

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実施工への試験導入

西松建設（株） 正会員 ○田口 毅， 本山 昇， 原 圭太
 （株）カナモト 非会員 角 和樹， 清水 亮
 ジオマシエン지니어リング（株） 非会員 塚田 純一

1. はじめに

山岳トンネル施工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未だ多く，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。これらの課題解決を目指して筆者らは，山岳トンネル施工における無人化・自動化に向けた技術開発に取り組んでいる。その一環として，ずり運搬作業（ベルトコンベア方式）に使用するホイールローダ遠隔操作システムの開発を進めており，当該作業の無人化・自動化による労働環境の改善や生産性の更なる向上を目指している。本システムについては2019年度よりプロトタイプの開発に着手し，これまで実験ヤードや実現場での試行を通してそのノウハウを蓄積してきた。それら知見を活かし今般，実施工への導入を念頭に置いた，より高度化されたホイールローダ遠隔操作システム（実用システム）を開発した（図-1）。

本稿では，開発した実用システムの概要および実際のトンネル工事におけるずり運搬作業に試験的に導入した結果について述べる。

2. システム概要

実用システムは，主に「遠隔操作システム」・「映像・操作信号通信システム」・「安全走行管理システム」の3つの要素技術によって構成され，遠隔操作室（オペレータ操作位置）から100m程度離れた場所に位置するホイールローダの遠隔操作が可能である。以下(1)～(3)に3つの構成システムの詳細をそれぞれ述べる。

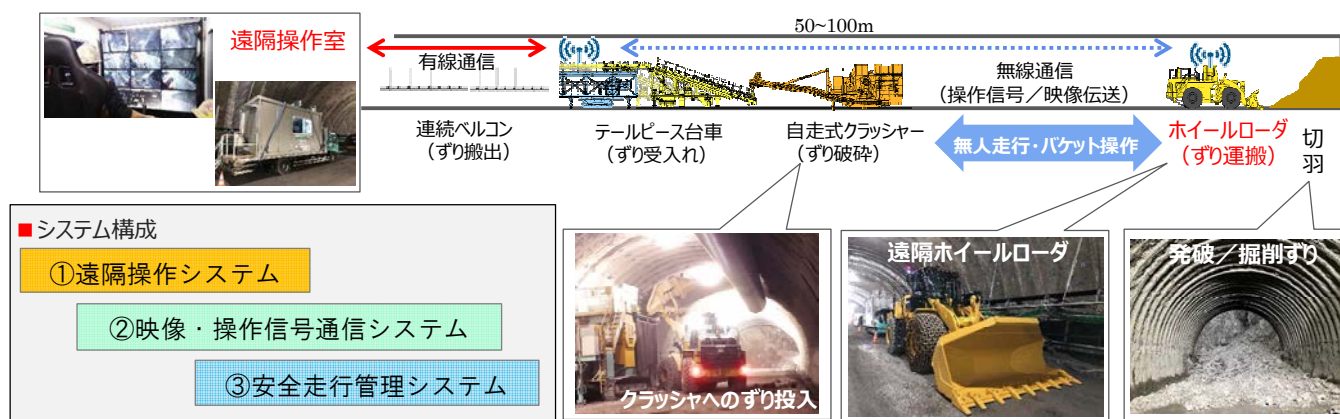


図-1 ホイールローダ遠隔操作システム（実用システム）概要

(1) 遠隔操作システム

ホイールローダのステアリング、ブレーキ・アクセルペダル、アーム・バケットレバーには，制御装置（図-2）を取り付けており，これらを作動させることによって遠隔操作が可能である。プロトタイプでは，アーム・バケットレバーの操作において，操作ロッド等をレバーに外付けした機械的な制御であったが，実用システムではホイールローダ内部の電子回路へ信号を伝送し，電気的な制御とした。これによって，より実機に近い操作感覚と機械装置数の削減による耐久性向上を図っている。遠隔操作室内には遠隔操作コックピット（以下，コックピット）や複数のモニタを設置した。モニタには機体に搭載したカメラの映像やバケット角度等の情報を表示し，それらを見ながら走行やバケットの操作をコックピットにおいて遠隔で行うことができる（図-3）。

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，実施工導入

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-2-1 住友不動産虎ノ門タワー 21 階 西松建設（株）技術研究所 TEL 03-3502-0247

(2) 映像・操作信号通信システム

ホイールローダには複数の小型カメラ、映像無線機および操作信号無線機等のホイールローダ搭載ユニット(図-4)を搭載しており、これによって操作室内のモニタ映像表示やコックピットからのホイールローダ遠隔操作を可能としている。ホイールローダに搭載したカメラの映像は、車載の無線機(送信機)から、テールピース台車に設置した無線機(受信機)を介し、そこから有線接続で操作室のモニタへ伝送する。また、ホイールローダの操作信号は、コックピットからテールピース台車に設置した無線機(送信機)へ接続し、そこからホイールローダに設置した無線機(受信機)へ伝送する。映像伝送には 5GHz 帯の小電力無線、操作信号伝送には 4.9GHz 帯の無線を使用した。

(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。緊急停止システムは、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、コッ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可能である。

3. 実施工への試験導入

実用システムを国土交通省四国地方整備局中村河川国道事務所発注の「窪川佐賀道路 不破原トンネル工事」に試験導入し、遠隔操作者2名(ホイールローダの遠隔操作経験が浅い・経験が豊富)によるずり運搬作業のサイクルタイムの計測、および搭乗操作ホイールローダとのタイム比較を実施した(図-5、表-1)。その結果、2名のサイクルタイムは平均 75 秒～95 秒であり、搭乗操作のサイクルタイムの平均 54 秒を基準とした場合、施工効率は約 60%～70%前後であった。また、経験豊富なオペレータによる最短時間としては 59 秒、施工効率は約 92%となり、一時的ではあるが、遠隔操作でも搭乗操作に近い施工効率で稼働できることが確認された。

4. おわりに

今回の試験導入によって、実用システムの施工効率と実施工への適用性を確認できた。今後も継続して試験導入し、オペレータの操作習熟度の向上や操作サポート機能を付与することによって、実用システムの本格的な施工への導入が期待できる。また、実用システムをベースとして、操作の一部自動化の開発も進めている。今後はホイールローダによるずり運搬作業の自動化を目指すとともに、その他作業で使用する建設機械への自動化へ展開し、山岳トンネル工事全体の生産性・安全性の向上に役立てていきたいと考えている。

参考文献

1) 山下雅之, 田口毅, 山本悟, 原圭太, 清水亮, 吉田道信, 石井孝佳, 塚田純一: 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, 第76回土木学会年次講演会, VI-916, 2021



図-2 遠隔操作制御装置



図-3 遠隔操作コックピット



図-4 ホイールローダ搭載ユニット



図-5 遠隔操作によるずり運搬状況

表-1 サイクルタイム比較

	搭乗操作 Ave.	遠隔操作① Ave.	遠隔操作② Ave.	遠隔操作② Fas.
ずり運搬距離	84 m			
サイクルタイム	54 秒	95 秒	75 秒	59 秒
施工効率	100%	57%	72%	92%