

山岳トンネルにおけるホイールローダ遠隔操作システムの開発と現場試行

西松建設(株) 正会員 ○山下 雅之, 田口 毅, 山本 悟, 原 圭太
 (株) カナモト 清水 亮, 吉田 道信
 (有) 浅草ギ研 石井 孝佳
 ジオマシエンジニアリング(株) 塚田 純一

1. はじめに

山岳トンネル工事においては坑内の過酷な環境下にて特殊技能を要する作業が多く、それに従事する技能労働者の確保や高齢化対策が喫緊の課題となっている。このような課題の解決には労働環境の大幅な改善や労働生産性の向上が不可欠であり、その方策の1つとしてICT技術やメカトロニクスを駆使した無人化施工(遠隔操作)技術の導入が挙げられる。しかしながら、山岳トンネル工事では狭隘な坑内において多種にわたる特殊機械を使用する複雑な作業が必要とされるため、無人化技術の導入が進んでいないのが現状である。

このような背景から、今回、掘削サイクルの多くを占めるずり運搬作業に使用されるホイールローダの遠隔操作システムを開発した。ホイールローダは、トンネル掘削で使用される建設機械の中でも走行速度が速く、さらに狭隘空間において複雑なステアリングやアーム・バケット操作が必要であるため、遠隔操作を適用する建設機械としては難度が高いと言える。その一方で、この遠隔操作技術を確立させることで、他作業において使用される建設機械への応用が期待できる。本稿では、開発システムの概要を述べるとともに、トンネル現場で実施した試行状況を紹介する。

2. システムの概要

ホイールローダ遠隔操作システムの概要を図-1に示す。本システムは、切羽近傍におけるずり運搬作業に使用されるホイールローダの操作を遠隔で行うものであり、『遠隔操作システム』、『映像・操作信号通信システム』および『安全走行管理システム』で構成される。以下に構成システムの詳細を述べる。

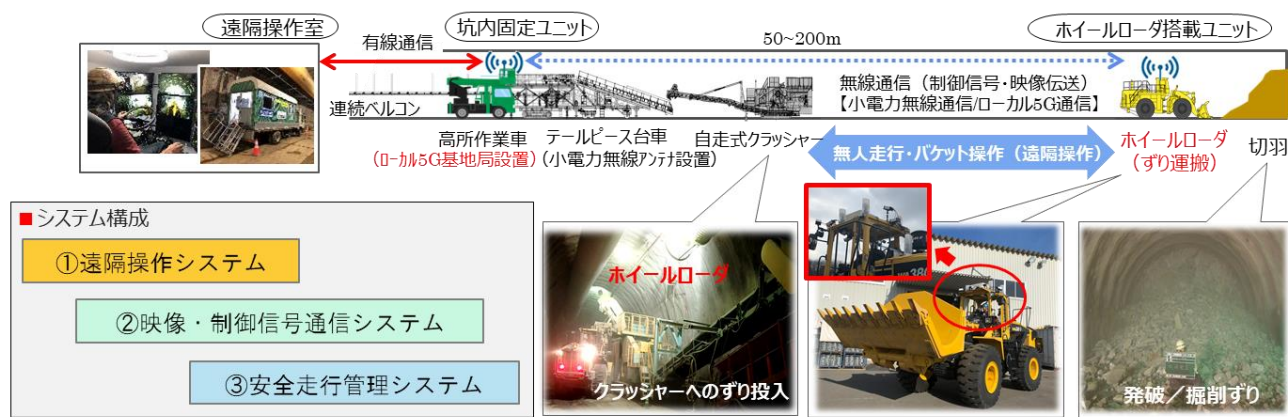


図-1 ホイールローダ遠隔操作システムの概要

(1) 遠隔操作システム

ホイールローダの運転は、ステアリング、ブレーキ・アクセルペダルおよびアーム・バケットレバーを操作することによって行われるが、これらの操作を無線受信により機械的に作動させる遠隔運転制御装置をホイールローダに取り付けた(図-2)。また、これらの装置については通常の有人運転も可能な構造とした。

遠隔操作室内には実機と同じ仕様の遠隔操作コクピット(以下、コクピット)および9画面モニタが設置されており、このモニタに表示される映像や走行データを見ながら走行・バケット操作をコクピットにおいて遠隔で行った(図-3)。さらに、運転時の実機振動や作動音をコクピットに伝える装置も備えることで、実機

キーワード 山岳トンネル, ホイールローダ, 遠隔操作, 無人化施工, ローカル5G

連絡先 〒105-6407 東京都港区虎ノ門1-17-1 西松建設(株)技術研究所 TEL 080-9211-6737 (直通)

運転とはほぼ同じ環境下での遠隔操作を可能とした。

(2) 映像・制御信号通信システム

映像・操作信号の伝送については、5GHz 帯の小電力無線および 28GHz 帯のローカル 5G（以下、L5G）の 2 種類の無線伝送方式が可能なシステムを構築した。ここでは、L5G を使用したシステムについて述べる。ホイールローダには、7 台の高精細車載カメラ（前後進時にそれぞれ 5 台使用）および 5G 端末、制御盤等で構成される「ホイールローダ搭載ユニット」を設置した（図－4）。また、図－5 に示すような L5G アンテナを高所作業車に設置した L5G 分離型移動基地局を切羽後方に配置した。車載カメラの映像データは、ホイールローダ搭載ユニットの 5G 端末から L5G 分離型移動基地局へ無線伝送され、そこから光ファイバケーブルを介して遠隔操作室へ有線伝送される。同時に、制御信号は同様の通信設備を使用して遠隔操作室からホイールローダに伝送される。

(3) 安全走行管理システム

遠隔操作時の安全を確保するため、ホイールローダの運転を自動的に緊急停止させるシステムを備えた。これらの緊急停止は、ホイールローダへの人の異常接近を AI が認識した場合や無線通信にトラブルが発生した際に自動的に作動するが、コクピットや携帯式のスイッチから手動で緊急停止を作動させることもできる。

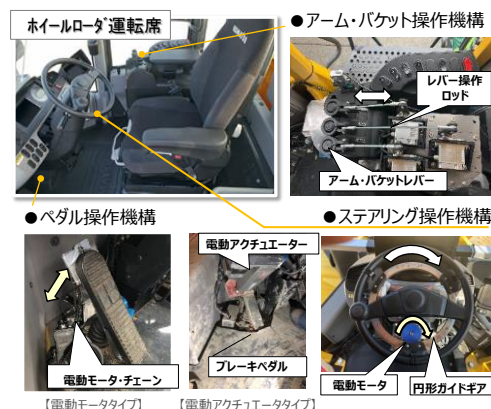
3. 現場適用

本システムを北海道開発局小樽開発建設部発注の「一般国道 5 号 仁木町外 新稲穂トンネル R 側仁木工区工事」に試験導入し、ホイールローダによる坑内走行、掘削ずりの運搬やクラッシャへの投入といった実施工と同様の作業を遠隔操作で実施した（図－6）。今回の試行では、操作に大きく影響するような映像伝送遅延や通信上の不具合は生じず、狭隘な坑内においても有人運転に近い走行・バケット操作を遠隔で実施することができた。とくに坑内における適用事例がほとんど報告されていない 28GHz 帯の L5G 通信では、1 台の 5G 端末で遠隔操作に必要な 5 台のホイールローダ搭載カメラからの高精細映像を伝送・画面表示させることができ、多接続性や大容量通信といった 5G 通信の特性も確認することができた。

4. おわりに

今回の試行によりシステムの実用性を確認することができたが、WL 搭載機器の耐久性等、本格運用に向けた課題もいくつか明らかになった。今後はこれら遠隔操作技術の早期確立を目指すとともに、他作業で使用する建設機械への展開も図ることで、山岳トンネル工事全体の労働生産性向上に役立てていきたいと考えている。

なお、本稿の L5G に関する内容は、国土交通省の「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の成果によるものである。



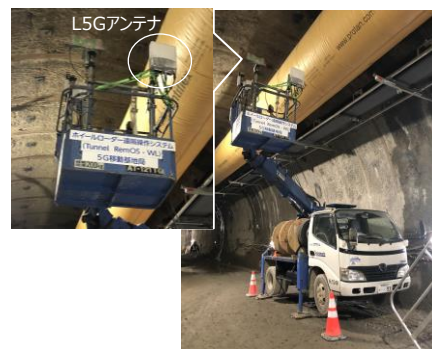
図－2 遠隔運転制御装置



図－3 遠隔操作コクピット



図－4 ホイールローダ搭載ユニット



図－5 L5G 分離型移動基地局



図－6 現場試行（遠隔運転）状況