

PRESS RELEASE / 技術説明資料

熟練工の「五感」を併せる 山岳トンネル切羽AI判定システム

MZ切羽AI判定

Multimodal Zero-shot AI

写真・3次元・削孔データに加え、熟練工の「オノマトペ（感覚情報）」を統合。

人とAIのハイブリッド評価（ヒューマン・イン・ザ・ループ）で、現場判断を「より早く・より正確に・より安全に」

株式会社熊谷組 土木事業本部 土木技術統括部 トンネル技術部・地質技術部

「MZ切羽AI判定」とは

事前に大量の教師データを覚えさせる必要がない「ゼロショットAI判定」を基盤に、複数の情報を合わせて切羽の地山を評価するシステムです。写真・3次元モデル・削孔データといった数値の情報に加え、これまで数値にできなかった熟練作業員の感覚（オノマトペ）までを取り込み、AIと技術者が協働して評価する点が最大の特長です。

1 切羽写真

目に見える割れ目・
風化・湧水の様子

2 3次元モデル

切羽の凹凸や形状
(3DGS)

3 削孔データ

ドリルの進み方から
岩の“奥”を推定

4 オノマトペ

作業員が感じ取った
手ごたえと音

統合・解析

AI（大規模言語モデル）× 技術者の協働評価 → 経験によらない、客観的で高精度な地山評価

国が推進する「i-Construction 2.0（施工のオートメーション化）」やインフラDXが目指す方向に沿い、「労働力不足の解消」と「肌落ち（崩落）事故ゼロ」に貢献します。

切羽の評価は、その先の工事すべてを決める

「岩が硬いか、もろいか」という見立てが、支保の重さも、1回に掘り進める長さも、その先の工事のすべてを決めてしまいます。

● 硬いと判断すれば

支保を軽くし、1回に掘る長さを伸ばして、速く進めることができる。

● もろいと判断すれば

支保を強固にしなければ、切羽は崩れてしまう。

つまり、評価を誤ればー

判断を軽く見れば

危険が増える。

必要以上に手厚くすれば

材料も時間も、余計にかかる。

だからこそ、切羽の評価は正確でなければなりません。

ところが、その判断は難しい

1

見た目だけでは 決まらない

表面は同じように見えても、その奥が硬い
こともあれば、割れ目が走っていることも
あります。

2

使える時間が 短い

切羽の前は落石の危険がある場所で、長く
とどまることができません。掘削サイクル
も待つてはくれません。

3

「正解」が熟練技術者の 頭の中にある

岩肌の質感、ハンマーで叩いたときの返り、
湧水の出方。言葉になっていない多くの手が
かりを、同時に使って判断しています。

その結果 担当者が変われば評価が変わり、その技術を次の世代へ引き継ぐことも簡単ではありません。

では、なぜこれまでAIに任せられなかったのか

理由① 従来の切羽AIは「写真を覚える」方式だった

- 「この写真はこの評価」という正解付きの写真を、その地質について何百枚も覚えさせて（教師データの事前学習）、はじめて使えるようになる方式です。
- ところが地質は現場ごとに、ときには同じトンネルの中でも大きく異なります。A現場で覚えたAIは、地質のちがうB現場ではあてになりません。
- 新しい現場へ持っていくには、その現場の写真を集め、専門家が何百枚も採点し直す必要がある — これが横展開の壁でした。

理由② 最前線の情報が、AIに渡せなかった

- 切羽で最も多くの情報に触れているのは、実は削岩機のオペレーターや切羽監視員です。
- ドリルを通して岩の手ごたえを感じ、音の変化を聞き分けています。切羽のいちばん近くにいる人だからこそ得られる情報です。
- しかしその情報は数値になっていないため、これまでAIに渡す手段がありませんでした。

この2つの壁を、生成AI（大規模言語モデル）を判定の中核に据えることで越えました。

2つの壁を、生成AIで越える

壁① 事前学習が要る

写真を覚えさせる代わりに、「基準」を言葉で教える

生成AIは、あらかじめ膨大な文章と画像から一般的な知識を身につけています。そこへ切羽観察の判定基準と、当社の地質技術者のノウハウを言葉で与えることで、初めて見る切羽でも評価ができます。

- ▶ 新人技術者に基準書を渡し、先輩のコツを教えただけで現場に立たせるのと同じ考え方です。地質のちがう新しい現場へも、そのまま持っていけます（＝ゼロショット）。

壁② 感覚情報が渡せない

言葉を扱えるAIだから、言葉のまま受け取れる

生成AIは言葉を理解するAIです。だから数値データだけでなく、作業員が思わず口にする「キーン」「グズグズ」といった表現を、そのまま入力にできます。

- ▶ 数値専用のAIでは扱えなかったこの経路が、写真には写らない岩の内部の情報をAIに届けます。

※ ゼロショット＝その現場の写真を事前に覚えさせなくても、初日から評価できること。

同じ切羽写真から、AIは何を読み取るのか — ディープラーニング（画像認識）と LLM（言語AI）の違い

同じ 1 枚の切羽写真を、
2つのAIに与える



従来の切羽AI — ディープラーニングによる画像認識

写真を、そのまま点数に対応づける

画像 → 数値の特徴量 → 分類
内部は数値ベクトルの演算のみ。
途中で「言葉」が一切介在しない（ブラックボックス）

出力
切羽評価点(重み付け) 2.2

点数だけが出てくる

できないこと

- なぜその点数なのか、根拠を言葉で説明できない
- 点数が同じでも、その内訳や判断理由が分からず検証できない
- 写真に写らない情報（硬さ・手応え・音）を取り込む「入力」の口がない
- 地質ごとに専用AIモデルを開発・学習・保守する必要がある

MZ切羽AI判定 — LLM(言語AI)による評価

① 判定基準・自社ノウハウも、写真も、熟練工のオノマトペも — すべてを「言葉」で扱う

判定基準・自社ノウハウ
もともと「言葉」で書かれている

・地山等級判定マニュアル
・当社地質技術部の切羽判定ノウハウ
→ 学習不要。そのまま組み込める

写真 → 言葉
観察項目に沿って所見を言語化

圧縮強度: 容易に碎ける
風化変質: 中～強風化、褐色に変色
割れ目の頻度: 間隔が狭い
湧水: わずか

熟練工のオノマトペ(感覚情報)

インカムで集音・自動文字起こし

「グズグズやな」

→ 軟質化／割れ目が密
擬音語・擬態語や方言を、作業を
止めず喋るだけで入力できる

② 同じ「言葉」の土俵で照合する
判定基準・写真の所見・熟練工のオノマトペの三者が「風化・軟質化」で整合 ✓

切羽評価点(重み付け) 2.2

+ 判定根拠: 「全体に風化し割れ目の間隔が狭い。熟練工が『グズグズ』と表現する手応えとも整合し、軟質化側に振れると判断。湧水はわずかだが、抜け落ちのリスクが高い」

市販の汎用生成AIをそのまま利用できる

地質ごとの専用モデルの開発・学習・保守が不要。モデルの進化がそのまま精度向上につながる

出てくる結果は同じ。違うのは、そこに至る途中に「言葉」があるかどうか。

判定マニュアルも、当社が蓄積したノウハウも、切羽の所見も、熟練工のオノマトペも、すべて言葉。だから同じ土俵で統合できる。

4つの入力と、それぞれの役割

1

切羽写真

割れ目の入り方、風化の程度、湧水の様子など、目に見える情報

2

3次元モデル

切羽の凹凸や形状。写真だけでは測れない、立体的な情報

3

削孔データ

穴をあけるときのドリルの進み方。速ければやわらかい、遅ければ硬い。写真に写らない岩の“奥”の状態を教えてくれる

4

オノマトペ

作業員が手ごたえと音から感じ取った、岩の性質

出力されるもの

切羽評価点・地山等級と、
そう判断した理由の文章。

評価点は現場で使う「切羽観察簿」の様式にそのまま対応しています。

削孔検層から生成した「切羽ヒートマップ」と組み合わせれば、切羽のどこが弱いのかを面的につかむことができます。

判断の根拠が文章で残るため、後から検証でき、若手技術者にとっては教材にもなります。

未知の地質でも、初日から高い精度で評価できる

生成AIが評価の理由を文章で示すため、判断の根拠が分かりやすく、若手技術者の支援・技術伝承にも有効です。当社の地質技術者のノウハウが組み込まれており、専門家の知見を反映した高精度な判定を実現しました。

0.816 切羽評価点の相関係数

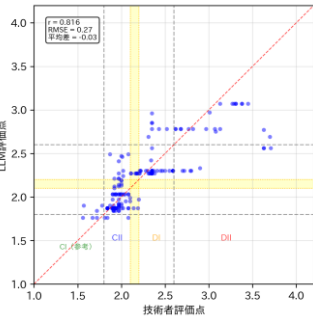
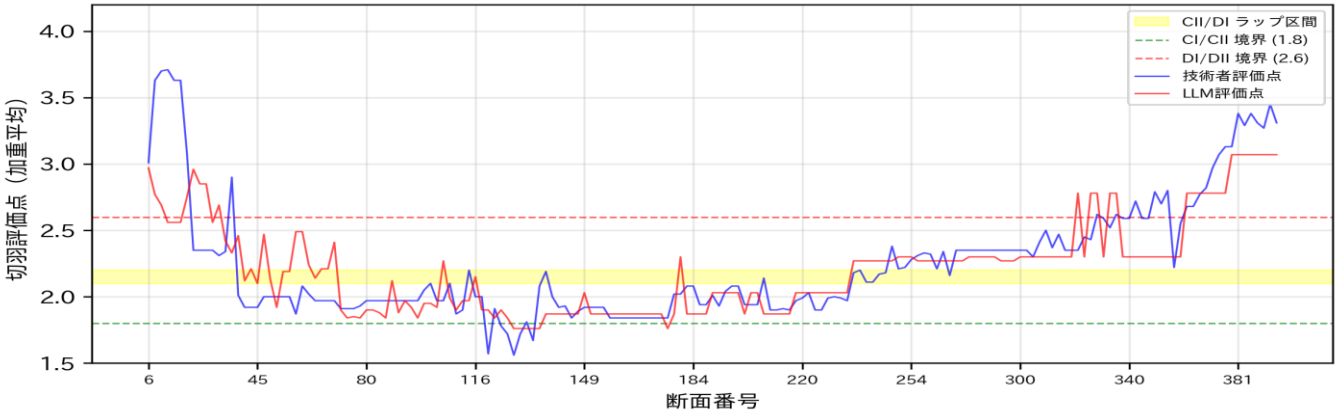
AIの点数が上がるときに、技術者の点数もほぼ同じように動く、という関係を示します。

74.0% 地山等級の一致率

技術者の評価とぴったり同じ等級になった割合です。

98.1% ±1等級以内の一致率

外れた場合も、ほとんどが隣の等級までにおさまりました。

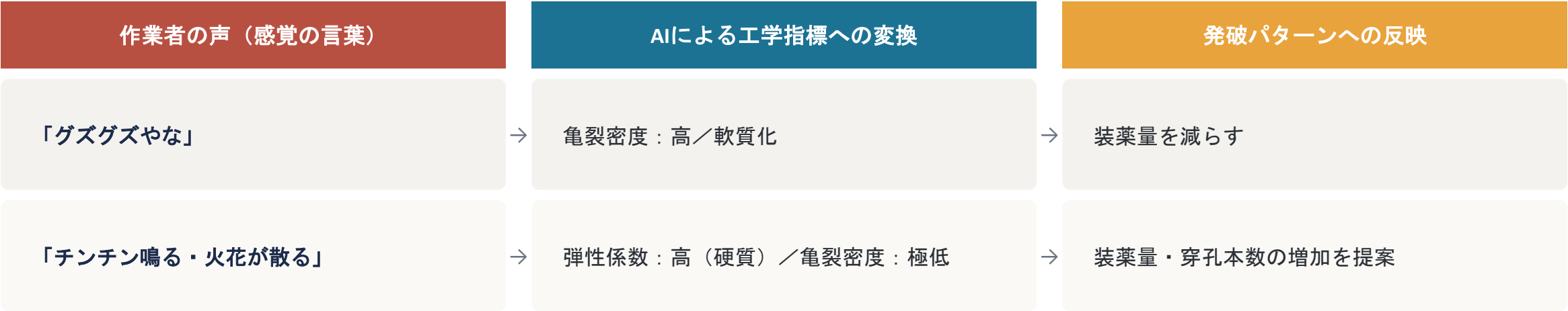


評価項目	完全一致率	±1以内率	平均差 (LLM-技術者)
(A) 切羽の状態	81.0%	99.1%	+0.04
(B) 素掘面の状態	77.4%	98.9%	-0.03
(C) 圧縮強度	63.5%	99.1%	+0.19
(D) 風化変質	75.1%	99.1%	-0.05
(E) 割れ目の頻度	60.8%	99.1%	+0.02
(F) 割れ目の状態	62.9%	98.5%	-0.19
(G) 割れ目の形態	88.5%	96.4%	+0.04
(H) 湧水	65.0%	95.9%	-0.09
(I) 水による劣化	61.4%	97.2%	-0.34
全体	70.6%	98.1%	-0.05

実トンネルでの検証結果（令和8年度土木学会年次講演会にて発表）

感覚の言葉を、AIが工学の言葉に「翻訳」する

「キーン（硬い）」「グズグズ（脆い）」「チンチン鳴る」— これらの言葉は、削岩機を通じて岩の内部から返ってくる手ごたえと音を、人が瞬時に要約したものです。方言的な表現も含めてAIが工学的な指標へ変換します（特許出願中）。



※ オノマトペを工学的指標に変換した事例
（一社）日本トンネル技術協会発行
「切羽観察担当者のための基礎知識」より

写真では捉えられない地山内部の硬さ評価に反映することで、熟練工の暗黙知を形式知にします。

表9. 1 ハンマー打診による強度の目安

一軸圧縮強度(MPa)	100 以上	100～20	20～5	5以下
打診音の目安	キンキン	カンカン	コンコン トントン	ドンドン ボコボコ ブスッ
打撃の状態	ハンマー打撃で跳ね返る	ハンマー打撃でくだける	軽い打撃でくだける	ハンマー刃先食い込む

注) 一軸圧縮強度は大まかな目安である

決めるのは、最後まで人

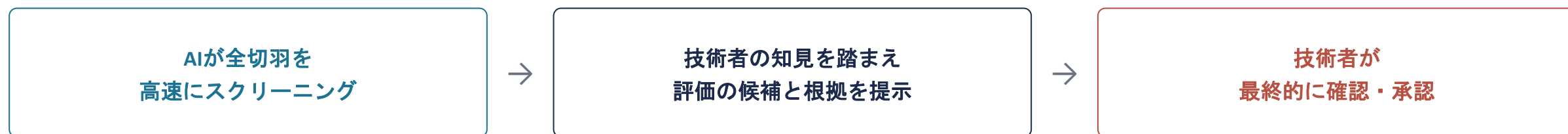
AIが得意なこと

- 速い — 全切羽を短時間でスクリーニングできる
- ムラがない — 誰が担当しても同じ基準で評価する
- 見落としがない — 決められた項目をすべて確認する

人が得意なこと

- 想定していなかった状況に気づける
- 「湧水が急に増えた」「前の切羽と様子が違う」など
- その意味を読みとって、手を打てる

運用の流れ



最終的な判断に至るまでの様々な段階で人の判断が介在する、ヒューマン・イン・ザ・ループ型の運用です。

割れ目の「向き」を自動で読み取る

岩の割れ目がどちらを向き、どれくらい傾いているか（走向・傾斜）は、切羽がどの方向から崩れるかを左右する重要な情報です。天井に向かって傾いた割れ目があれば、そこから岩が抜け落ちるおそれがあります。

これまで

クリノメータで、数か所を手測り

- 技術者が切羽のすぐ手前まで行き、クリノメータという道具で測っていました。
- 危険な場所での作業である上に、切羽全体のうちのわずか数点しか測れません。

本システム

3DGS解析で、切羽全面を自動抽出

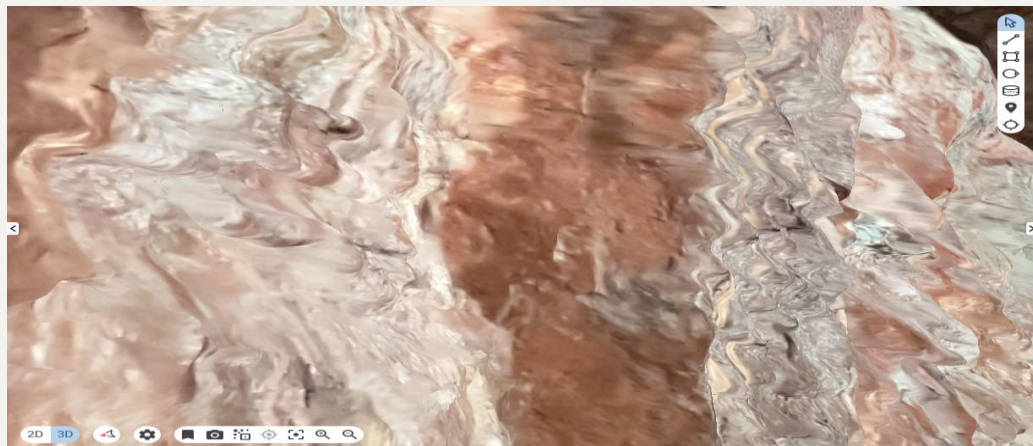
- 3D Gaussian Splatting（3DGS）による地質構造解析を統合し、切羽全面の走向・傾斜を自動で抽出します（特許出願中）。
- 危険を伴うクリノメータ計測が不要となり、切羽近傍に立ち入ることなく、安全かつ精緻に取得できます。

切羽全体の不連続面を精緻に把握できることから、前方の地山を予測する精度の向上も期待されます。

なぜ 3D Gaussian Splatting なのか

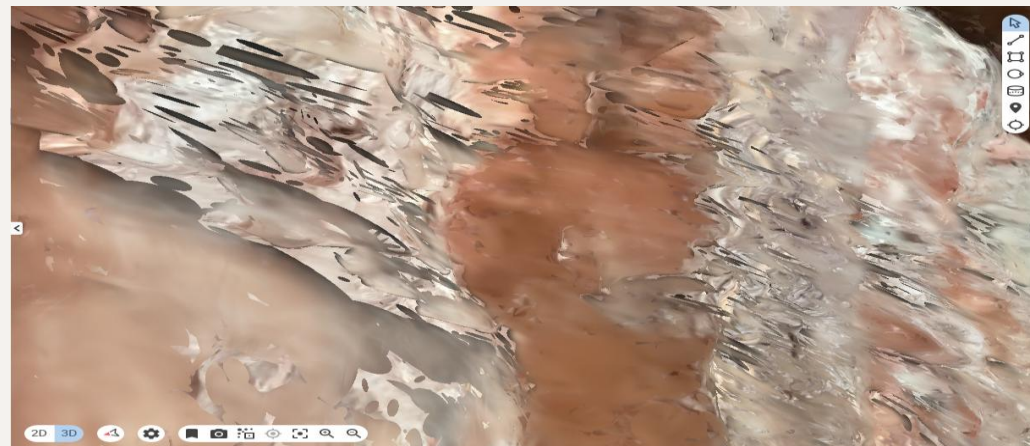
モデルを構成する点（ガウシアン）の一つひとつが、生成された時点から固有の「向き」を持っています。そのためメッシュ変換などの中間処理を挟まずに、高速かつ安定した解析ができます。

従来：点群から生成したメッシュ



波打って自然ではありえない形状となり、情報の損失が生じる

3DGS：面の集合体として表現



波打った形状ではなく面の集合体となり、構造を正しく保持できる

処理フローー 走向・傾斜の自動抽出

ガウシアン回転・スケール情報から法線を直接取得し、切羽全面の走向・傾斜を自動で算出します。

1

多視点の切羽写真

TufmoS（タフモス）の撮影画像をそのまま入力として利用できます。

2

ガウシアンの向きを保有

各点が固有の向き（回転・スケール）を、生成段階から一次情報として持っています。

3

法線抽出・クラスタリング

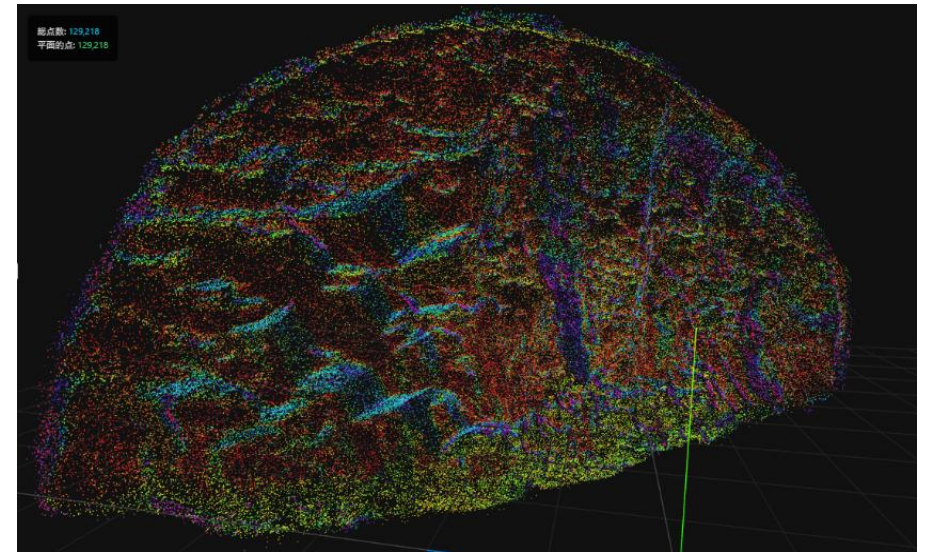
法線を直接抽出 → 平面度フィルタ → 不連続面のクラスタリング。

4

走向・傾斜の算出

同方向の面ごとに色分けし、地質学的表記（例 N45E30SE）を自動生成。受け盤・流れ盤等を判定。

解析結果イメージ



同方向の面ごとに色分けし、走向・傾斜を面的に取得

近傍点群の統計処理による法線推定と異なり、点密度に依存せずメッシュ変換も不要。素早く切羽全面から数万点規模の走向・傾斜を取得できます。

判断を「より早く・より正確に・より安全に」

効果 ①

判断が速くなる

切羽の前にとどまる時間が短くなり、危険にさらされる時間も減ります。

効果 ②

判断がぶれない

誰が担当しても同じ基準で評価されるため、経験の差による違いが小さくなります。

効果 ③

判断の理由が残る

AIが根拠を文章で出力するため、後から検証でき、若手技術者にとっては教材にもなります。

まとめ

経験によらない客観的かつ高精度な地山評価により、切羽判断を「より早く・より正確に・より安全に」行うことが可能になります。ノウハウのデジタル化は、技術継承の支援や経験の浅い技術者の早期育成に寄与します。

今後の展開

切羽観察から発破設計までを、全自動・リアルタイムに

現在、施工中のトンネル現場で検証を進めています。今後は本システムを、重機搭載カメラによる切羽の自動3次元モデル化システム「TufmoS（タフモス）-HMC」やトンネル発破AI支援システムと統合し、切羽観察から発破設計までを掘削サイクル内で全自動・リアルタイムに行う「リアルタイム発破パターン自動判定システム（RAPID-BLAST）」として展開します（別途発表）。

STEP 1

TufmoS-HMC

重機搭載カメラで切羽を
自動撮影・3Dモデル化



STEP 2

MZ切羽AI判定

AIによる地山評価に熟練工の
感覚情報を統合（+3DGS解析）



STEP 3

発破AI支援システム

火薬量・穿孔本数・孔配置を
自動算出

RAPID-BLAST リアルタイム発破パターン自動判定システム — 将来的なトンネル掘削作業の自動化へ