

山岳トンネルにおける油圧ショベルの遠隔操作システムの開発

西松建設 技術研究所 正会員 ○山本 悟
 ジオマシンエンジニアリング 塚田 純一
 フューチャーアイリス 高橋 将史

1. はじめに

山岳トンネルの建設工事においては、坑内の過酷な環境下にて特殊技能を要する作業が多く、これに従事する技能労働者の安定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の1つとしてICT技術を含めたメカトロニクスを駆使した無人化（遠隔操作）施工技術の導入が望まれている。しかしながら、山岳トンネルの施工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、トンネル工事に使用する個別の施工機械に対する遠隔操作技術を開発し、それらを効果的に組み合わせて施工全体の無人化を実現するための山岳トンネル無人化施工システム「Tunnel RemOS (Tunnel Remote Operation System)」の開発を現在進めている。本稿ではこのうち、バックホウやブレーカ等の油圧ショベルの遠隔操作システムである『Tunnel RemOS-Excavator（トンネルリモスエクスカベータ）』の開発状況を報告する。

2. システム概要

今回開発した油圧ショベル遠隔操作システム『Tunnel RemOS-Excavator』（以下、本システム）は遠隔操作室、映像・制御信号伝送システム、機体制御システムおよびガイダンスシステムである「切羽掘削形状モニタリングシステム」で構成されており（図－1）、油圧ブレーカの走行から切羽でのコソクやあたり取りなどの一連の作業を無線で遠隔操作することが可能である。

① 遠隔操作室

本システムは油圧ブレーカによる掘削作業の操作を崩落等危険性の高い切羽から離れ、安全で良好な環境下の遠隔操作室（写真－1）からオペレータが遠隔で実行可能とする技術である。遠隔操作室には遠隔操作コクピットおよび複数のモニタが設置され（写真－2）、モニタ画面を見ながら機体走行やブーム・アーム操作、打撃等を遠隔で行う。なお、掘削時の音・振動等もセンサを介してコクピットに伝送され、機体上での実機操作に近い作業環境が再現できるよう工夫している。なお、掘削時の音・振動等もセンサを介してコクピットに伝送され、機体上での実機操作に近い作業環境が再現できるよう工夫している。



図－1 「Tunnel RemOS-Excavator」のシステム構成例

キーワード 山岳トンネル, 油圧ショベル, 遠隔操作, 無人化施工
 連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-2-1
 西松建設(株) 技術研究所 TEL03-3502-0247

② 映像・制御信号伝送システム

映像・制御信号の伝送については、4.9GHz 長距離無線および5GHz 帯の小電力無線の2種類の無線伝送方式を使用したシステムを構築している。油圧ブレーカには9台のFHDカメラと、各無線送受信のアンテナが設置されている。さらに、移動基地局として送受信のアンテナが集塵機上部に設置されている。カメラの映像データは小電力無線により移動基地局に無線伝送され、そこから遠隔操作室へ有線伝送される。

一方、制御信号、機体情報（音、振動等）、ガイダンスシステムのデータ等は4.9GHz 長距離無線を使用して送受信され、情報の一部はモニタに表示されるとともに、専用PCに運転データとして蓄積される。

③ 機体制御システム

遠隔操作室からの制御信号は、先述の映像・制御信号伝送システムを介して油圧ブレーカに設置された機体制御システムに伝送され、その信号をもとに機体が遠隔制御される。機体の走行、ブーム・アーム操作、ブレーカ打撃といった掘削作業に直接関係する動作に加え、それ以外のクラクション合図や「切羽掘削形状モニタリングシステム」の操作等有人作業時に可能な動作をすべて遠隔制御することが可能である。

④ 切羽掘削形状モニタリングシステム

重機に搭載したスキャナで切羽の掘削形状を計測して、掘削形状の点群データと設計断面を比較し、設計断面線よりも内空側に残ったあたり箇所をモニタにヒートマップ表示（図-2）させることで、遠隔操作室にしながら切羽のあたり箇所の確認が可能となっている。

3. システムの特徴

① 安全性の向上：遠隔操作室から油圧ブレーカのすべての操作を行うことで切羽が無人となり、飛び石や切羽崩落による人的被害が無くなる。また、「切羽掘削形状モニタリングシステム」を搭載することで、あたり箇所の確認に切羽直下に立入ることも無くなるため安全性が向上する。

② 作業環境の改善：油圧ブレーカによる掘削作業は振動、騒音、粉じんおよび飛び石の飛来等オペレータにとって苦渋な環境であるが、遠隔操作室は切羽から離れている上に空調が完備されており、快適な作業環境でトンネル掘削を施工することが可能である。

③ 高い視認性と低遅延：現場検証を通じて、カメラの台数や配置の工夫、無線伝送技術の選定を行うことで、遠隔操作をするために必要な高い視認性と低遅延を実現している。

④ 汎用性：本システムは重機メーカー問わず後付けが可能のため、汎用性の高いシステムとなっている。

4. おわりに

今回、山岳トンネル工事における油圧ショベルの遠隔操作システムを開発し、現場実証を行った。実証試験では油圧ブレーカの切羽への移動や切羽作業（あたり取り）といった一連の作業を遠隔操作にて実施することができた。今後は、油圧バックホウやホイールローダとの共同作業を遠隔・自動化させたトンネル掘削作業の完全無人化への取り組みを続け、更なる安全性向上・省人化を目指していく。



写真-1 遠隔操作室



写真-2 コクピットおよびモニタ

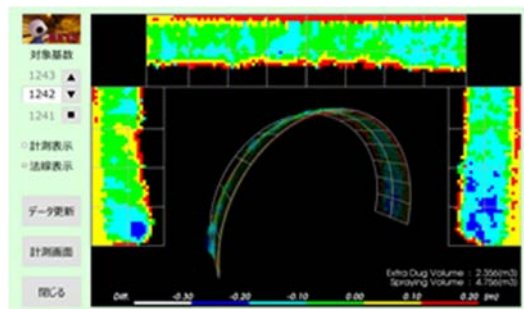


図-2 あたり箇所のヒートマップ表示