

2025 年 11 月 11 日

株式会社 竹中土木

力触覚フィードバックを用いた遠隔岩判定システムを開発 ～トンネル切羽観察の安全性向上と熟練技術者の触覚判断を遠隔で実現～

株式会社竹中土木（本社：東京都江東区、取締役社長：竹中祥悟）は、加賀電子株式会社、モーショントリブ株式会社と共同で、力触覚フィードバック技術¹を用いた遠隔岩判定²システムを開発しました。本システムは、国土交通省東北地方整備局発注の「国道 121 号湯野上 2 号トンネル工事」において実証実験を実施し、基本的な機能を確認いたしました。

従来、切羽（きりは）と呼ばれるトンネル掘削の最先端の断面において、熟練技術者が岩検ハンマーで切羽の岩盤を直接打撃し、その感触から岩の圧縮強度を判定してきました。しかし、2022 年 5 月に日本建設業連合会から発表された「トンネル切羽範囲内立入作業における安全対策指針」により、「切羽への立ち入りが真に必要となる作業以外に、一次吹付け未施工区間の素掘り面直下への立入禁止」が規定され、従来に変わる判定として、切羽に立ち入らずに判定できる新たな観察手法が求められています。

本システムの力触覚フィードバック技術を用いることで、遠隔地から岩検ハンマーによる触覚的判断を行うことが可能になります。すなわち、作業者の安全を確保しながら、熟練技術者による触覚的な岩盤判定を遠隔地から実施することが可能になります。また、打撃時の反力、速度、変位等の物理データを数値として記録・蓄積することで、将来的な客観的判定手法の確立を目指しています。

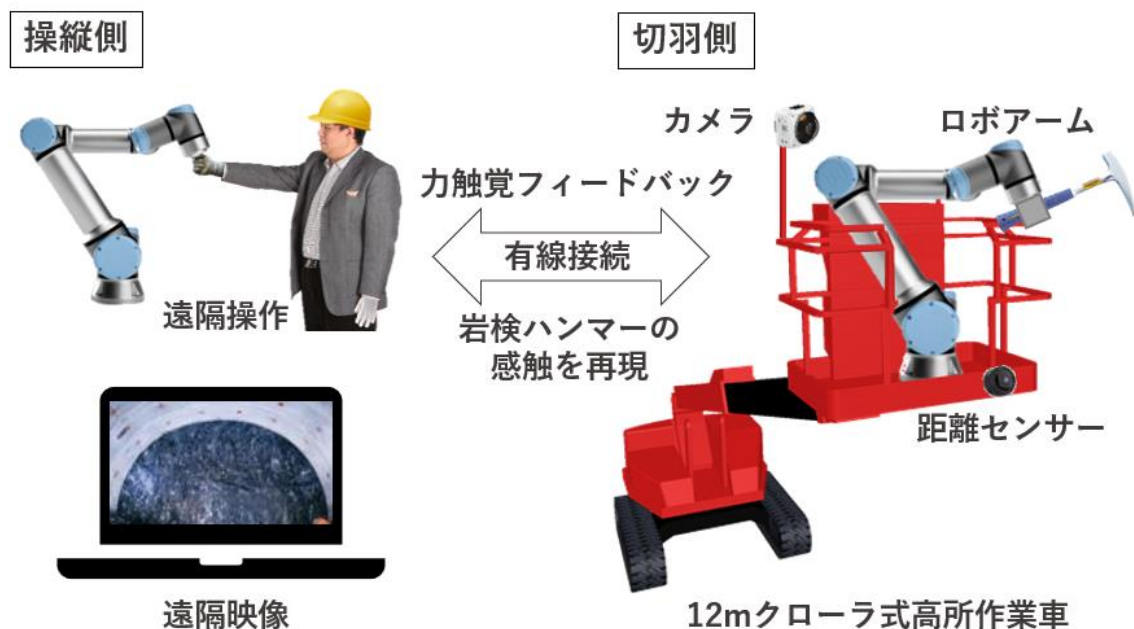


図-1 システムイメージ

¹ 力触覚フィードバック技術：反力、速度、変位等の物理パラメータをリアルタイムに検出・同期し、遠隔側の触覚を操縦側に再現する技術

² 岩判定：トンネル掘削時に遭遇する岩盤を、岩盤の硬さ、亀裂の程度、風化状況等を総合的に評価し、適切な掘削工法や支保パターンを決定するための重要な判定業務。

現段階では遠隔での触覚感知機能の動作を確認しており、今後は圧縮強度の定量的評価手法の検討を進めるとともに、他の建設分野への展開についても検討してまいります。



写真-1 実験施設屋外での試験状況



写真-2 現場での遠隔岩判定実証実験状況写真



写真-3 遠隔操作状況

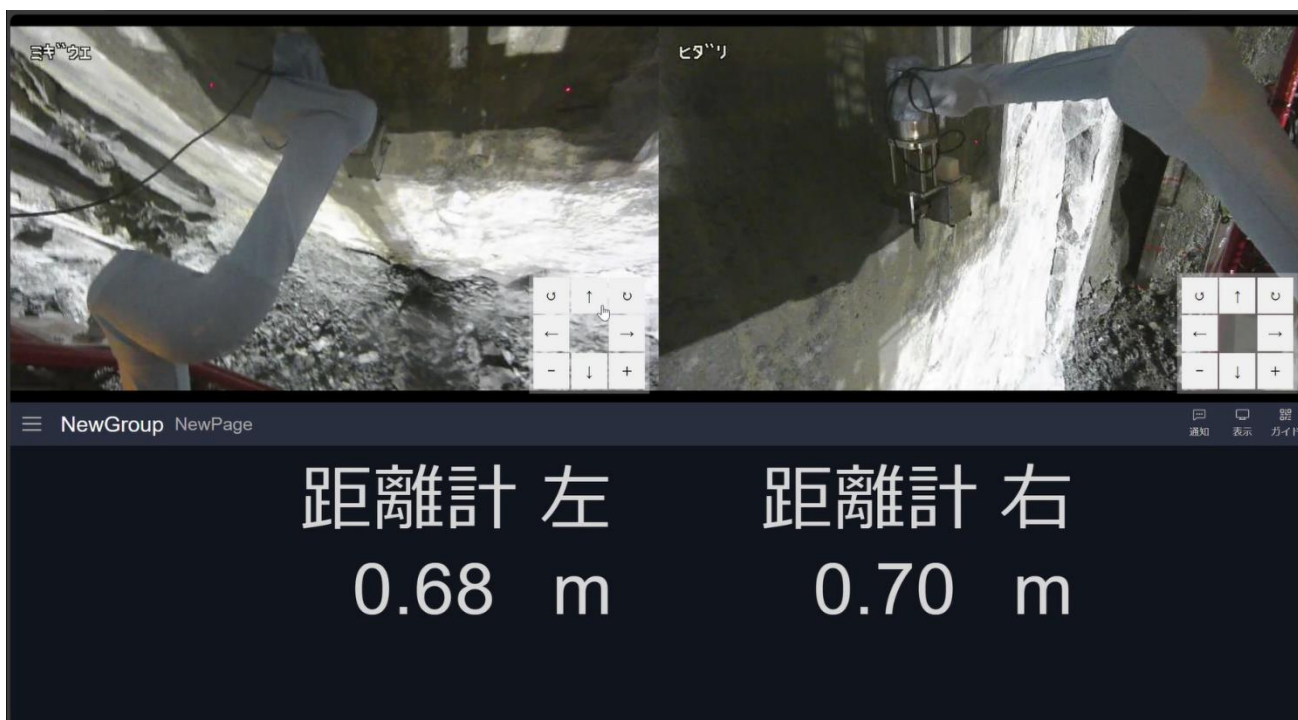


写真-4 画面表示例

【システム特徴】

- ・ Leader-Follower 構成による遠隔操作：操縦側（Leader）と切羽側（Follower）の 2 つのシステムで構成され、力触覚情報を含むデータ通信により遠隔操作を実現
- ・ 力触覚フィードバック技術：反力、速度、変位等の物理パラメータをリアルタイムに検出・同期し、岩盤の硬さや表面性状を遠隔地から感知可能
- ・ 物理データの記録機能：打撃時の各種物理データを数値として記録・蓄積し、将来的な評価基準確立のためのデータベース構築が可能
- ・ 完全遠隔操作：高所作業車を含め、全装置が遠隔操作可能な構造により、作業者は安全な場所から全ての操作を実施可能
- ・ 安全機能：ブレーキ付きハンドルとリモート操作可能な緊急停止・復旧機能を装備
- ・ 移動機構との統合：12m クローラ式高所作業車に搭載したロボットアームにより、切羽面への系統的なアプローチが可能

【実証実験結果】

国道 121 号湯野上 2 号トンネル工事での実証実験は、坑口から 1102.8m 地点の切羽（写真-2）で行いました。切羽後方約 200m に設置した遠隔操縦室（写真-3）から遠隔操作により岩盤を打撃し、力触覚フィードバック機能により、遠隔地から岩盤の硬さや柔らかさを感覚的に認識できることを確認いたしました。作業者は安全な場所から、従来の岩検ハンマーによる打撃検査と近い感覚で岩盤の硬軟を把握することが可能であることが実証されました。

【今後の課題と展開】

現在、取得した物理データと実際の岩盤強度との相関関係を分析し、圧縮強度の定量的評価手法の確立を進めています。また、本システムで実現した遠隔物性判定技術は、トンネル工事以外の建設分野においても活用が期待されます。特に、人の近接が困難な場所や危険な作業環境での地質調査や構造物検査における安全性向上技術としての展開を目指します。

【本件に関するお問い合わせ先】

株式会社竹中土木

経営企画室広報グループ Tel：03－6810－6224

E-mail：koho1941@takenaka-doboku.co.jp