

山岳トンネル施工管理業務における生産性向上への取り組み

清水建設(株) 正会員 梅山 寛崇 福田 毅
清水建設・東亜建設工業 JV 正会員 秋田 哲志 菊池 順 大矢 剛大
清水建設・東亜建設工業 JV 正会員 長尾 裕貴 ○上田 有紀
中日本高速道路(株) 正会員 小林 大助

1. はじめに

山岳トンネル現場では、機械化施工による省人化・自動化の開発が積極的に進められており、現場の生産性を大きく向上させている。一方で、施工管理業務の効率化を目的とした開発は、自動化施工ロボット等のハード面の技術開発に比べるとソフト面は進んでいないのが現状である。

山岳トンネル現場では、構造物の特性上坑内の作業状況を坑外から把握することが難しく、施工管理業務の効率化を損ねる要因の一つとなっている。また山岳トンネル工事では、日々地山の変位量や切羽の観察を行い、トンネル掘削時の地山状況を把握しながら施工を行う必要がある。これらの施工データは従来職員が計算やデータ処理を行った後、グラフや表などに図化を行っていた。これらの作業は安全に施工を行う上で非常に重要な業務であるが定常的な作業であるため、現場職員の労働時間を圧迫することが課題であった。

そこで、本報告では画像判定 AI を用いた技術と山岳トンネルの施工データを一元管理できるシステムを構築することで現場職員の労働時間改善に取り組んだので、その結果を報告する。

2. 技術の概要

本試行では、山岳トンネル現場に従事する職員の生産性向上を目的とした取り組みを試行した。試行した技術は、「AI サイクル自動判定技術」と「データプラットフォーム」である。試行現場は、中日本高速道路(株)発注の「中央自動車道新小仏トンネル工事」である。中央自動車道新小仏トンネル工事は、中央自動車道八王子 JCT～相模湖 IC 間の渋滞対策事業で、既設トンネルの北側に付加車線として新設トンネル（延長 2.3km、断面積 74m²）を追加する工事である。次に、試行した 2 つの技術の概要を示す。

(1) AI サイクル自動判定技術

本技術は、トンネル切羽後方にウェブカメラを設置し、その映像から AI が作業状況を自動判定し、その内容をリアルタイムに関係者に通知することによって無駄な待機時間を削減するものである。図-1 に AI サイクル自動判定技術の概要を示す。AI サイクル自動判定技術は、各作業で仕様する重機の種類、重機の組み合わせ、および基本的な施工サイクルの順番をあらかじめ学習することで、AI が作業状況の判別を行う。また、AI の判定結果は社内用 SNS を通して職員や作業員に通知を行う。なお、AI による判定結果の精度に関しては、80%以上を得られることが分かっており^{1),2)}施工管理に支障をきたさないことを確認している。

本技術によって、坑内の作業状況がリアルタイムに関係者全員に通知されることで、従来の経験や感覚に頼ることなくタイムリーに業務にあたるのが可能となる。また判定結果は、クラウドにデータとして蓄積されるため、施工サイクルの把握や改善などに活用が期待できる。

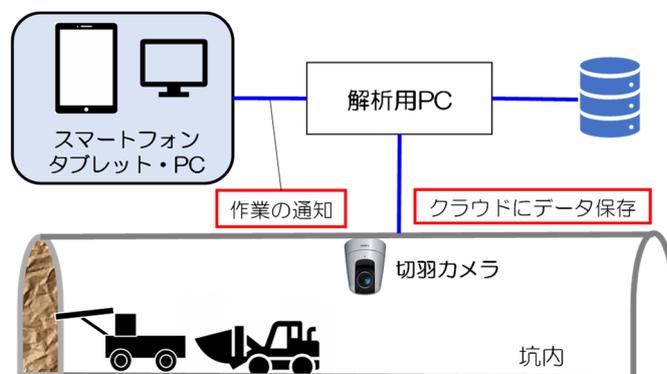


図-1 AI サイクル自動判定技術

キーワード 画像解析, AI, サイクル判定, データプラットフォーム, 生産性向上

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2 丁目 16-1 清水建設(株) 土木技術本部 地下空間統括部 TEL080-9214-0212

(2) データプラットフォーム

図-2にデータプラットフォームの概要を示す。本システムは、現場で日々取得される施工データをクラウド上に自動収集し、あらかじめ構築されたプログラムにてデータ処理を実行することで、施工管理に必要な情報を自動で出力する情報基盤である。本システムにより、データの取得からデータ処理後の図化まで一連の流れを自動化することが可能となる。すなわち、計測データ・地山情報や切羽情報をデータプラットフォームにて一元管理することで施工管理の生産性向上と高度化を実現する。



図-2 データプラットフォーム

3. 画像解析技術

山岳トンネル工事では、基本的に一連の掘削作業で使用する重機の組み合わせは決まっている。そのため、坑内に設置した切羽カメラの映像から施工に使用する重機を検出することで作業内容を容易に判定²⁾することができる。本試行では、EVA-CLIPモデルを用いて、表-1に示す作業の重機組み合わせや坑内配置状況を学習し、実際の映像と比較することで、最も類似性の高い作業を判別する。AIによる判定を行うため、事前に約5,000枚の画像データから作業内容の学習を行った。

表1 作業一覧

検出する作業
削孔・装薬
ずり出し
吹付けコンクリート
こそく
鋼製支保工
ロックボルト
停止

施工サイクルの判定は、作業内容を判定するだけでなく、施工順序を学習させる必要がある。特に「吹付けコンクリート」と「鋼製支保工建込」は使用する重機が同じであるため、「一次吹付け」と「二次吹付け」の作業の途中に「支保工建込み」の作業が入ることを学習させた。また、図-3にAIサイクル判定のフロー図を示す。さらに、判定精度向上のため、AIモデルには以下の仕様を追加した。

- ① 確信度が低い場合（閾値 0.8 未満）は、直前の作業を継続する。
- ② 施工サイクルの順番を考慮し、不自然な作業の遷移を防ぐ。
- ③ 直近3回の判定結果を参照することで、誤判定の確率を低減させる。
- ④ 過去の作業履歴を学習し、適切な施工サイクルを選択する。

4. データプラットフォームの構築

データプラットフォームの構築を行うにあたり、トンネル現場の施工データ（計測結果・切羽写真）をクラウド上に集約する必要がある。一般的に、山

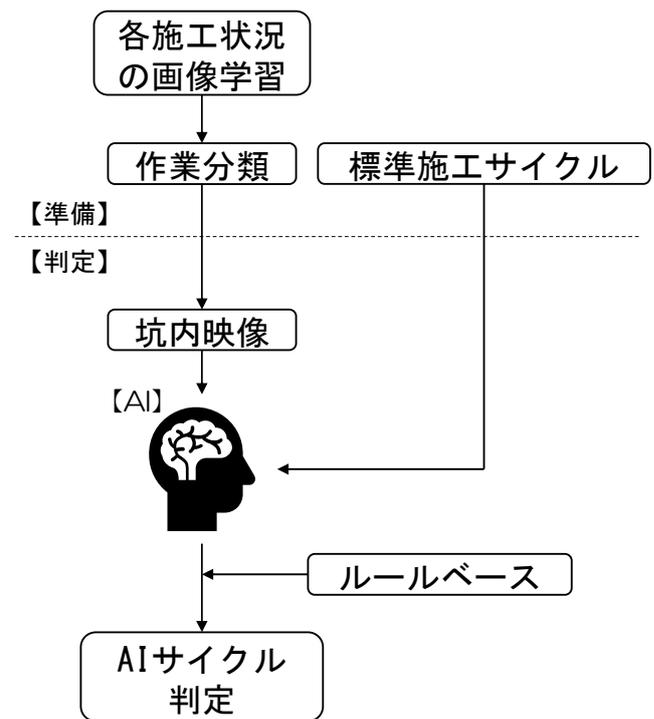


図-3 AI サイクル判定フロー

岳トンネルの施工現場では、トンネル施工管理用ソフトを活用し、現場管理を行うため、日々の計測結果・切羽写真・地山情報などの施工データやトンネル線形・支保パターンなどの設計データはすべて既存の施工管理用ソフトに集約される。よって、既存の施工管理用ソフトのデータをクラウドと連携させた。本試行では、AWS (Amazon Web Services) が提供するオンラインストレージとデータを連携させることで、クラウド上にデータを集約した。また、本試行では活用したクラウド上に、当社で施工した竣工済みの施工記録データも連携させた。

集約されたデータは、それぞれ独立したデータとして保存される。このままでは、施工管理業務に活用できないため、可視化したい情報や自動処理を行いたいデータを抽出し、プログラムにて自動処理を実行させる。本試行では、山岳トンネル現場の定常業務である岩判定業務の効率化を目的に、必要資料を自動作成するプログラムをクラウド上に構築した。表に自動作成した資料の一覧を示す。自動作成された資料はクラウド上でリアルタイムに確認することが可能となる。そのため、WEB 上で資料を確認することができ、ネット通信環境下であれば、場所を選ばずにデータを確認することが可能となる。データプラットフォームの構築によって、現場でのペーパーレス化や施工管理のリモート化をより一層促進することが期待できる。

5. 試行結果

(1) AI サイクル自動判定技術

写真-1 に AI サイクル自動判定の状況を示す。写真の左上には施工サイクルの判定結果を示しており、AI が自動で、施工サイクルを判定していることが確認できる。また、写真の下部には、判定状況の精度を示している。また、図-4 に AI サイクル自動判定の SNS 通知状況を示す。図より、AI サイクル判定技術によって、リアルタイムで坑内の施工状況が通知されていることが確認できる。

次に、試行によって削減された待機時間を表-3 に示す。待機時間の削減効果については、現場職員にヒアリングを行い、従来の坑内での待機時間からどの程度待機時間が削減されたか確認を行った。都度 AI のアノテーションを修正しながら運用することで、最終的に職員の坑内待機時間が約 10 分/日削減できた。しかしながら、AI による作業状況の判定は、坑内環境（粉

表-2 自動作成資料一覧

資料一覧
トンネル進捗表
切羽写真一覧表
切羽評価点の推移
土被り
天端沈下量の推移
上半内空変位量の推移
切羽評価点の内訳
切羽直近 5 断面の計測結果一覧



写真-1 AI サイクル自動判定状況



図-4 SNS 通知状況

表-3 職員の待機時間の比較

待機時間	職員 A	職員 B	職員 C	備考
導入前	20 分	20 分	20 分	
導入後 (1 か月)	30 分	20 分	20 分	アノテーション修正
導入後 (2 か月)	15 分	10 分	10 分	

塵や照度) によって、精度が変動することがわかった。また、通常施工サイクル以外の非定常な作業が発生した場合には、施工サイクルを誤検知することもわかった。本技術の導入によって、待機時間の削減に十分な効果を確認することができた。

(2) データプラットフォームの試行

データプラットフォームを活用し、岩判定資料作成の自動化および岩判定立会のペーパーレス化の試行を行った。図-5 にデータプラットフォームにて自動作成された岩判定資料の一例を示す。岩判定に必要な情報である切羽写真・切羽評価点・変位計測結果などの自動処理を実行し可視化している。また、図-6 にクラウド上で自動処理された施工データの一例を示す。可視化されたグラフは、ブラウザで確認することができるためカーソルを動かすことで、任意の施工記録が瞬時に確認できる。岩判定立会時は、モニター上にクラウドで自動処理された資料で地山評価し(写真-2)、ペーパーレス化を実現した。また、立会終了後はレポート機能を使うことで、資料をPDF化し発注者へ提出を行う。図-7 に岩判定の準備に要する事前準備時間の推移を示す。試行1回目はデータプラットフォームの使用に慣れていないため、以前より準備時間が増えてしまったが、試行2回目では事前準備時間を大幅に削減し、職員の労働時間を約78%削減することができた。

6. まとめ

AI サイクル自動判定技術により、坑内作業状況をリアルタイムに把握することが可能となり、現場職員の待機時間を削減することが可能となった。また、データプラットフォームを活用することで施工管理業務の効率化に貢献できることが確認できた。データプラットフォームに関しては、今後もデータ活用方法について検討を進めるとともに、更なる労働生産性向上を目指していく。

7. 参考文献

- (1)梅山寛崇ら，労働生産性向上のための現場管理業務の効率化と材料ロスの低減，第33回トンネル工学研究発表会，I-18，2023
- (2)北川士朗ら，トンネル掘削作業の映像を活用したサイクルタイム自動判定システムの検証，令和5年度土木学会第78回年次学術講演会，CS14-37，2023
- (3)大矢剛大ら，山岳トンネル現場での施工管理業務の効率化，令和6年度土木学会第79回年次学術講演会，VI-1000，2024

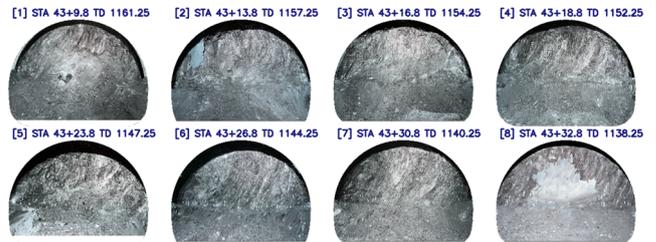
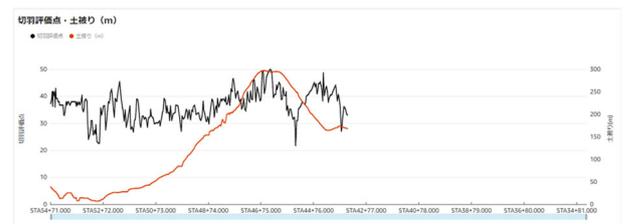


図-5 岩判定資料の一例

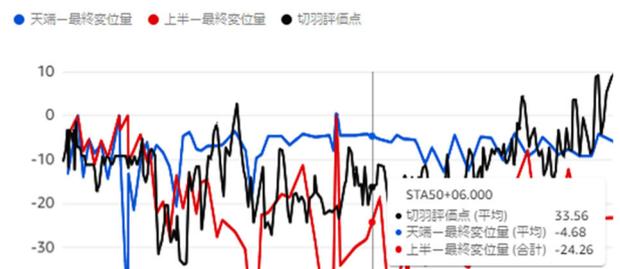


図-6 岩判定資料の一例



写真-2 ペーパーレス岩判定状況

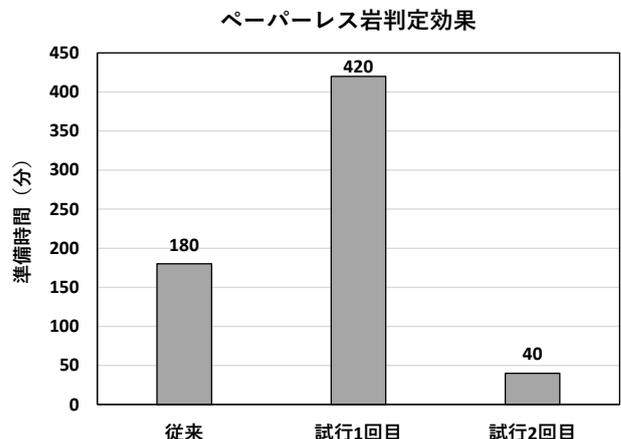


図-7 岩判定にかかる事前準備時間