

ICTを活用した山岳トンネルの集中管理システム —山岳トンネル統合型掘削管理システム—

山岳トンネル統合型掘削管理システム (i-NATM®) は、山岳トンネル工事の生産性、安全性を大幅に高めることを目的として、ICTを活用して施工技術の高度化や施工情報の集中管理を目指す統合管理プラットフォームです。穿孔作業の集中管理と切羽情報取得システムは本システムの要素技術であり、今後さらにシステムの拡充を図り、施工管理の高度化を進めていきます。

日経コンストラクション (2020年10月12日号) に今回紹介する技術が掲載されました。

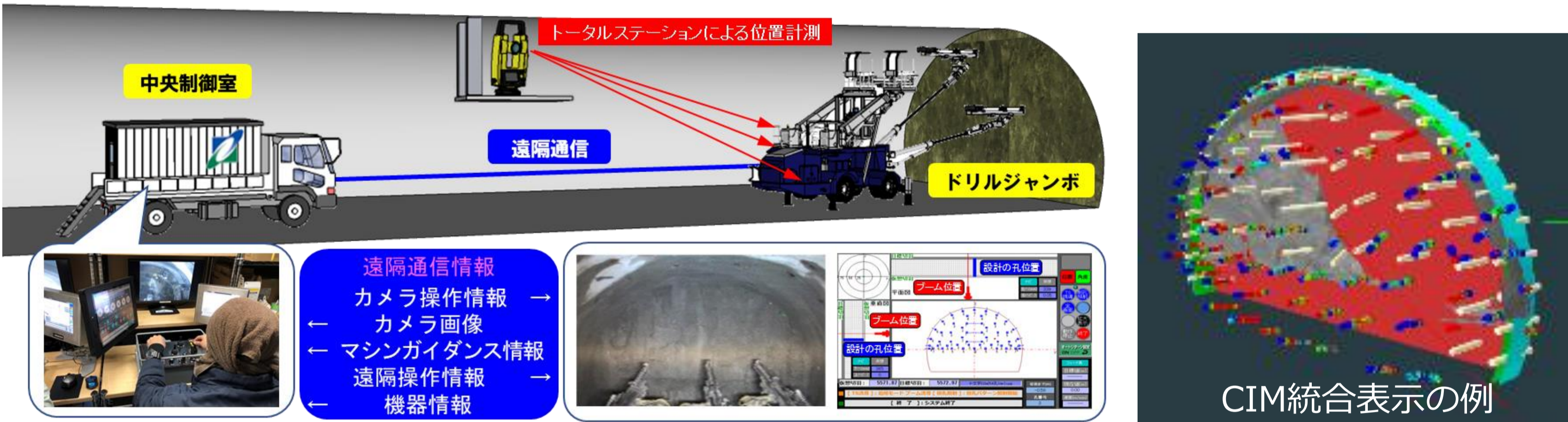
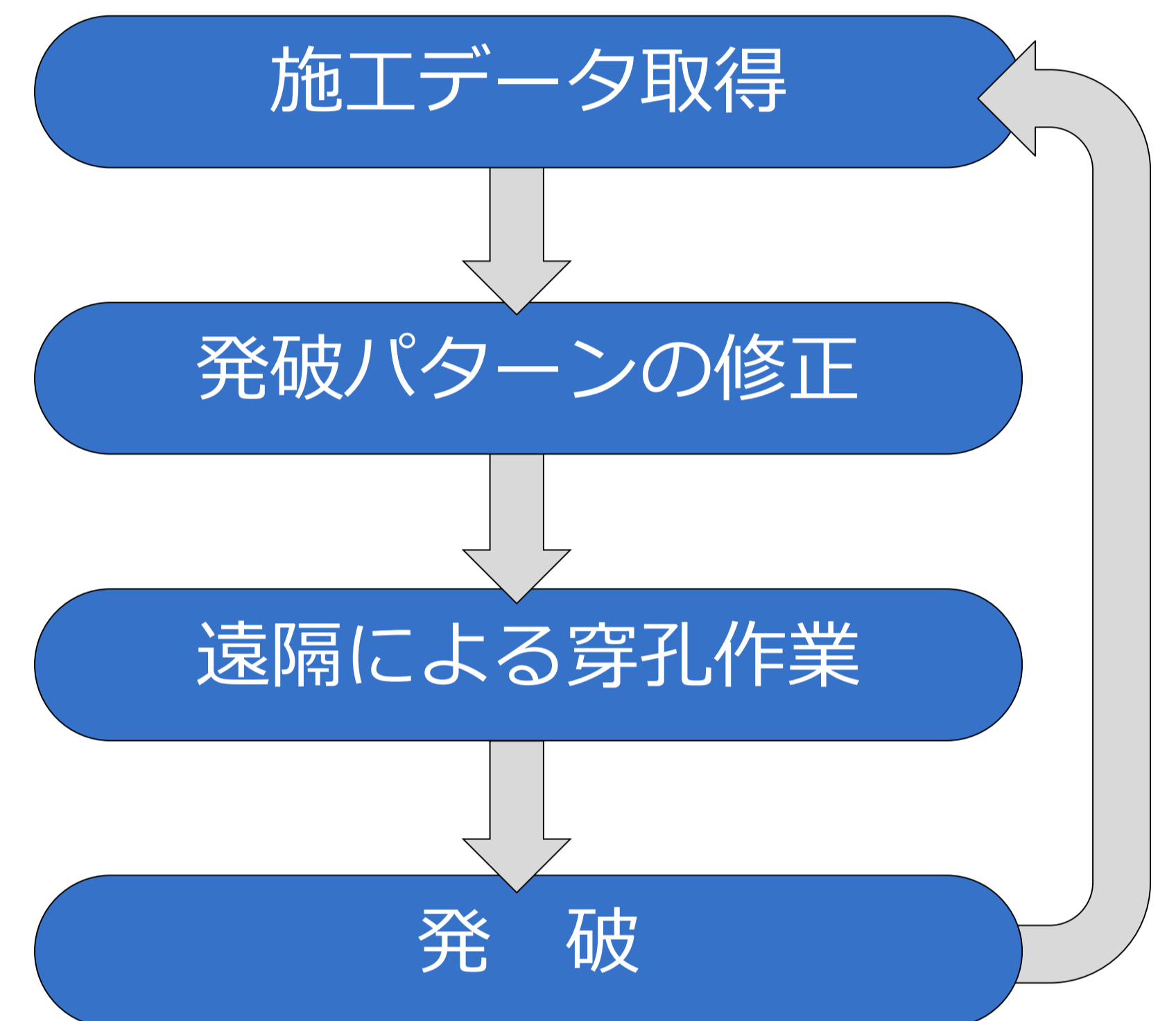
穿孔作業の集中管理

技術概要

トンネル坑内に中央制御室を設置し、装薬孔の穿孔位置や発破後の岩盤形状、地質情報などの施工データを集約します。

集約した施工データをCIMに統合表示して発破を評価し、地山状況に応じた最適な発破パターンへの修正を行います。

中央制御室から遠隔でドリルジャンボを制御し、修正した発破パターンに忠実な穿孔を行うことで、施工データを確実にフィードバックした発破の改善サイクルを実践します。



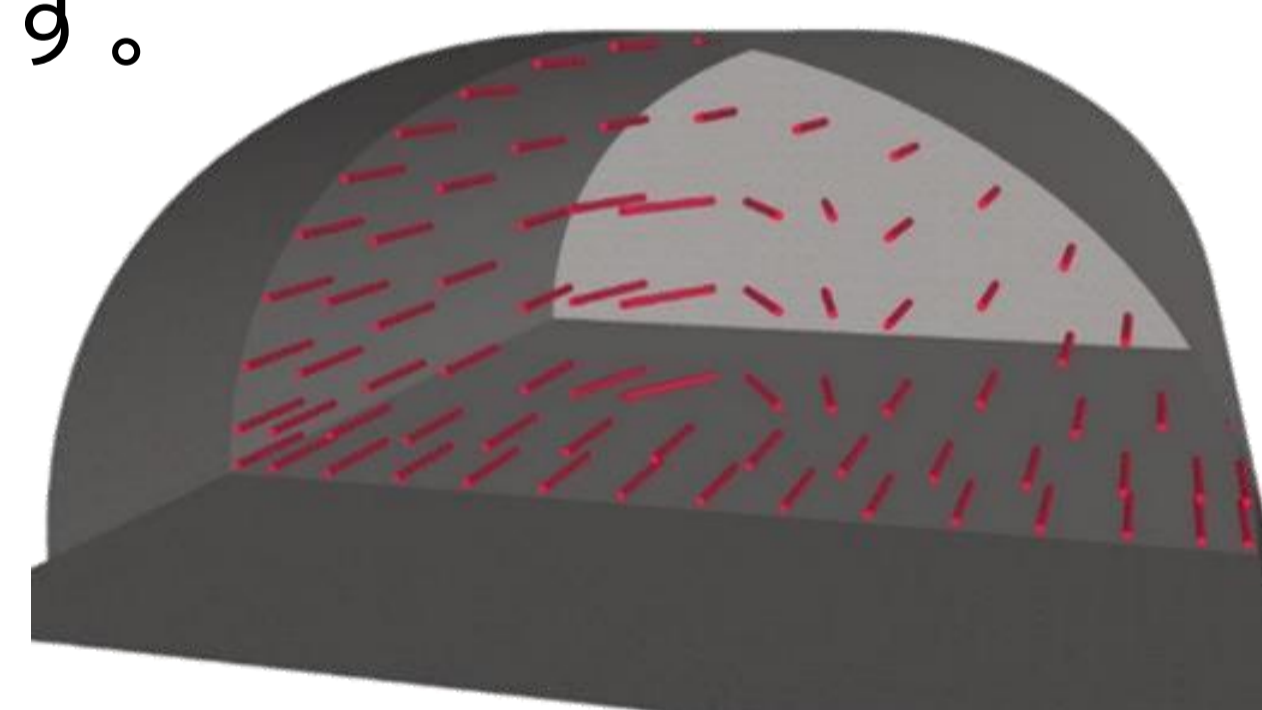
従来の発破作業

トンネルの発破では、岩盤に空けた孔に爆薬を詰めて、内から岩盤を破碎します。トンネル前方の巨大な岩盤を一発で破碎することは難しいため、中心部から外周方向に向かって順番に岩盤を破碎します。この爆薬を爆発させる順番や爆薬の配置を示したものが発破パターンです。

効率的な発破を行うためには以下の2つの技術が必要です。

- 良質な発破パターンの作成技術
- 発破パターン通りに正確に穿孔する技術

従来の発破作業では、発破パターンを切羽面に素早く測量する技術や、実際の穿孔位置と掘削出来形の関係を評価する技術がなく、発破作業は熟練作業員の技能と経験に依存している現状があります。



発破パターンの例



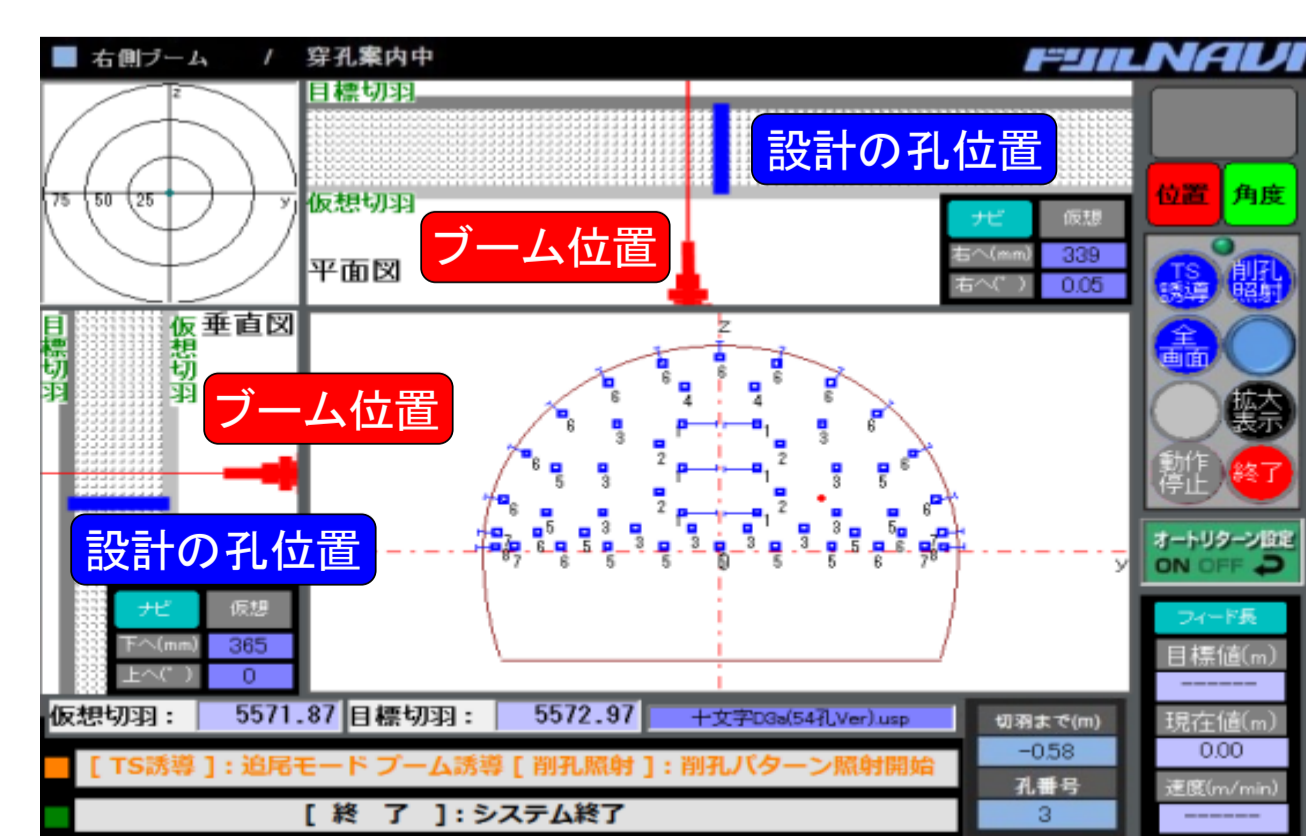
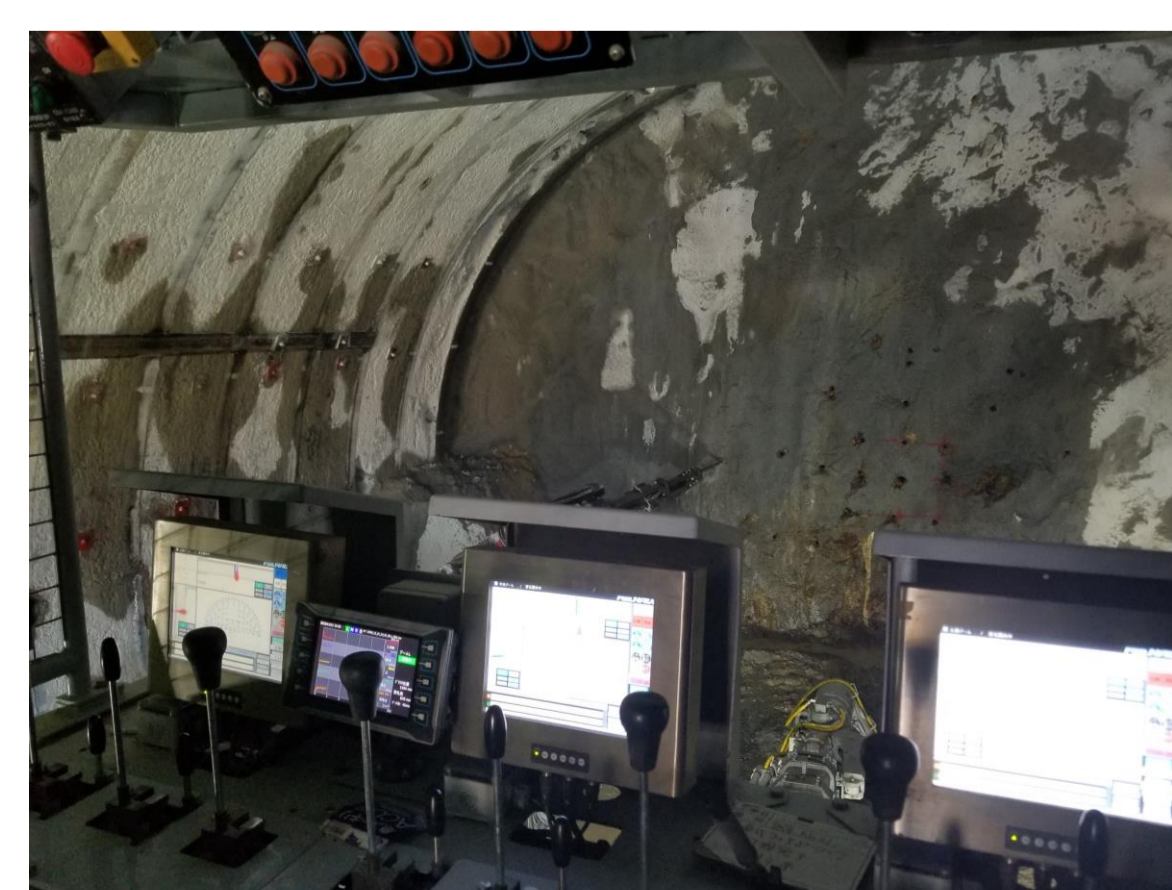
従来の穿孔位置出し作業

マシンガイダンス機能付きドリルジャンボの導入

近年、マシンガイダンス機能を有するドリルジャンボの導入が進んでいます。

運転席に設置されたマシンガイダンス画面に発破パターンが表示されます。

オペレータが画面を見ながら穿孔位置合わせを行うことで、発破パターン通りに正確な穿孔が可能となりました。



ICTを活用した山岳トンネルの集中管理システム —山岳トンネル統合型掘削管理システム—

穿孔作業の集中管理

穿孔作業の遠隔操作

切羽後方に設置した中央制御室から、ドリルジャンボに搭載したカメラ画像とマシンガイダンス情報をもとに遠隔でドリルジャンボを操作します。

穿孔作業中の切羽への立ち入りがなくなり、安全性が向上します。また、制御室では保護具から解放され、エアコンの設置された静かな環境で作業できるため、作業環境が大幅に改善します。

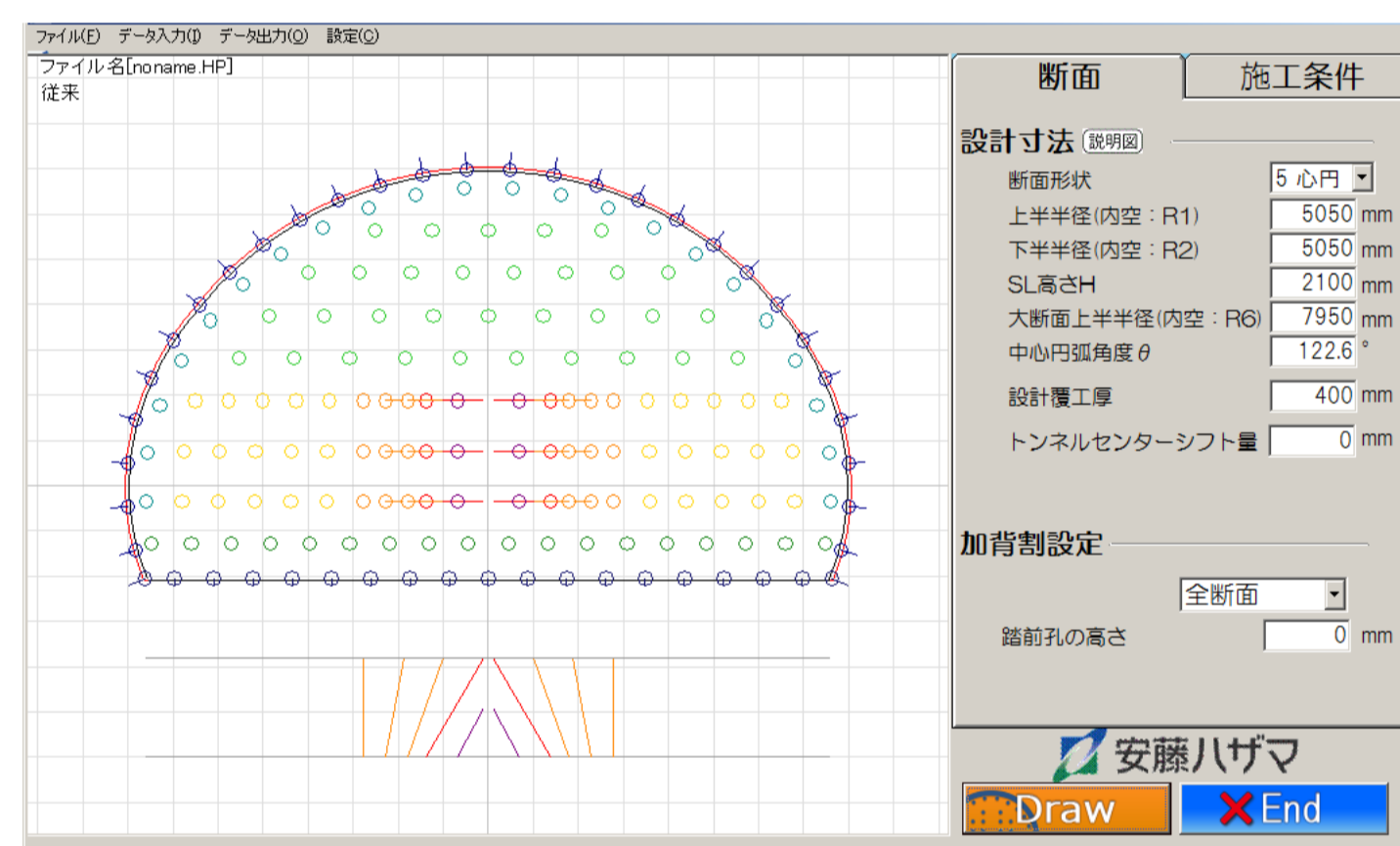
遠隔操作ではマシンガイダンス機能との連携により、経験の少ない作業員でも正確で効率的な穿孔作業が可能となります。また、発破の改善サイクルを繰り返し行うことで発破パターンが最適化され、余掘りや火薬量の低減といった効果が期待できます。



発破パターン作成プログラム

トンネル断面や岩盤の硬さなどの基本情報を入力することで、最適な穿孔配置を3次元座標で出力します。

作成した発破パターンは、マシンガイダンス機能付きドリルジャンボに読み込ませて運用します。



適用現場

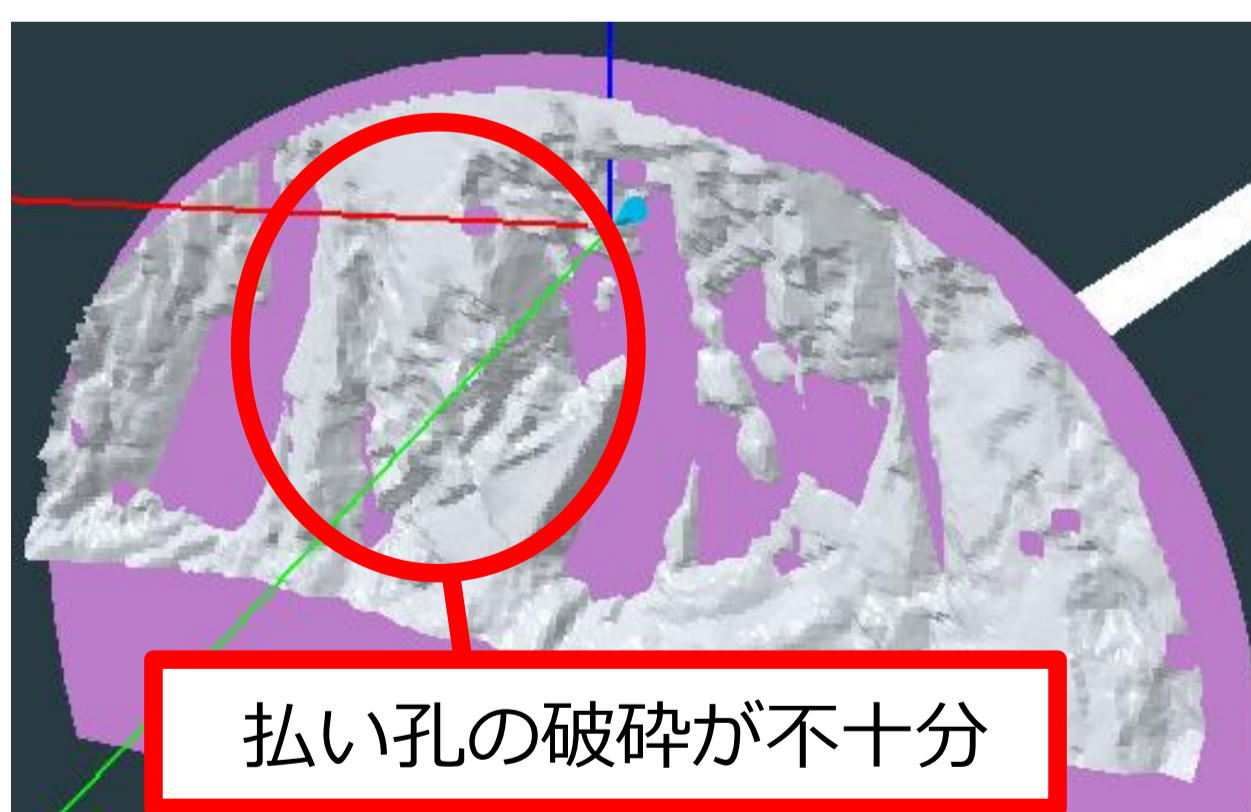
工事名：玉島笠岡道路六条院トンネル工事
発注者：国土交通省 中国地方整備局
施工者：株式会社 安藤ハザマ
工期：2019年3月12日～2021年3月31日
トンネル延長：L=1,088m

発破の改善サイクルの運用例

①孔間隔の調整

切羽全面に硬質な岩盤が出現し、払い部分の破砕が不十分な箇所が生じた。

⇒払い孔の抵抗線長が小さくなるよう孔間隔を調整。



②孔数の見直し

側壁脚部で硬質な岩盤が出現し、局所的な掘削不足が生じた。

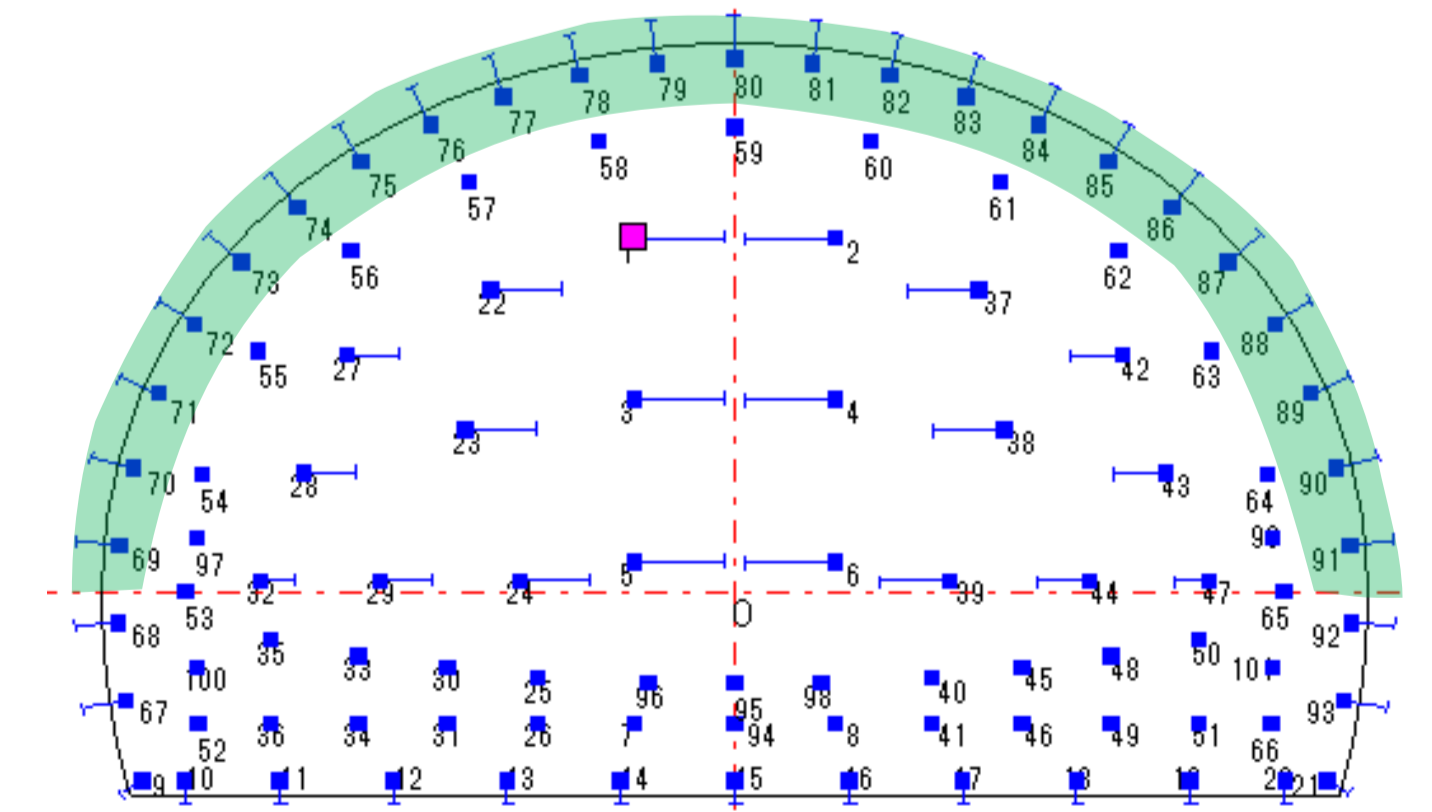
⇒側壁脚部の装薬孔を追加し、孔間隔を調整。



③差し角の見直し

従来は熟練作業員の経験を元に実施

⇒定量的な根拠にもとづいて差し角を調整し、余掘り低減が可能。



今後の課題

穿孔作業の遠隔化は山岳トンネルの自動施工に向けた第一段階の取組みであり、トンネル施工の生産性向上の推進には、その他の工種の自動化、遠隔化が求められます。今後さらにICTを活用した集中管理を進め、山岳トンネル施工を中央制御室から一元管理することを目指していきます。

ICTを活用した山岳トンネルの集中管理システム —山岳トンネル統合型掘削管理システム—

切羽地質情報取得システム

技術概要

「切羽地質情報取得システム」は、切羽観察における地質評価の主要指標である①岩盤の圧縮強度、②風化度、③割れ目間隔の3項目を自動でセンシングして、定量的に評価します。従来の目視観察の課題であった評価の定量化を実現するとともに、切羽観察作業を省力化し、現場職員の労力低減や安全性向上にも寄与します。

評価アルゴリズム

①岩盤の圧縮強度

デジタルカメラの切羽画像と岩盤の圧縮強度の関係を教師データとして、AI学習を行うことで、切羽画像から岩盤の圧縮強度を評価します。

②風化度

マルチスペクトルカメラで取得した切羽岩盤のマルチスペクトルデータと風化程度との関係を教師データとして、AI学習を行うことで、マルチスペクトル画像から風化度を評価します。

③割れ目間隔

ステレオカメラで撮影した画像から切羽面の三次元形状を取得し、形状の変化点を割れ目として抽出します。



従来の切羽観察

山岳トンネルは、事前に正確な地質状況を把握することが困難なため、施工中にトンネル切羽を直接観察して地質の評価を行い、評価結果をもとに、最終的なトンネルの支保パターンを確定する作業を行います。

切羽観察は、安全・品質を確保し効率的に施工を行う上で重要な位置づけにありますが、従来の切羽観察では、トンネルの掘削作業の合間を縫って短時間で行われる目視観察による評価が中心であり、精度や定量化が課題となっています。



ICTを活用した山岳トンネルの集中管理システム —山岳トンネル統合型掘削管理システム—

切羽地質情報取得システム

現場での運用

本システムは、専用の計測車両にマルチスペクトルカメラ、ステレオカメラ、ハロゲン照明、制御用PC等を搭載し、データの取得から処理までの一連の作業を自動で行います。制御PCを通じて各計測機器に操作指示を出すことで、5分程度で切羽データを取得し、専用PCで演算処理を行います。

適用現場

- ・玉島笠岡道路六条院トンネル工事：花崗岩
(国土交通省 中国地方整備局発注)
- ・山清路防災1号トンネル工事：砂岩・泥岩互層
(国土交通省 関東地方整備局発注)

上記の2現場で本システムの長期的な運用を行い、自動評価と目視観察による評価との比較を行うことで、評価精度の検証を行っています。

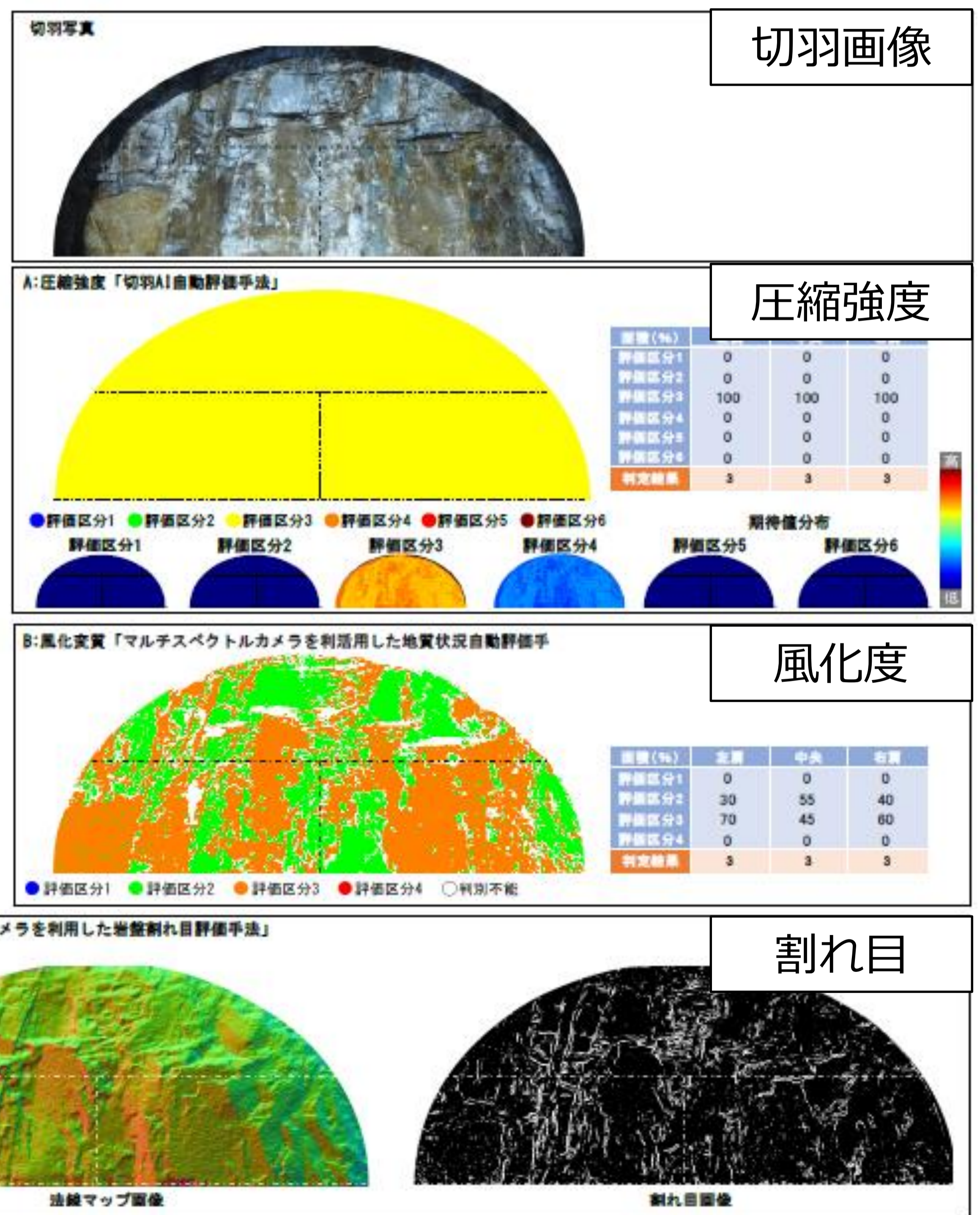


評価結果の例

| | 圧縮強度 | 風化度 | 割れ目間隔 |
|-----------|-------|--------|--------|
| 目視観察との一致率 | 90%以上 | 80~90% | 60~70% |

圧縮強度と風化度については、岩種によらず精度良く判定が可能となっています。鋼製支保工の影や湧水の滲み箇所において、評価精度に影響を与えない程度の局所的な誤判定が生じましたが、この原因としては、これらの箇所を教師データから除外したことが考えられます。

割れ目については、上の2項目と比べて一致率が低いものの、間隔5cm以下の割れ目を正確に抽出することが可能となっています。割れ目評価では、掘削方法や岩盤性状に起因する切羽面の仕上がり状況が評価精度に大きく影響し、特に、機械掘削方式である山清路防災1号トンネルでは、切削によって切羽面の凹凸が削られて平滑となったため、割れ目評価の精度低下が見られました。



今後の課題

本システムにより、圧縮強度と風化度は目視観察結果と遜色なく、精度良く定量的に評価することが可能となりました。一方、割れ目については評価精度の向上が今後の課題となっています。引き続きシステムの改良に取り組み、山岳トンネル工事の生産性向上を目指していきます。