

## 13. 山岳トンネル用自動ズリ積込機の開発

### ～トンネルズリだし作業の省力化と安全性向上を実証～

(株)フジタ

○石井 翔太

(株)フジタ

浅沼 廉樹

(株)三井三池製作所

山田 照之

#### 1. はじめに

トンネルにおける技術開発は、国土交通省が推進する「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」や「インフラ分野のデジタル・トランスフォーメーション（DX）施策」により、様々な工種からの取り組みを求められている。合わせて建設業界を取り巻く環境もこれまでの課題を改善すべく効率化、生産性向上が進みつつあり、熟練作業者の不足や高齢化・担い手不足等、今後の建設業界を変えていくにはロボットやAI技術等を活用して業務プロセスの変革を行い、建設現場の生産性を飛躍的に向上させる更なる技術開発が求められている。

株式会社フジタと株式会社三井三池製作所(以下、三井三池)では、山岳トンネルの掘削ズリだし作業の省力・省人化が可能なAI機能を搭載したズリ積込み機「ai ロックローダ」を国内初の自動ズリ積込み機械として共同開発した。

#### 2. 開発の経緯

山岳トンネルにおける切羽区間の施工は、①発破、②ズリだし（積込み、運搬）、③支保工が基本的な作業サイクルとなる。②のズリだし作業に関しては、発破掘削直後のトンネル素掘り面での作業となる事や、運搬設備である重ダンプ台数、坑内外への運行サイクル等の制約条件から技術開発が遅れていた。これらの対策として長距離トンネルでは、重ダンプによるズリ運搬方式から連続ベルトコンベアを用いたズリ運搬方式に変更する等の対策が取られ、ズリだし作業の効率化を図ってきた。しかし、これらの方針でも依然として次工程の支保工作業までのサイクル時間が長くかかり、積込み機械（ホイールローダやバックホウ）オペレータの切羽作業での長時間拘束や掘削ズリ運搬待ちによるサイクルロスが発生した。

今回開発したシステムは、発破後の切羽ズリを切羽後方に配置した「ai ロックローダ」の前方に迅速に仮置きした後、AIによる運搬機械への自動ズリ積込みにより、切羽作業エリアの早期解放を可能とし、ズリだし作業における省力化・省人化を図るものである。

#### 3. 機械概要と仕様

「ai ロックローダ」は、三井三池にて以前開発された鉱山用ロックローダをリメイクし、山岳トンネルでのズリ積込み作業に改良した機体となっている。

本機械は、切羽から運搬された掘削ズリを搔き寄せる「掘削ブーム」と機械後方へ直接ズリを排出・積込みを行う「排土ベルコン」から構成されており、手動による運転に加え機械運転席前方に配置された「センシング機器」と本体後方に配置された「GPU盤（AI自動運転盤）」を用いてオペレータ不要なAIによる自動ズリ積込み作業を可能とする。これにより掘削ズリ積込み作業時の省力化・省人化を可能とともに、発破後の切羽ズリを迅速に処理することで切羽作業エリアを早期解放し、次工程の支保工作業へ移行を容易にすることでトンネル掘削サイクルの円滑化を図る。

（表-1 及び写真-1 参照）

表-1 ai ロックローダ本体仕様

全長	18,500	mm
全幅	3,000	mm
全高	6,100	mm
総重量	50	t
使用電圧	AC400V	
搬送能力	510	m <sup>3</sup> /h

写真1 AI ロックローダ全景



自動運転に関しては、以下の「自動認識レベル」に区分した機能が実装されており、実証実験や現場運用では各レベルの組み合わせによる動作検証を実施した。

## 自動レベル0 (L0)

固定パターンの動作によりバケットを動かし、機体コンベヤまで引き寄せる動作を繰り返しながら自動的にズリ積込みを行う。

自動レベル 1 (L1)

3次元点群計測センサー（LiDAR）から得られるX, Y, Zの点群データを基に機体前方のズリ山の位置と積山量の体積推定を行い、最適なバケット移動先を動的に判断しながら自動積込みを行う。（図.1参照）

自動レベル2 (L2)

カメラ映像やサーマルセンサから、画像認識機能により積込みズリやトンネル壁面、施工重機や現場作業者等の対象物を認識し、レベル1の計測結果と合わせ、ズリの有無に基づく自動運転制御を行う。  
(図1参照)

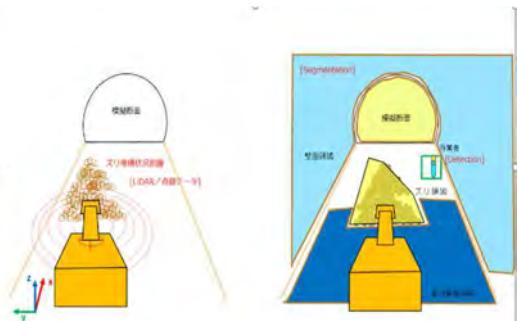


図-1 自動運転レベル1と2

ズリ運搬方式にこだわらない新たな手法として「ai ロックローダ」をトンネル坑内へ導入することにより、重ダンプ運行サイクルに制約を受けずに切羽のズリを迅速に撤去でき、トンネル発破後の切羽作業エリアの早期解放による次工程の支保工作業へ円滑に移行が可能となった。

また、掘削ズリを本機の前に集めることでAIによる自動積み込みを可能とし、ズリ積みオペレータの常駐が不要となる事から、20%の省人化(班編成:5人→4人に変更)を実現した。安全対策としては、AIによる人検知や重機接近検知、排土ベルコンの積み込み制御を行う事で安全性向上につながった。本機械は、さまざまな運搬方式(図2、3参照)のトンネル工事への展開が可能なため、今後更なる省力化と安全性向上に向けて現場導入を進めていく。

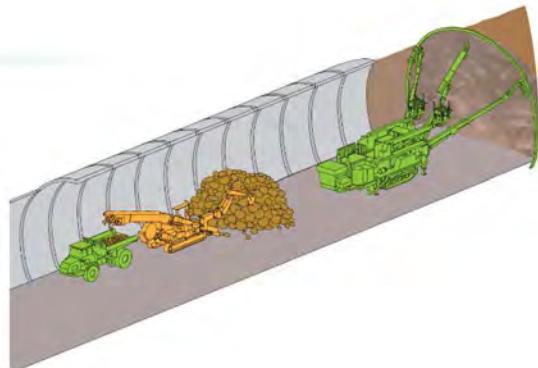


図2 ダンプ運搬方式

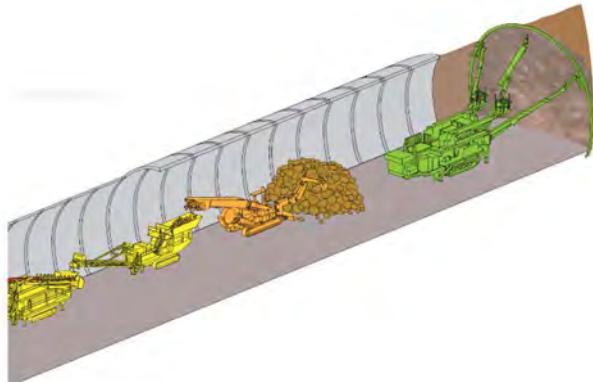


図3 連続ベルコン運搬方式

参考文献

- 1) 国土交通省：インフラ分野のデジタル・トランسفォーメーション（p.1 p.3 令和3年2月9日）
  - 2) 国土交通省：資料3 インフラ分野のDXに向けた取組紹介 p19 令和2年7月29日