

コンクリート吹付け自動化システム



切羽直下での吹付け作業を自動化し、飛躍的に安全性向上

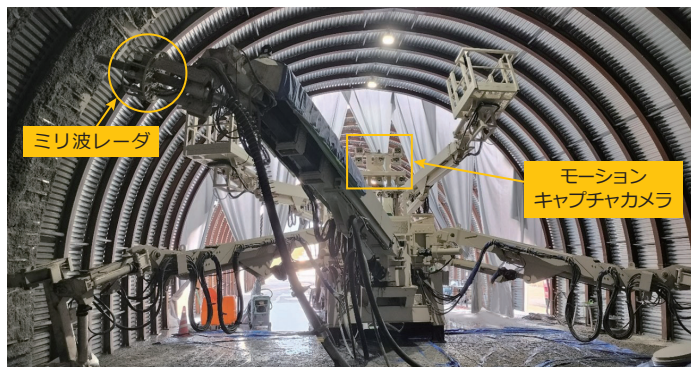
本システムは、エフティーエス(株)、戸田建設(株)、西松建設(株)、前田建設工業(株)との共同開発技術です。

概要

山岳トンネル現場のコンクリート吹付け作業において、吹付け厚さをリアルタイムに計測・表示しながら、自動で吹付けを行うシステムです。切羽直下に立ち入る必要がないため、安全性が向上し、精神的・身体的負担が軽減します。

開発の背景

山岳トンネル工事のコンクリート吹付け作業では、作業員が崩落のリスクのある切羽直下に長時間立ち入り、リモコンを操作しながら作業を行っていました。高粉じん環境下での作業であり、作業中はコンクリートの跳ね返りを受けるなど、作業員にとって苦渋作業となっていました。また、従来の手動吹付け作業は、熟練の作業員による経験を頼りに実施するため、作業員の技量に依存していました。本システムでは、これらの課題を解決することが可能です。

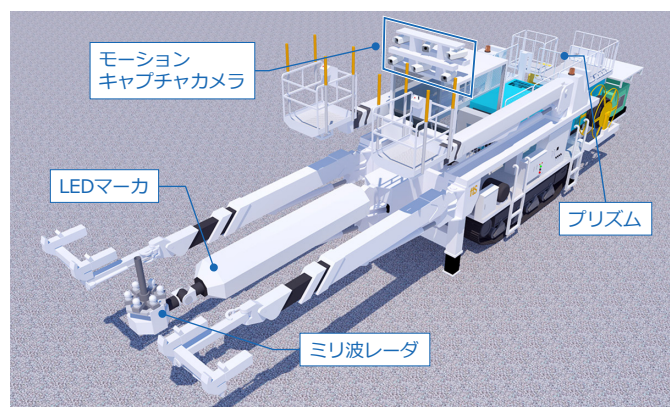


システムの概要

本システムは、既存の「吹付けナビゲーションシステム※」に、吹付けノズルの位置を制御する新開発の技術を適用することで、コンクリート吹付けの一連の作業を自動化したものです。

- ・吹付け機に設置したプリズムを測定し、モーションキャプチャカメラ位置を把握
- ・吹付けノズルの位置座標をリアルタイムに正確に計測
- ・LEDマーカにより高粉じん環境下でも吹付けノズルの位置を測定
- ・吹付け厚さをリアルタイム計測
- ・タブレット端末により吹付け厚さをリアルタイムに確認

※吹付けナビゲーションシステム：ミリ波レーダやモーションキャプチャカメラを装備し、従来の吹付け作業効率を損なわず、リアルタイムに吹付け出来形を定量的に確認できるシステム



吹付けノズルを誘導する制御技術

○吹付けロボットの動きを自動制御

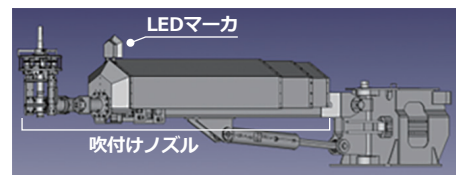
トンネルの設計断面データおよび吹付けを行う位置座標を事前にインプットし、これらをもとに吹付けロボットの伸縮距離および上下左右の振り角度を演算処理します。吹付け面と一定の距離を保ちながら吹付けノズルを移動させます。

○吹付けノズル位置を自動補正

吹付けノズル先端の位置座標は、吹付け機の位置と姿勢により補正が必要となります。LEDマーカを測定することにより、リアルタイムに吹付けノズルの位置を補正します。

○手動による微調整

微調整が必要な場合（トンネル支保工の裏側への吹付けなど）は、タブレットPCで容易に操作できます。緊急時は、自動運転から手動運転に切り替えることも可能です。



吹付けロボット
(吹付けナビゲーション搭載)



タブレット画面

システムの効果

○作業員の安全性向上と負担の低減

切羽の直下に立入る必要がないため、切羽の肌落ち災害リスクが大幅に低減され、作業員の精神的・身体的負担が軽減できます。

○確実な吹付け厚さの確保と仕上がり面の平滑化

ミリ波レーダにより、吹付け厚さをリアルタイムに可視化した管理が可能です。また、従来の手動吹付け作業と比べ、作業員の技量に依存しない凹凸の少ない平滑な吹付けが可能です。



従来の手動吹付け状況



自動吹付け状況

手動吹付けと自動吹付けの仕上がり比較

エフティーエス(株) 那須塩原テクニカルセンター模擬トンネル内にて、従来の手動吹付けと自動吹付けを実施したところ、自動吹付けエリアは従来の手動吹付けエリアに比べて凹凸が少なく吹付け表面が平滑な仕上がりになっていることが確認できました。



手動吹付けと自動吹付けの仕上がり比較

吹付けオペレータの負担軽減効果

吹付けオペレータに、従来の手動吹付け作業時と自動吹付け作業時にウェアラブルセンサシャツを着用させ、作業中の心拍数、心拍数と動きの速さ（加速度）等のバイタルデータを取得することにより、吹付けオペレータの負担軽減効果を定量的に評価しました。

○心拍数

吹付けオペレータに作業負荷がかかる従来の手動吹付け作業では、大部分の時間で安静時の一般平均心拍数60～100bpmを大幅に上回っています。従来の手動吹付け作業時と自動吹付け作業時の心拍数を比較すると、最大心拍数と最小心拍数ともに自動吹付け作業の方が低いことが確認できました。

○作業強度

心拍数と作業量に応じて受ける体の負担を加速度から算出した指標「作業強度」を従来の手動吹付け作業と自動吹付け作業で比較しました。自動吹付け作業の方が作業強度が明らかに軽減しています。吹付け作業全般の自動化により、吹付け状況や自動化機械の監視に専念できるためと考えられます。



ウェアラブルセンサシャツと管理画面

