用いた切羽評価支援システムの開発
25	切羽写真の画像解析による割れ目間隔の定量評価技術
26	山岳トンネルの切羽評価におけるAI 適用手法の開発
27	山岳トンネルにおけるAI を活用した切羽評価システムの開発
28	人工知能を用いた切羽評価に影響をおよぼす岩盤の特徴分析
29	トンネル切羽観察(風化変質)のAI(自己組織化マップ:SOM)による自動評価の試み
30	AI, CIM, 画像処理技術を活用した建設現場地質情報ICT管理システムの構築

タイトル	AIによる地山の透水係数の同定と予測解析への適用性
目的	<ul style="list-style-type: none"> デジタルツインの概念を基本に「切羽湧水量」を仮想空間に再現。 AIによる透水係数の同定技術。
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AIモデルの概要	<ul style="list-style-type: none"> 地山予報 (デジタルツイン統合管理システム)。 AIによる地山の透水係数の同定は、地下水位・湧水量・透水係数等の浸透特性に関わる教師データを、別途数十万ケースの数値シミュレーションにより求めている。
使用データ説明	・九州新幹線 (西九州ルート) 木馬トンネル
(学習時) 岩種区分	角礫凝灰岩
現時点の課題	記載無し
学習データの取得実績	・数十万ケースの数値シミュレーション
岩判定活用実績	記載無し
AIの可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AIが問題を生じさせた時の判断	記載無し
AIによる技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	施工中のトンネル現場に地山予報システムを展開

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

キーワード: ground forecasting, Groundwater Environment Prediction System, AI, digital twin, permeability

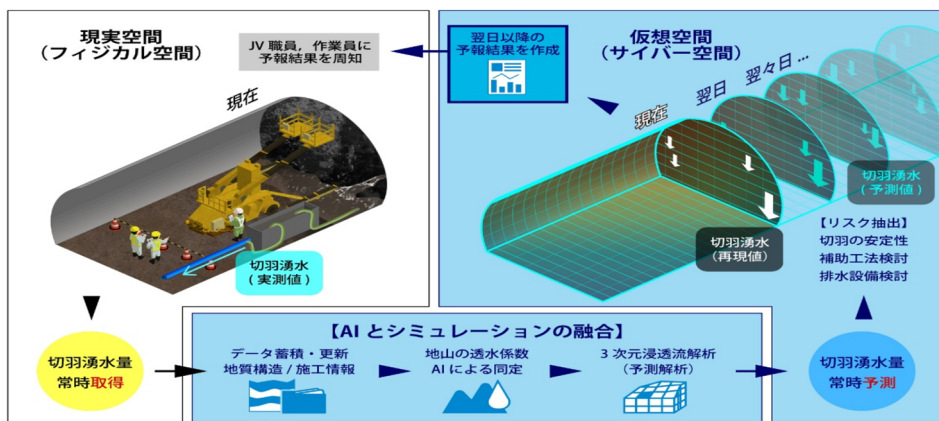
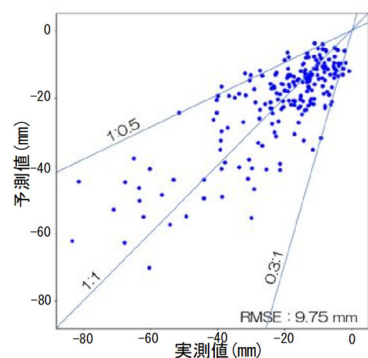


図 地山予報の概要 (地下水環境予測)

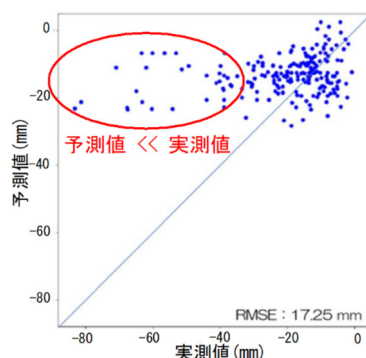
タイトル	山岳トンネルにおける AI を用いたトンネル変位量予測の検討
目的	切羽観察簿に記録される地山性状の評価をもとに、AI による変位量を予測
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	・AISing 社の開発した AI モデル「MST」を使用。 下記、3 種類の学習方法を実施 I : 予測地点以外のすべてのデータを学習し交差検証 II : 予測現場以外の 2 現場のデータのみ学習し交差検証 III:II に加え、予測現場のデータを順次追加学習
使用データ説明	3 つの現場の計測断面数 (①124, ②43, ③44)
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	変位量予測をどのように施工管理に用いるかという明確化
学習データの取得実績	記載無し
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	・初期学習時のデータ数や現場数を増やす。 ・説明変数として、初期変位速度や先進ボーリングの結果を追加

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

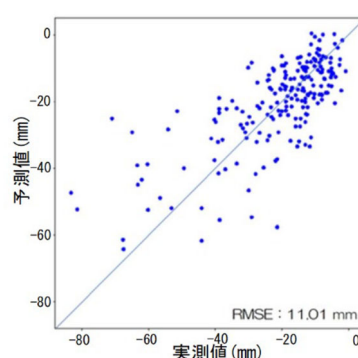
キーワード: mountain tunnel, deformation, artificial intelligence, tunnel faceobservation



(a) 学習方法 I



(b) 学習方法 II



(c) 学習方法 III

図 予測結果

タイトル	AI モデルを利用した最適発破設計への取組
目的	最適発破設計システムの提案
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・余掘量推定 AI モデル ・最適発破設計プログラム
使用データ説明	<ul style="list-style-type: none"> ・穿孔データ (1 孔あたりの穿孔位置, 長さ, 角度, 穿孔エネルギー) ・装薬データ (1 孔あたりの雷管の種類, 薬量)
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	・発破回数は平均 4 回/日程度であるため, 教師データ数が少ない。
学習データの取得実績	<ul style="list-style-type: none"> ・発破実施回数 58 回 ・有効教師データ数 約 5200 (52 断面×100 孔/切羽)
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input checked="" type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input checked="" type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	多様な地質に対応するために, 新たなパラメータを取り組み, さらなる精度向上。

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

キーワード: tunnel, AI model, blasting design, Automation

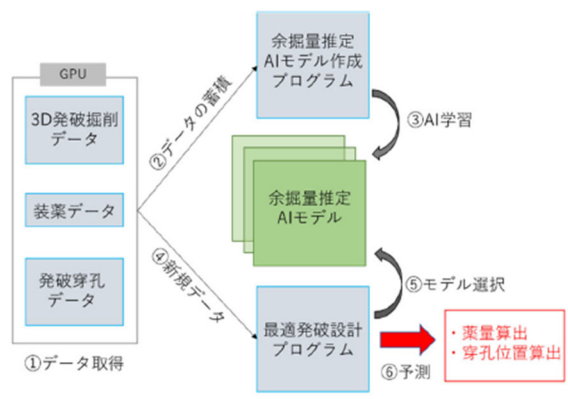


図 システムフロー図

タイトル	切羽の鏡吹付けコンクリートに発生する亀裂認識実験による AI クラック検知システムの適用性評価
目的	鏡吹付けコンクリート面に発生する亀裂を識別することで、常時監視する実現するシステム (AI クラック検知システム) の開発
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・画像解析の一手法である Semantic Segmentation によるディープラーニングを使用. ・本システムと監視員の監視能力を比較検証.
使用データ説明	<ul style="list-style-type: none"> ・合計 27 種類の動画 (1 動画 5 分). ・明るさ 20Lx の部屋に設置のモニター画面 (80 インチ) にランダムに連続して提示.
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	記載無し
学習データの取得実績	記載無し
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input checked="" type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	本システムを現場導入した際の効果を把握する統合的な実験を行い、本システムの妥当性評価を詳細に行う

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

キーワード: Tunneling, Shotcrete on tunnel face, AI, Crack detection

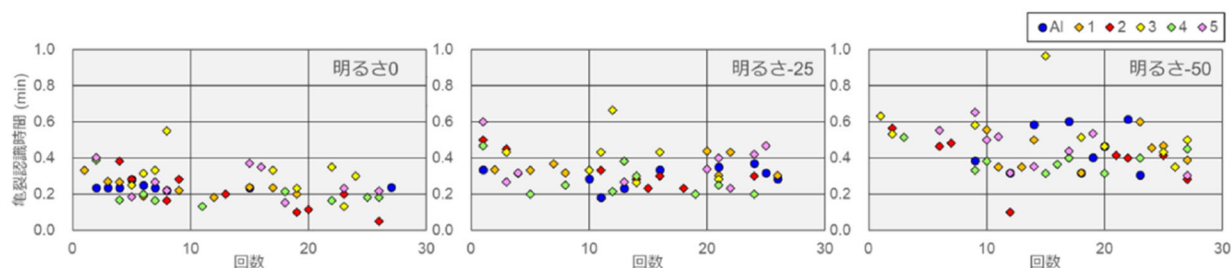


図 実験協力者の実験回数 (慣れ) の影響評価

タイトル	山岳トンネルにおける鏡吹付コンクリートひび割れ検知システムの開発
目的	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の開発
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・模擬トンネルで実施したひび割れ検知実験 ・Deep learning を用いた物体識別技術 Semantic Segmentation を採用.
使用データ説明	記載なし
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	記載無し
学習データの取得実績	記載無し
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input checked="" type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	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.

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

キーワード: Mountain Tunnel, Face monitoring, Image Processing, Crack, Deep Learning, Semantic Segmentation



図 模擬トンネル内の機器の配置

タイトル	AI を活用したトンネル覆工表面画像のひび割れ自動抽出結果検証
目的	新・旧ソフトによる「ひび割れ評価点」と「ひび割れ展開図作成」の作業効率性に関する比較検証
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input type="checkbox"/> 施工 <input checked="" type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input checked="" type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	記載なし
使用データ説明	100 スパンずつひび割れ展開図を作成し、各スパンの TCI 指数とこれにより算出される評価点を使用.
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	一部誤検出による的中率の低下
学習データの取得 実績	記載無し
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input checked="" type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承の とらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	DX を推進し、点検業務効率化・高品質化

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

キーワード: Detailed inspection of tunnel lining, Tunnel lining surface image, Automatic crack extraction, Health assessment, AI

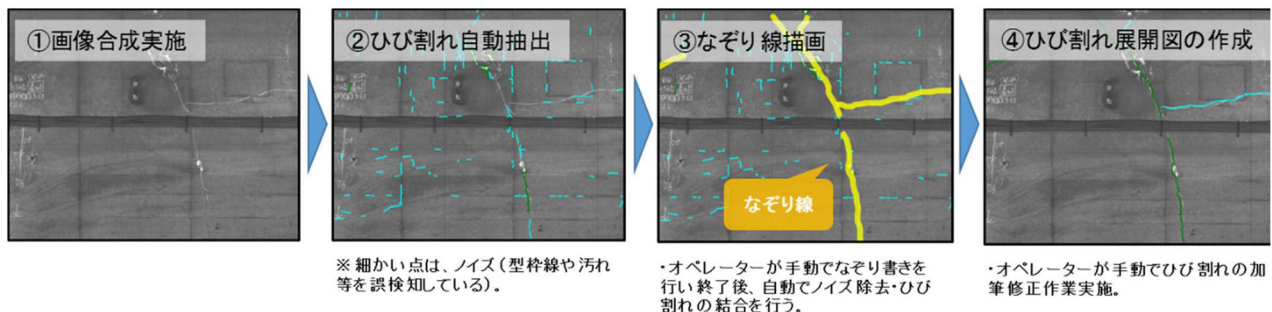


図 ひび割れ自動抽出作業フロー概要

タイトル	AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測に関する研究開発④ー複合解析モデルの適用結果ー
目的	AI 技術と画像処理技術を用いて山岳トンネルの切羽観察作業の支援システムの開発
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	AI による予測精度の向上を目指して、画像のみからの予測に加えて、観察項目間の相関性を利用し、さらに前切羽の観察記録結果を利用する複合解析モデルを構築
使用データ説明	記載無し
(学習時) 岩種区分	A トンネル：中硬質塊状岩である安山岩 B トンネル：中硬質塊状岩である粘板岩
現時点の課題	切羽の状態が土砂状であるとき、AI の予測精度が悪いことが課題
学習データの取得実績	A トンネル：165 切羽、B トンネル：288 切羽 C トンネル：285 切羽、D トンネル：308 切羽
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	記載無し

工事適用例，デモンストレーション事例，キーワード等

キーワード：AI, Mountain tunnel, Face observation record

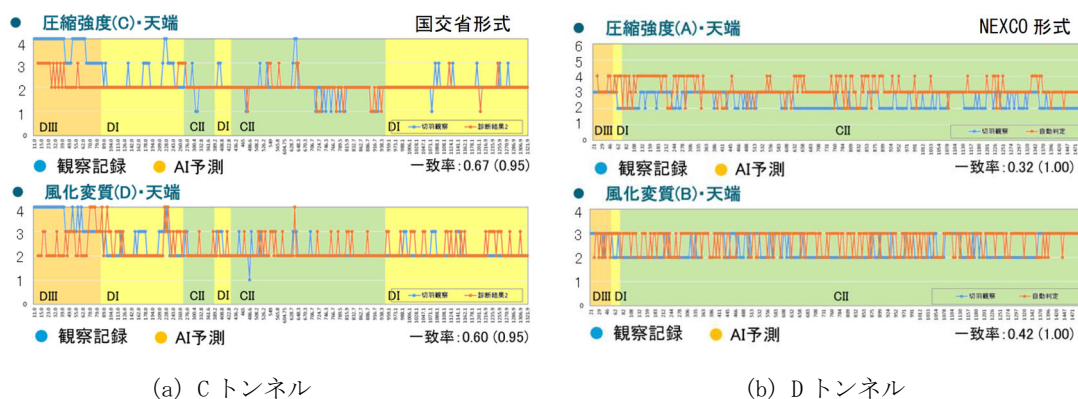


図 トンネルに沿った評価区分の変化

タイトル	ANNによる穿孔データを用いた定量的な切羽評価の検討
目的	コンピュータジャンボの穿孔データから、切羽観察結果の観察項目ごとの評価精度の検討
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AIモデルの概要	Pythonを用いた自社開発によるANN
使用データ説明	穿孔長10cmごとに記録された削孔速度・打撃圧・フィード圧・ダンパー圧・回転速度・回転圧
(学習時) 岩種区分	凝灰角礫岩を主体
現時点の課題	割目状態、湧水量の正答率が低かった。
学習データの取得実績	469切羽
岩判定活用実績	記載無し
AIの可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AIが問題を生じさせた時の判断	記載無し
AIによる技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	岩種や地山性状の異なる複数のトンネルデータの分析。 切羽写真と合わせた分析とともに、確率による解釈への考察を深める。

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

キーワード: mountain tunnel, evaluation of tunnel face, computer jumbo, drilling data, Artificial Neural Network

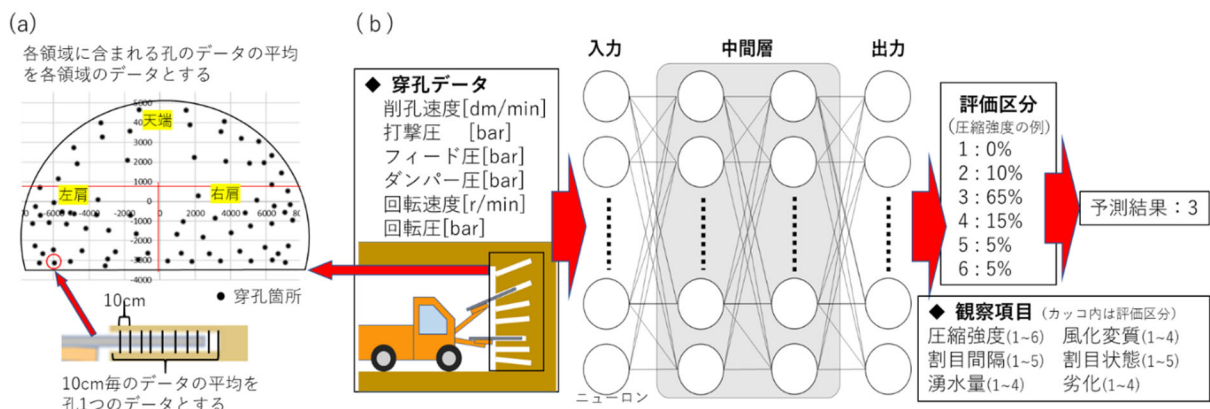


図 ニューラルネットワークによる切羽評価

タイトル	AI を活用したトンネル切羽の地山判定システム
目的	『AI 切羽評価システム』の施工現場への適用
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	専用のタブレットアプリで撮影された切羽写真から切羽性状を自動評価する AI 活用技術
使用データ説明	割れ目に関する評価項目の判定精度向上を目的として、「VIS (Visual illusion based-Image feature enhancement System, 錯視誘発画像特徴強調システム)」で加工した切羽写真も教師データとして AI 学習
(学習時) 岩種区分	新第三紀の軽石質凝灰岩が分布しているものの、一部区間では相対的に硬質な流紋岩が貫入
現時点の課題	タブレットのみで切羽観察表を完成させる機能の実装が課題
学習データの取得実績	112 切羽
岩判定活用実績	国道 289 号 2 号トンネル工事
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	今後は、他現場へも適用を行い、システムの改良を継続

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

キーワード: Tunnel Face Observation, Tunnel Face Evaluation, AI

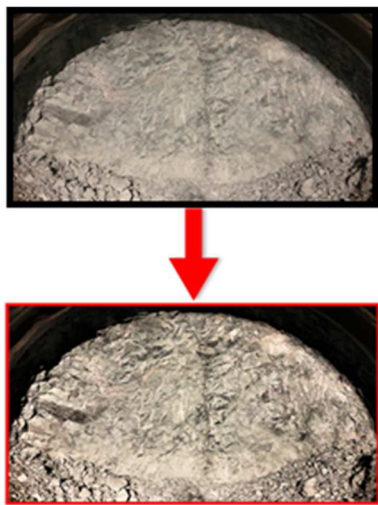


図 VIS による切羽写真の加工

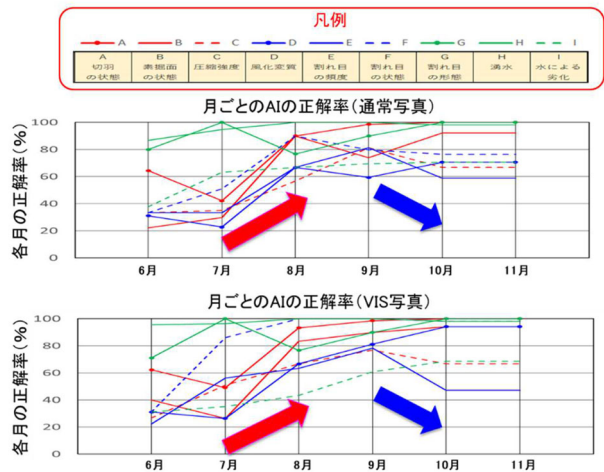


図 各評価区分の AI の正解率の推移

タイトル	トンネル切羽画像を用いたオンライン学習に基づく穿孔エネルギー推定
目的	切羽評価支援
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	画像の特徴より，穿孔エネルギーを推定する。
使用データ説明	穿孔位置周辺の切羽画像をパッチとして取得し，CNNの中間層を用いて画像を定量化する。 定量化の手法として，ResNet-50 及び Inception-v3 を採用し，比較した。 穿孔速度等によりノイズを処理し，オンライン学習に用いて推定対象のトンネルのデータを逐次的に学習しながら穿孔エネルギーを推定する。
(学習時) 岩種区分	花崗岩
現時点の課題	トンネル軸方向の穿孔データのみを有効データとして利用しており，割れ目等の評価にはその他の角度の穿孔データなどが重要となる。
学習データの取得実績	81 枚のトンネル切羽画像 562 孔分の穿孔データ
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input checked="" type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとりえ方	切羽画像と穿孔エネルギーの関連性を学習させ，詳細な地質の定量評価を期待。
今後の展望 (期待)	穿孔エネルギーを画像を基に推定するため，その他の評価項目と連携することで圧縮強度等のデータの確認に利用できる。

工事適用例，デモンストレーション事例，キーワード等

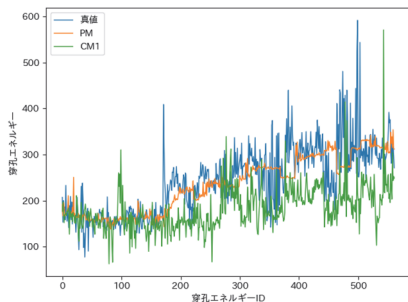


図 穿孔エネルギー推定結果 (ResNet-50)

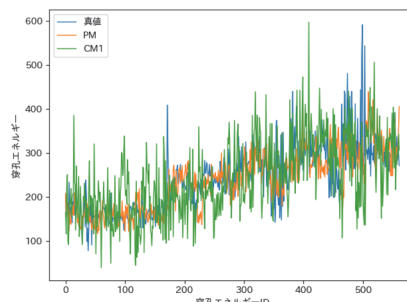


図 穿孔エネルギー推定結果 (Inception-v3)

タイトル	画像解析技術を用いたトンネル切羽の落石監視システムの開発
目的	面的に落石を検出する落石監視システムの開発
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	AIによる切羽画像の切り出し(粉塵, 映像のノイズ除去等) セマンティクスセグメンテーション手法 (BiSeNet V2) によって, 画像における切羽のみを抽出する.
使用データ説明	Labelme を利用して, 手動のラベル付けを実施 ※同一切羽を対象とした 345 フレーム
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	フレームレートがリアルタイム計測の処理以下の環境である.
学習データの取得実績	・切羽画像 277 枚 ・Data Augmentation 後, 3,601 枚
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとらえ方	・目視では落石の確認が困難である. ・AI により, 小規模な落石を検出でき, 肌落ち災害の発生リスクの軽減の可能性を示した.
今後の展望 (期待)	さらなる実トンネルでの運用実績を積み重ね, システムの改良を重ねることで解析精度の向上に努める.

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

キーワード: tunnel face, monitoring, rockfall, image processing, background subtraction

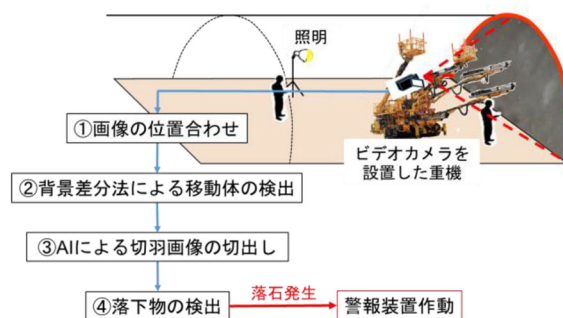


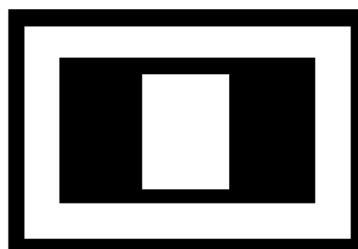
図 システムの概要

タイトル	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―
目的	①AIを活用したトンネル切羽の地質評価の支援 ②AIによる肌落ち予測の支援
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他（ ）
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他（ ）
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他（ ）
AIモデルの概要	①切羽画像の撮影の最適化⇒既往・新規切羽画像の機械学習試行⇒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 ②既往・新規切羽画像の有効活用と機械学習の試行⇒AIによる肌落ち予測支援システムのプロトタイプ
使用データ説明	①施工済9現場の切羽画像 ・切羽画像から地質区分，風化区分，割れ目の頻度 から点数化 ②地質技術者が切羽画像から肌落ち危険箇所と安全箇所の両教師データを作成 ⇒危険箇所：トンネル外周部，岩塊の抜落ち跡，風化変色部，割れ目に沿った切羽の凹凸等 9パターンの教師データ作成
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	・正答率の更なる向上 ・評価対象項目の追加
学習データの取得実績	施工済9現場
岩判定活用実績	試行的に実施
AIの可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AIが問題を生じさせた時の判断	①現場技術者が現場で切羽観察しながらAI出力結果を参考に切羽判定表を作成。 ②教師データの評価を専門技術者が評価し，その結果を再学習。
AIによる技術伝承のとらえ方	・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，多くが熟練者や経験豊富な専門技術者の経験や勘に頼ってきた。 ・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。
今後の展望 (期待)	・引続き研究開発を繰り返し，汎用性の高いものを構築する。
工事適用例，デモンストレーション事例，キーワード等	
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	

タイトル	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 一切羽の画像撮影方法の最適化についてー
目的	・切羽写真撮影要領（案）に従い撮影を行い、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.
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他（ ）
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他（ ）
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他（ ）
AIモデルの概要	・切羽写真撮影要領（案）に従い現場で撮影。 ・照度：70～150 Lx（色見本配置） ・撮影モード：Auto（撮影モード：1200万画素以上、三脚使用）
使用データ説明	・切羽写真（切羽全体が収まる位置で、トンネル中心と左右1mから切羽を撮影）
(学習時) 岩種区分	記載無し (※例えば、どのような岩種区分には適用性が期待されるか等（本文削除）)
現時点の課題	・人工物が移っている画像 (但し、既往の研究により、画像を領域分割し、物体検出することで切羽画像を特定し、機械学習に用いることができることを確認済)
学習データの取得実績	記載無し
岩判定活用実績	記載無し
AIの可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AIが問題を生じさせた時の判断	記載無し
AIによる技術伝承のとらえ方	画像のコントラストや色調変化、切羽鏡面に焦点が合っていない、手振れによる不鮮明な画像、画像の画素数が小さく機械学習に不適、人工物が入っている 等
今後の展望 (期待)	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を示した



工事適用例、デモンストレーション事例、キーワード等

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



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 色見本 色見本（白黒の例）

タイトル	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—																								
目的	撮影環境による色あいの変化を補正する																								
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト																								
工程区分	<input checked="" type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()																								
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()																								
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()																								
AI モデルの概要	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。																								
使用データ説明	切羽写真 (色見本とともに撮影)																								
(学習時) 岩種区分	記載無し																								
現時点の課題	・色補正に対し、影の重なりを避けて撮影することが望ましい。 ・照明が色見本に強く反射し、黒部の画素をえられず色見本検出に失敗。 ⇒黒部分をマスキングすることで、照明による影響低減が期待できる。																								
学習データの取得実績	記載無し																								
岩判定活用実績	記載無し																								
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他																								
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し																								
AI による技術伝承のとらえ方	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。 ⇒色あい不統一な場合、色あいを基準とした分析は現場毎に閾値の変更を要する。																								
今後の展望 (期待)	偏りを抑えた画像を活用し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活用に関わり付け、山岳トンネルの切羽観察・評価品質を向上。																								
工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等																									
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																									
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <table border="1" style="margin: 0 auto;"> <thead> <tr> <th>色</th> <th>Red</th> <th>Blue</th> <th>Green</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>黒</td> <td>75</td> <td>66</td> <td>67</td> </tr> <tr> <td>白</td> <td>242</td> <td>242</td> <td>242</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="text-align: center;">  <table border="1" style="margin: 0 auto;"> <thead> <tr> <th>色</th> <th>Red</th> <th>Blue</th> <th>Green</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>黒</td> <td>67</td> <td>66</td> <td>67</td> </tr> <tr> <td>白</td> <td>255</td> <td>255</td> <td>255</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div> <p style="text-align: center;">写真 補正前 (左) と補正後 (右)</p>		色	Red	Blue	Green	黒	75	66	67	白	242	242	242	色	Red	Blue	Green	黒	67	66	67	白	255	255	255
色	Red	Blue	Green																						
黒	75	66	67																						
白	242	242	242																						
色	Red	Blue	Green																						
黒	67	66	67																						
白	255	255	255																						

タイトル	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ー 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ー
目的	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．
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他（ ）
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他（ ）
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他（ ）
AI モデルの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・地質区分の評価：IIC (Invariant Information Clustering) を使用． ・割れ目の頻度の評価：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関させる線形回帰による手法を使用． ・風化変質の評価：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． ⇒いずれも地質専門家の解析結果が最適となるようにパラメータ推定実施．
使用データ説明	割れ目の頻度については，実測画像 19 枚使用．
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・岩種などの地質境界については，まだ問題がある． ・画像品質のばらつきの影響を大きく受ける． ・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見本や色補正が重要．
学習データの取得実績	記載無し
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	地質技術者による判定と照合することで，精度向上を図っている．
AI による技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	<ul style="list-style-type: none"> ・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． ・他の地質評価区分についても検討進める．
工事適用例，デモンストレーション事例，キーワード等	
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	

タイトル	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 ー切羽画像から肌落ち予測の教師データについてー
目的	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.
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input checked="" type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	・ AIモデルは活用していない.
使用データ説明	・ 肌落ち予測に 78 枚の切羽写真を使用 (剥落の発生した 35 切羽も含む). ・ 切羽写真を評価する 2 人の地質技術者は, 実際の切羽観察も, 肌落ちの情報も得ていない.
(学習時) 岩種区分	・ 上記 78 枚のうち, 剥落発生切羽の内訳 CI : 6 切羽, CII18 切羽, DI以上 11 切羽.
現時点の課題	・ 技術者の予測の確度にバラツキがあるものの安全側に予測している. ・ 技術者の肌落ち予測箇所と実際の箇所のパターンは類似する. ・ 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.
学習データの取得実績	・ 切羽写真 78 枚 ※鏡吹き後の剥落が発生した 35 切羽 56 箇所の切羽写真を含む. ・ 地質技術者 2 人の, 切羽写真のみを用いた肌落ち位置予測結果.
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	・ 切羽写真から肌落ち箇所を予測することは, 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った.
工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等	
キーワード: AI、トンネル、肌落ち、切羽観察写真	

タイトル	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—
目的	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予測システム（プロトタイプ）の概要報告。
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input checked="" type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他（ ）
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他（ ）
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他（ ）
AI モデルの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・深層学習の手法としては画像分類手法を使用。 ・ネットワークとしては ResNet50(Residual Network-50)※を使用。 ※画像分類分野で高い実績を誇る 50 層の畳み込み NN であり、Residual learning を実装することで効果的に学習が進む。 ・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。
使用データ説明	<ul style="list-style-type: none"> ・専門家による肌落ちの判定を行った切羽画像データを使用。 ・各切羽画像データについて、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。 ・使用した切羽画像数は 792 枚 (うち肌落ち箇所は計 3,761 箇所)。 ・評価用データは切羽画像 792 枚のうち学習用 672 枚、テスト用 120 枚。
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	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 (学習や推論の環境は構築済み)。
学習データの取得実績	切羽画像 672 枚
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	<ul style="list-style-type: none"> ・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して活用することを考えている。 ・さらにデータを増やして精度を向上する。 ・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。
工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等	
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	

タイトル	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ー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ー
目的	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、『使用データ説明』に記載した肌落ち災害事例に関する情報を統合し、整理・分析。
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input checked="" type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他（ ）
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他（ ）
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他（ ）
AI モデルの概要	記載無し
使用データ説明	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2011 年までの吉川ら の収集データ. ・ 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. ・ HP 公開文献による肌落ち災害事例. ・ 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.
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 肌落ち災害は、実際の作業ではなく、装薬中、コソク中、切羽観察中やずり出し後、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. ・ 死亡に至る肌落ち災害ほど高いところからの落石により災害が発生. ・ 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. ・ 切羽観察項目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の報告あり. ・ 災害事例要因として地山状況や地質情報が全作業員に共有化されていなかった事例あり.
学習データの取得実績	記載無し
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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. ・ 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. ・ 肌落ち評価に際しては、湧水の程度の評価も必要. ・ 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. ・ 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.
工事適用例、デモンストレーション事例、キーワード等	
キーワード：山岳トンネル、肌落ち、AI 技術	

タイトル	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
目的	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における、音声認識の利用の可能性について説明する。
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input checked="" type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	記載無し
使用データ説明	<ul style="list-style-type: none"> ・人間の可聴域外の音声も含めた分析を対象とする。 ・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。 ・山岳トンネル掘削機の打突時の時間(横軸)と周波数(縦軸：Hz)毎の音圧との関係。 ・打突の瞬間における周波数(横軸：Hz)と音圧(縦軸：dB)との関係。
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	記載無し
学習データの取得実績	記載無し
岩判定活用実績	記載無し
AIの可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AIが問題を生じさせた時の判断	記載無し
AIによる技術伝承のとらえ方	従来から知られていた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技術を、音声認識AIで代替する、という考え。
今後の展望(期待)	<ul style="list-style-type: none"> ・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判明した。 ・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。

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

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

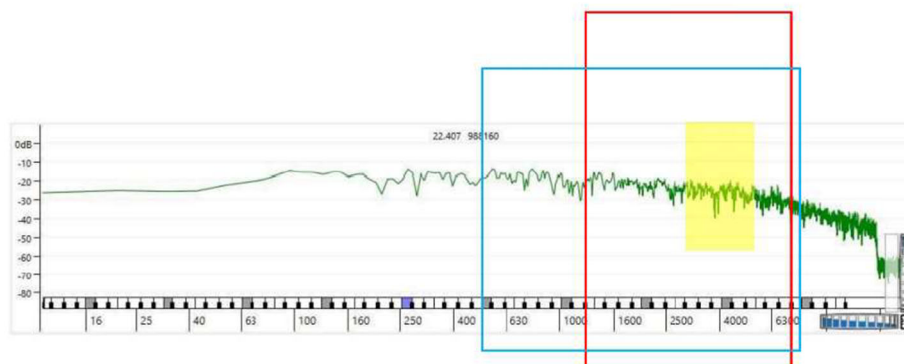


図 打音の瞬間における周波数(横軸：Hz)と音圧(縦軸：dB)との関係

タイトル	トンネル変状原因推定 AIの構築
目的	熟練技術者の経験や過去の判断事例等に基づき実施されてきた目視判定に変わり、「変形モード解析結果」と点検時の「変状展開図」からトンネル内で生じている外力性の変状箇所を自動的に抽出（推定）するAIを構築.
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input type="checkbox"/> 施工 <input checked="" type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他（ ）
効果区分 (複数選択可)	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他（ ）
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他（ ）
AIモデルの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネルの変状原因推定 AI の構築. ・畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用い、メッシュ分割した画像をスライディング法で判定. ・学習に際しては、エポック数は設定せず、学習が十分収束したと考えられる状況まで実施. ・上記で構築したモデルを実行するためPython で動作する簡易なプログラムを実行.
使用データ説明	実際に外力性判定を実施した 4 トンネル・45 スパン分の変形モード解析結果画像と変状展開図との重ね合わせ画像を作成し、メッシュ分割した画像.
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	・変形モード解析を用いた外力性評価の事例は多くなく、今後、今回構築したモデルでは対応できないケースが発生することも想定される.
学習データの取得実績	<ul style="list-style-type: none"> ・分割画像のうち変状を含むメッシュ画像を抽出し、それぞれに「外力性」、「それ以外」の分類ラベルおよび発生位置情報を付与することで学習用データを生成. ・今回準備したデータだけでは CNN 用学習データとして不十分と考え、さらにデータオーグメンテーション（水平反転、垂直反転、変形モード解析結果の前後 1 階調ずらし）を行い元データの 12 倍まで学習用データを水増し.
岩判定活用実績	記載なし
AIの可能性	<input checked="" type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AIが問題を生じさせた時の判断	記載無し
AIによる技術伝承のとらえ方	・経験豊富なトンネル技術者が、トンネルの変状区分の推定のために過去の事例等を参考にしながら判定するための『目視確認』を、深層学習を用いることで自動化可能であるとの仮説を立て、実際にトンネルの変状原因推定 AI を構築してみた.
今後の展望 (期待)	<ul style="list-style-type: none"> ・今回構築したトンネルの変状原因推定 AI について、現在保有しているデータ内では十分な精度が得られた（正答率91%）. ・トンネル技術者からも、今回の検証で得られた結果が得られるのであれば、十分外力性診断業務で活用できるとの評価を得ている. ・今後も継続的に学習データの追加・再学習を行い、汎化性能向上を図る必要がある.
工事適用例、デモンストレーション事例、キーワード等	
キーワード：畳み込みニューラルネットワーク (CNN)、変状原因推定、変形モード解析	

タイトル	トンネル点検の効率化に向けた AI技術等の活用
目的	トンネル点検の一連の流れを効率化させる手法を開発するために、技術開発および業務で運用している「AI 打検システム」「ひび割れ自動検出技術」を活用して、実証実験を行う。
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input type="checkbox"/> 施工 <input checked="" type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他（ ）
効果区分 (複数選択可)	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他（ ）
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他（ ）
AI モデルの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・接近点検代替手法の考え方. ・打音検査における損傷の判断時間に AI 打検システムを活用. ・AI 打検システムでは、異常度マップの自動生成機能を活用. ・ひび割れ自動検出技術では、AI でひび割れを検出後、その判定結果を図面に書き起こすことができる技術を活用.
使用データ説明	<ul style="list-style-type: none"> ・開削トンネルのひびわれ調査データ ・トンネル躯体側壁部(AI 打検システム) ・トンネル躯体天井部(ひび割れ自動検出技術)
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・AI 打検システム：実際の点検員による作業時間と比較した結果、約3倍の作業時間が必要. ・ひび割れ自動検出システム：カメラから撮影箇所までの距離を正確に測定するのに多くの時間を要した.
学習データの取得実績	<ul style="list-style-type: none"> ・分割画像のうち変状を含むメッシュ画像を抽出し、それぞれに「外力性」、「それ以外」の分類ラベルおよび発生位置情報を付与することで学習用データを生成. ・今回準備したデータだけではCNN用学習データとして不十分と考え、さらにデータオーグメンテーション(水平反転, 垂直反転, 変形モード解析結果の前後1階調ずらし)を行い元データの12倍まで学習用データを水増し.
岩判定活用実績	記載無し
AIの可能性	<input checked="" type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AIが問題を生じさせた時の判断	記載無し
AIによる技術伝承のとらえ方	<ul style="list-style-type: none"> ・経験豊富なトンネル技術者が、トンネルの変状区分の推定のために過去の事例等を参考にしながら判定するための『目視確認』を、深層学習を用いることで自動化可能であるとの仮説を立て、実際にトンネルの変状原因推定 AI を構築してみた. ・構造物の老朽化や労働力人口の減少が進む中で、作業効率化のための AI 技術の開発および活用に積極的に取り組みたい.
今後の展望 (期待)	<ul style="list-style-type: none"> ・AI 打検システム：報告書作成約10分、ひび割れ自動検出システム：約60分に対し、点検員による報告書作成は約4時間。これらの技術の活用で報告書作成時間は短縮可能.
工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等	
キーワード：トンネル, コンクリート構造物, 点検, AI	

タイトル	シールド発進立坑における動体認識 AI を用いた危険作業の検出
目的	トンネル点検の一連の流れを効率化させる手法を開発するために、技術開発および業務で運用している「AI 打検システム」「ひび割れ自動検出技術」を活用して、実証実験を行う。
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他（ ）
効果区分 (複数選択可)	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他（ ）
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他（ ）
AI モデルの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・ AI はリアルタイムで動体認識が可能なアルゴリズム「YOLO v5」を使用。 ・ 「作業員」「ヘルメット」「セグメント」「配管材」「バッテリー機関車」「台車」の識別。 ・ 動体認識 AI で検出した対象物の位置・速度・移動方向の情報から危険作業の検出を検討。 判断基準：バッテリー機関車が一定速度以上で移動する場合に危険作業と判断。 バッテリー機関車、作業員、吊荷が演算で衝突予測された場合危険と判断。
使用データ説明	<ul style="list-style-type: none"> ・ シールド発進立坑に設置した定点カメラの映像（昇降階段の高さ 5.5m 地点に設置）。 ・ HD 画質(1280px×720px)、30fps で撮影。
(学習時) 岩種区分	記載無し
現時点の課題	一部危険作業の検出が途切れることがあり、原因として照明の影響で対象物を検出できないことなどが考えられる。
学習データの取得実績	教師データとしては、定点カメラで撮影した映像内から合計 1757 枚の静止画を使用。
岩判定活用実績	記載無し
AI の可能性	<input checked="" type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとらえ方	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建設業界では少子高齢化による労働人口や熟練工の減少等から生産性・安全性向上を目指して様々な技術が開発されている。 ・ AI を活用することでシールド立坑での危険作業の検出と入坑管理の自動化が可能。
今後の展望 (期待)	<ul style="list-style-type: none"> ・ AI による対象物の検出精度は概ね 90%以上。 ・ AIを用いた危険作業の検出方法は、目視で判断した危険作業をすべて検出できた。 ・ 現場の映像を用いた検証では、シールドトンネル内に入坑している作業員数をすべて管理できることを確認した。 ・ 検出精度を高め、作業員に警報を発するシステムの開発を行う計画である。 ・ 入坑管理 については、ヘルメットに標識を着けるなどして作業員の個体識別を可能とするよう検討していく予定である。
工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等	
キーワード：施工管理, AI, 動体認識, 危険作業の検出, 作業・管理の効率化・省力化	

タイトル	山岳トンネルにおける切羽画像 AI 診断に関する検討
目的	切羽観察支援
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	ResNet (畳み込みネットワーク深さ 50)
使用データ説明	切羽画像 224×224 ピクセル
(学習時) 岩 種区分	記載なし
現時点の課題	高い正答率を期待した風化変質状態の正答率が、撮影条件によってばらつきがでてしまうこと.
学習データの取得 実績	機械 A 現場 (機械掘削方式) : 学習 25, 診断 39 発破 B 現場 (発破掘削方式) : 学習 33, 診断 22
岩判定活用実績	2 現場
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承の とらえ方	記載無し
今後の展望 (期待)	学習に用いる写真枚数を増加させること 写真撮影の条件を極力そろえること

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

キーワード: 山岳トンネル, 切羽画像診断, Artificial Intelligence

表 AI 正答率 (A 現場)

観察項目	AI 正答率	F 値
切羽の状態		
素掘り面の状態		
圧縮強度	45%	31%
風化変質	91%	48%
割れ目の頻度	91%	48%
割れ目の状態	51%	23%
割れ目の形態		
湧水	71%	28%
水による劣化	9%	5%
走向傾斜 (直角)	44%	19%
走向傾斜 (平行)	58%	49%

表 AI 正答率 (B 現場)

観察項目	AI 正答率	F 値
切羽の状態	65%	64%
素掘り面の状態	100%	100%
圧縮強度	89%	85%
風化変質	48%	35%
割れ目の頻度	46%	34%
割れ目の状態	67%	40%
割れ目の形態	73%	43%
湧水	57%	32%
水による劣化	98%	50%
走向傾斜 (直角)	100%	100%
走向傾斜 (平行)	29%	21%

※A 現場では一部の項目 (斜線部) が診断されていない。

タイトル	人工知能 (AI) を用いた切羽評価支援システムの開発
目的	切羽観察支援 対象項目：風化変質，割れ目間隔，割れ目状態（写真から判断しやすいと考えられる項目を抽出）
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他（ ）
効果区分 (複数選択可)	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他（ ）
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他（ ）
AI モデルの概要	VGG16（畳み込みニューラルネットワーク，オックスフォード大学）
使用データ説明	切羽写真(JPEG)，切羽評価点 CSV ファイル
(学習時) 岩種区分	記載なし
現時点の課題	精度向上
学習データの取得実績	高松自動車道大坂トンネル（H28.10 竣工） 新名神高速道路宇治田原トンネル東工事
岩判定活用実績	大坂トンネルにおいて 84%の正答率
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載なし
AI による技術伝承のとらえ方	記載なし
今後の展望 (期待)	コンピュータジャンボによる削孔エネルギー計測システムとの連携

工事適用例，デモンストレーション事例，キーワード等

キーワード：NATM，AI，切羽観察，切羽評価

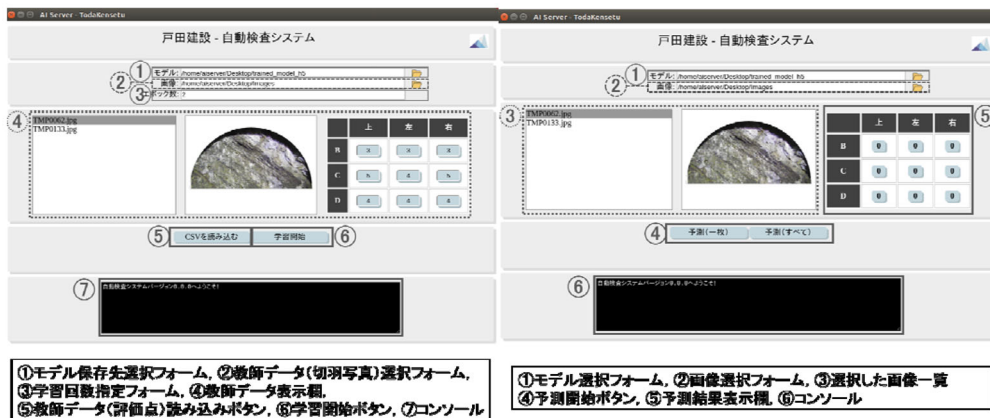
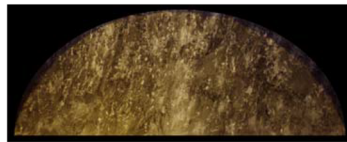
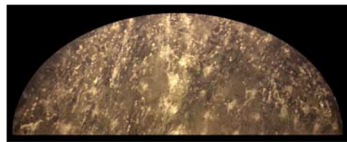
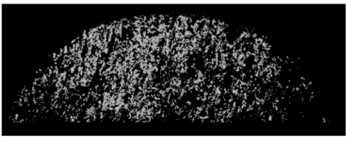
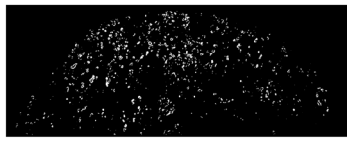


図 学習システムの操作画像

図 判定システムの操作画面

タイトル	切羽写真の画像解析による割れ目間隔の定量評価技術	
目的	切羽観察支援（定量評価） 対象項目： 割れ目間隔	
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト	
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他（ ）	
効果区分 （複数選択可）	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他（ ）	
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他（ ）	
AI モデルの概要	自社開発の画像解析による割れ目評価技術	
使用データ説明	20×20 ピクセル～100×100 ピクセルの画像	
（学習時） 岩種区分	緑色岩優勢層	
現時点の課題	精度向上	
学習データの取得実績	記載なし	
岩判定活用実績	記載なし	
AI の可能性	<input checked="" type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他	
AI が問題を生じさせた時の判断	記載なし	
AI による技術伝承のとらえ方	記載なし	
今後の展望（期待）	記載なし	
工事適用例，デモンストレーション事例，キーワード等		
キーワード：切羽評価，割れ目間隔，施工の合理化		
表 割れ目間隔の異なる切羽間での解析結果の比較		
	割れ目間隔の小さい切羽	割れ目間隔の大きい切羽
目視判定	割れ目間隔：5～20cm	割れ目間隔：1m 以上
切羽写真		
割目抽出画像		

タイトル	山岳トンネルの切羽評価における AI 適用手法の開発
目的	切羽観察支援（定量評価）
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他（ ）
効果区分 (複数選択可)	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他（ ）
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他（ ）
AI モデルの概要	深層学習および機械学習：Apple CoreML フレームワーク 切羽画像と DEM 画像からの特徴量抽出：Apple CoreML Image Classifier(CNN による転移学習)
使用データ説明	切羽画像 切羽三次元画像（DEM 画像） 切羽穿孔エネルギー
(学習時) 岩種区分	泥岩が分布するトンネル現場（DI 地山）
現時点の課題	記載なし
学習データの取得実績	記載なし
岩判定活用実績	記載なし
AI の可能性	<input checked="" type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載なし
AI による技術伝承のとらえ方	記載なし
今後の展望 (期待)	多様な岩種の地山に対する学習と評価

工事適用例，デモンストレーション事例，キーワード等

キーワード：切羽評価，AI，深層学習，機械学習，勾配ブースティング決定木，Apple CoreML

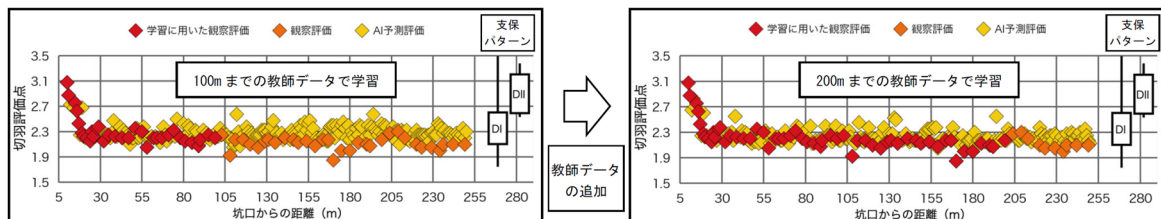


図 教師データ数を変えた場合の切羽評価点比較

タイトル	山岳トンネルにおける AI を活用した切羽評価システムの開発
目的	切羽観察支援
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	記載なし
使用データ説明	切羽前方探査による岩盤強度 「VIS」で加工した切羽写真(エンボス処理等を応用した画像処理システム、画像を鮮鋭化)
(学習時) 岩種区分	記載なし
現時点の課題	記載なし
学習データの取得実績	記載なし
岩判定活用実績	記載なし
AI の可能性	<input checked="" type="checkbox"/> そのまま利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載なし
AI による技術伝承のとらえ方	記載なし
今後の展望(期待)	切羽観察の評価項目ごとに判定精度を検証していくこと 少人化, 自動化施工の実現を目指す

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

キーワード: AI, 人工知能, 山岳トンネル, 切羽評価, 切羽観察簿

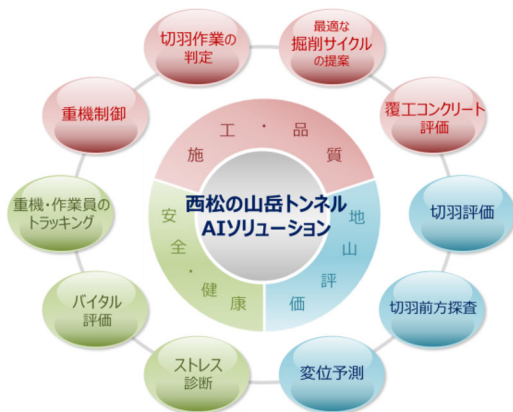


図 山岳トンネル AI ソリューションの構想

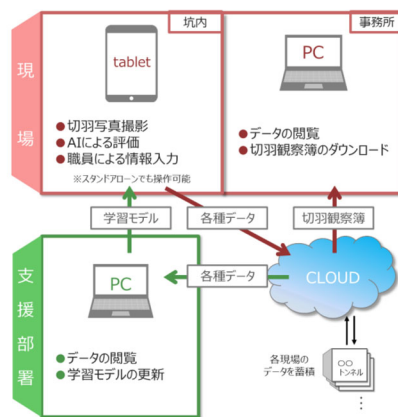


図 システム構成

タイトル	人工知能を用いた切羽評価に影響をおよぼす岩盤の特徴分析
目的	人工知能 (AI) を利用して、山岳トンネル切羽の岩盤状態と挙動を評価し、地山等級と支保等級選定に資する。
ハード or ソフト	<input checked="" type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input checked="" type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input checked="" type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 実用化 <input checked="" type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	AlexNet
使用データ説明	6 現場 70 切羽画像と評価を教師データにし、教師あり学習を採用
(学習時) 岩種区分	花崗岩, 流紋岩, 砂岩, 粘板岩, 泥岩, 頁岩, 凝灰岩, 凝灰角礫岩
現時点の課題	正解率が 100%ではないので、当面は評価の支援の位置付けで使用する。
学習データの取得実績	6 現場 70 切羽画像・地山評価を ver.1 学習データを構築 (約 3000 データ) 現場から切羽観察記録の入手し、追加学習データを構築中 (約 4200 データ)
岩判定活用実績	近畿地整_冠山峠トンネルで活用実績あり。ただし、発注者・施工者の岩判定が基本であり、AI は参考値の位置付け。
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	解析結果を基に協議
AI による技術伝承のとらえ方	教師データは、岩盤力学と地質学専門家によって確認しているため、解析結果は現場技術者の OJT 的利用方法の側面もある。ただし、教師データに組み込んでいない岩種があるため、現状では参考となる。
今後の展望 (期待)	2019.4 から当社全トンネル現場に公開し、適用中。現行モデルの適用性や正解率を精査するとともに、教師データを増強する予定。

工事適用例, デモンストレーション事例

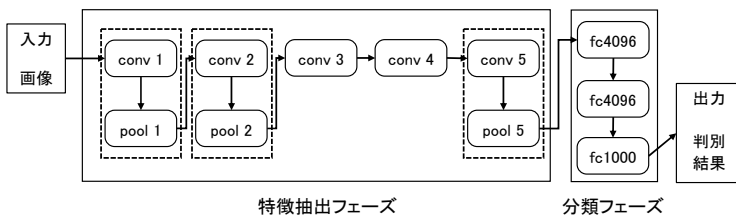


図 AlexNet の DNN 層構造 (アルゴリズム)

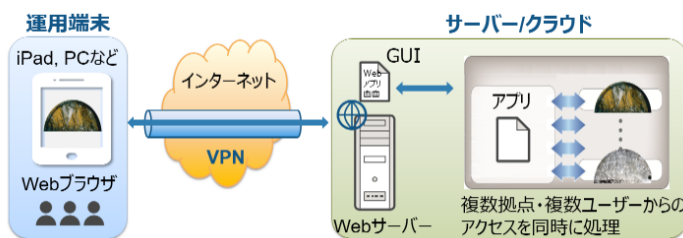


図 クラウドシステム

- [凡例]
 1: 概ね新鮮
 2: 割目沿いの風化変質
 3: 岩芯までの風化変質
 4: 土砂状風化、未固結土砂

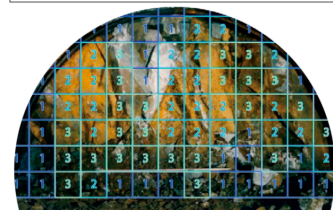


図 解析ヒートマップ例 (風化変質)

タイトル	トンネル切羽観察（風化変質）のAI（自己組織化マップ：SOM）による自動評価の試み
目的	切羽評価支援（風化変質）
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他（ ）
効果区分 （複数選択可）	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input checked="" type="checkbox"/> 精度向上 <input type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他（ ）
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他（ ）
AIモデルの概要	自己組織化マップ（SOM）を用いて切羽観察を行う。
使用データ説明	自己組織化マップ（SOM） 学習用画像 115 枚 正解率 71.5～72.5%
（学習時） 岩種区分	砂岩泥岩互層
現時点の課題	現在の対象が風化変質のみである。
学習データの取得実績	1 トンネルにおける切羽画像（115 画像） ※ラベル付け不要
岩判定活用実績	デモデータではあり。
AIの可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AIが問題を生じさせた時の判断	記載無し
AIによる技術伝承のとらえ方	記載無し
今後の展望 （期待）	<ul style="list-style-type: none"> ラベル付けが不要なため、多くのデータが集まればより精度が上がる可能性がある。 様々な地質条件のデータによる検証を行うことで、自動化につながる。

工事適用例，デモンストレーション事例，キーワード等

キーワード：山岳トンネル，切羽観察，地山評価，風化変質，AI，自己組織化マップ

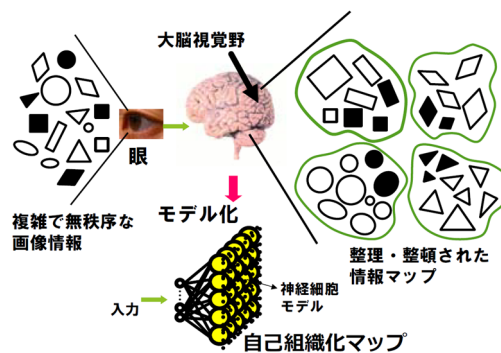


図 自己組織化マップの概念図

タイトル	AI, CIM, 画像処理技術を活用した建設現場地質情報 ICT 管理システムの構築
目的	切羽観察支援
ハード or ソフト	<input type="checkbox"/> ハード <input checked="" type="checkbox"/> ソフト
工程区分	<input type="checkbox"/> 調査 <input type="checkbox"/> 設計 <input checked="" type="checkbox"/> 施工 <input type="checkbox"/> 点検・維持管理 <input type="checkbox"/> その他 ()
効果区分 (複数選択可)	<input checked="" type="checkbox"/> 省人・省力化 <input type="checkbox"/> 経済性向上 <input type="checkbox"/> 精度向上 <input checked="" type="checkbox"/> 安全性・作業環境向上 <input type="checkbox"/> 品質向上 <input type="checkbox"/> その他 ()
現在のフェーズ	<input type="checkbox"/> 構想 <input type="checkbox"/> 企画 <input checked="" type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 実用化 <input type="checkbox"/> その他 ()
AI モデルの概要	CNN
使用データ説明	弾性波速度 (掘削発破を利用した切羽前方探査 TFT) 切羽写真
(学習時) 岩種区分	花崗岩 (CI, CII, DI)
現時点の課題	記載無し
学習データの取得実績	134 切羽, 1 切羽あたり 280 箇所の検討
岩判定活用実績	正答率 85%程度 CI, CII, DI の判定に利用
AI の可能性	<input type="checkbox"/> そのまま利用 <input checked="" type="checkbox"/> 人間が解釈して利用 <input type="checkbox"/> 人間に気づきを支援 <input type="checkbox"/> その他
AI が問題を生じさせた時の判断	記載無し
AI による技術伝承のとらえ方	従来は地質技術者が現地に赴いて実施していた地質評価を AI や画像処理技術により自動化する.
今後の展望 (期待)	システムの適用事例を増やす事 多種の岩盤における精度の検証を図っていく事

工事適用例, デモンストレーション事例, キーワード等

キーワード: i-Construction, 施工管理, 地質評価定量化・自動化

表 AI 自動評価判定結果一覧

画素サイズ	画像フォーマット	分類数	認識率
32x32 (0.5 m 枠)	RGB	3分類	84.6%
		10分類	41.0%
		トレーニング画像10分類	77.6%
64x64 (1.0 m 枠)	RGB	3分類	86.7%
		10分類	56.5%
		トレーニング画像10分類	99.1%
128x128 (2.0 m 枠)	RGB	3分類	85.8%
		10分類	61.0%
		トレーニング画像10分類	97.0%
64x64 (1.0 m 枠)	Gray	3分類	76.30%
		10分類	41.50%
		トレーニング画像10分類	95.9%