

小断面トンネル用自動吹付機の開発

株式会社 熊谷組 正会員 ○坂西 孝仁
株式会社 熊谷組 宮川 克己
株式会社 熊谷組 正会員 手塚 仁

1. はじめに

近年 FIT（電力固定価格買取制度）により小断面山岳トンネル工事は活況を呈しているが、換気設備は断面の小ささから風管の直径を大きくできず、十分な換気容量を確保するのは難しく、特に吹付作業時は劣悪な粉塵環境下にあり作業員の負担は大変大きくなる。しかしながら昨今の換気指針の改定等を見ても作業員に対して保護の観点から至急対応が必要である。その解決策の一つとして無人化施工技術を活用した操作室からの遠隔吹付けが問題を克服する試みの一つとされ、粉塵ガイドラインで推奨技術に挙げられている。しかし小断面トンネルの吹付作業では遠隔操作は通常の無人化施工と違い狭いトンネル空間であり、映像カメラの情報のみでは十分とは言えないので、自動化によるアプローチ技術も必要となると考えて、試作機を開発したが、その基礎的な研究を基に実機の吹付機を製作したので紹介する。

2. 試作機

実機製作前に吹付自動ロボット試験機を開発して基本的実験を実施した。

2. 1 試作機の基本システム



写真-1 吹付機試作機

様々な断面形状や距離に対応したオペレーター吹付動作の記録を PLC（Programmable Logic Controller）で行い、より再現するため微妙な吹付制御がされる。

2. 2 試作機の結果と問題点

点位置		教示運転	自動運転	巻厚差
上段	左	80	74	6
	中	102	99	3
	右	99	25	74
中段	左	76	59	17
	中	133	170	-37
	右	128	80	48
下段	左	57	97	-40
	中	71	138	-67
	右	108	99	9

表-1 試作機吹付誤差

今回使用した試作機のベースマシンは竹内製作所製ミニショベル 1.6t 級で可動部分各所にセンサーを設けた。センサーは、吹付ノズル（左右、前後）、ブーム（上下、左右、伸縮）、上部旋回体の各 6 軸に取り付け、各軸の移動量を計測、記録する。自動吹付機システムは小型バックホウをベースに自動吹付ロボット機能を搭載し、オペレーターの吹付作業を忠実に再現できる教示（ティーチング）システムである。吹付ロボットの可動部にセンサーにより各可動部の移動量を計測することで、吹付ノズル先端の現在位置と姿勢の把握と、

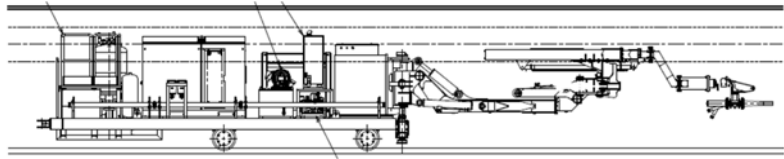
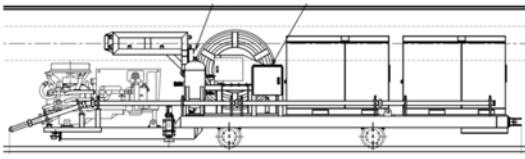
試験結果は負荷のかからない吹付塗装試験ではほぼ同じ個所をトレースして吹付をしていたが、実際にコンクリート吹付をすると、乾式吹付時には、平均すると別添表の通り最大 74mm の巻厚誤差となった。動作が上手く行く場合とそうでない場合が続き吹付位置が安定しなかった。動作を分析すると吹付ポンプの脈動によりホースが引っ張られてノズル位置がずれていくことが確認できた。この原因の一つとしてノズル回転部は油圧モーターであることから位置がずれ易くなると考えられた

キーワード 吹付機，自動運転，遠隔吹付，小断面トンネル機械，作業環境改善
連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 （株）熊谷組 土木事業本部機材部 TEL 03-3235-8627

3. 小断面用吹付機開発

問題点を改良した実機の開発を進めた。仕様は以下の通りとなる。

3. 1 機械仕様



形式		レール式一体型コンクリート吹付機
寸法	全長	1両目12795mm、2両目7775mm
	全幅	1450mm
	全高	1両目1990mm、2両目2040mm
重量		18.7t
吹付機	仕様	乾式仕様AL285搭載 MAX10m3 11kW
吹付ロボット	電力	油圧ポンプユニット11kW
	伸縮長	アームブーム3500mm
コンプレッサー	仕様	37kW×3台
その他		急結剤添加装置、水ポンプ搭載



図-1 新規開発吹付機仕様

小断面用吹付機であるのでレール式コンプレッサー搭載型吹付機である。吹付機は2両編成で1両目には自動吹付ロボット、急結剤添加装置、水ポンプ、急結剤添加用コンプレッサー、配電盤が搭載されている。2両目には乾式アリバ285吹付機、ケーブルリール、レシーバタンク、吹付機用コンプレッサー2台が搭載されている。吹付機はスライド長3500mm確保されており、今回導入予定の現場における長孔発破や拡幅部削孔に対応したものとなっている。今回は乾式仕様として吹付機AL-285を搭載しているが、湿式仕様として通常のコンクリートポンプへの変更も可能な構造となっている。また液体急結剤搭載も可能になっており、その場合はコンプレッサー1台を降しそのスペースに設置をする。

3. 2 自動運転機能

自動運転は試作機と同じティーチングプレイバック方式である。しかし油圧モータによるノズル回転部のずれを防止するためにアクチュレータ式回転ノズルを採用している。油圧シリンダを回転方向に変える方式であり格段にずれの低減と制御が容易になると考えている。ティーチングの記録時間としては120分を確保しているので1サイクル分の時間容量は十分にある。またノズルの首振りや、回転などの反復動作の読み込みが可能である。

3. 3 吹付管理モニター



写真-2 吹付リアルタイムモニター画面

今回吹付リアルタイムモニターを搭載している。吹付機の回転数からコンクリート投入を計算し、急結剤、水ポンプ水量もリアルタイム表示されるだけでなく、特に乾式吹付では管理が難しいW/Cの値も表示する。コンクリート吐出量、急結材吐出量、水ポンプの調整ダイヤルを動かしてもリアルタイムにW/Cが計算表示される。その他、機械エラー情報等も表示され、この吹付状況データは1Hzでデータは内蔵のSDカードに保存される。またWiFiを搭載しており、坑内LANに接続することにより事務所や本支店からも現在の状況や携帯や保存データを確認することができる。今後はこの機能を活用して遠隔操作等の使用を考えている。

4. 今後について

まずは基本的な吹付機機能を確認して、その後に自動吹付精度の確認と、投入予定現場における自動吹付使用方法の検討を行っている。現場においては自動運転のほか、遠隔操作等の実験試験施工を実施して、より良い環境で吹付作業が可能な吹付機を完成させたいと考えている。