

小断面コンクリート吹付システムの開発

(株)熊谷組 正会員 ○坂西孝仁
 (株)熊谷組 宮川克己
 (株)熊谷組 正会員 手塚 仁

1. はじめに

トンネル工事は前方の地質把握は難しく、岩盤崩落などの危険がある工事である。加えて山岳トンネルにおける吹付け作業はコンクリートの粉塵環境下にあり、作業員保護の観点から至急対応が必要である。無人化施工技術を活用した操作室からの遠隔操作等が、これらの問題を克服する試みの一つとされている。しかし今回取り組みをしている小断面トンネルの吹付作業では通常の無人化施工と違い狭いトンネル空間では、映像カメラの情報は限られたものになり、難しいことから自動化によるアプローチ技術が必要となると考えて、まずその試作機を開発し基礎的な研究をしたので紹介する。

2. 教示による自動化の取り組み

自動化のアプローチについては二つのアプローチ方法があると考える。

一つは塗装ロボットのように一定の軌跡と線速度を保ったうえで、定量の吹付を行う方法と吹付オペレータによる教示動作を記憶させて再現する方法がある。しかし電動モータ等による動作であれば精度よく制御も可能な前述のような制御方法が最適であると考えるが、吹付機の変動も大きく、油圧モータや油圧シリンダによる細かい制御では難しいと考えて、まずは教示動作を記憶させて再現する方法による壁面を吹き付けることを主体にシステムを構築し実験を開始した。



写真-1 吹付実験状況

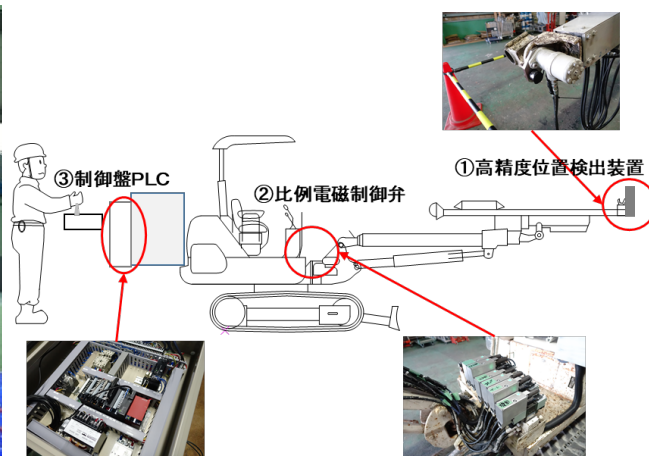


図-1 自動吹付システム概要図

試作機は従来からある吹付機を改良して製作した。①アーム、ブーム部、ノズル回転、前後等の稼働部分の全ての箇所に対してセンサを取り付けた。これを基に原点復帰位置の制御（コンクリート吹付実験後、一部センサを使用して負荷変動時のフィードバック修正機能を追加）とデータの取得を可能にした。②電磁弁は比例電磁式制御弁に交換して、油量の細かい調整をできるようにした。③制御用には PLC (programmable logic controller) を使用して熟練オペレータによる教示を行い、PLC にその教示動作を記録させて、作業を再現するシステムとした。当初は各比例電磁弁の開閉量と開閉時間を記録、各部センサによる教示開始点の記録をすることにして、小断面機械であるので記録時間は 30 分程度の教示動作は記録できる容量を確保した。このシステムを使用して幾つかの実験をして吹付機の基礎的特性を確認した。

キーワード 山岳トンネル、吹付コンクリート、遠隔操作、センサ、防塵対策、自動化

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. 動作実験

① レーザーマーキング実験

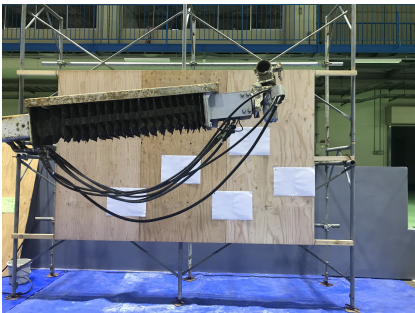


写真-2 レーザーマーキング実験状況

ノズル部に赤色レーザーポインタを取り付け、動作記録の教示モードにしてオペレータにより、壁面上を1点ずつ動かして初期点を台紙中央部十字クロス部に合わせる。全部5か所にポイントを設置した。次に再生モードで同じ点を照射するか、その差異を計測した。計測結果の1回目平均は $XY \pm 5\text{--}10\text{cm}$ の差異が生じたが、2回目以降は1回目と比較して $XY \pm 3\text{cm}$ の差異に収まる。これは2回目以降、原点復帰してから動作するので各の関節部にガタが同条件になると考えられる。これにより再度関節部の砲金やベアリング等を交換し調整した。

② 吹付マーキング実験

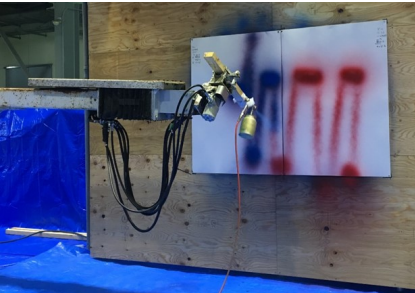


写真-3 吹付マーキング実験

ノズル部に赤色塗装用スプレーを取り付けて、教示モードによりジグザクに大型模造紙にスプレーをする。一度原点復帰後、再生モードにより青色塗装用スプレーで上書きをした。
計測の結果は $XY \pm 3\text{mm}$ 程度の際に収まり、負荷が小さい場合は原点位置を正確に戻し、関節部の調整等を実施すれば電磁制御弁の開閉制御のみで十分な再現性があることが確認された。当初油圧モータの再現性についてどの程度あるのか疑問であったが思った以上の成果であった。

③ コンクリート吹付実験

今までの実績から実際のオペレータにより模擬トンネルでコンクリート吹付実験を実施した。条件は小断面トンネルで使用されることが多い乾式吹付コンクリートで実施した。吹付マーキングテストで調整したシステムで吹付を実施したが、上下方向の差異が50cm以上になってしまいこのままでは、自動吹付は難しいことが確認された。そこでノズル回転方向のセンサを使用して電磁制御バルブの時間は教示・再生時間は一定にして開閉量をフィードバック制御する試みに取り組んだ。

実際の調整は簡単ではなかったが、ある程度の確率で下記のような吹付ができるようになった。実験は教示吹付面Bと自動再生吹付面Aに同じ高さ同じ間隔で9か所に計測ピンを打ち込み、厚みを比較した。

吹付厚を10cmと想定して吹付をしたところ、高さの相関性は $r = 0.72$ となり強い相関性があり、最大3cm以内に収まった。自動吹付としてはまずまずの成果であると考えている。

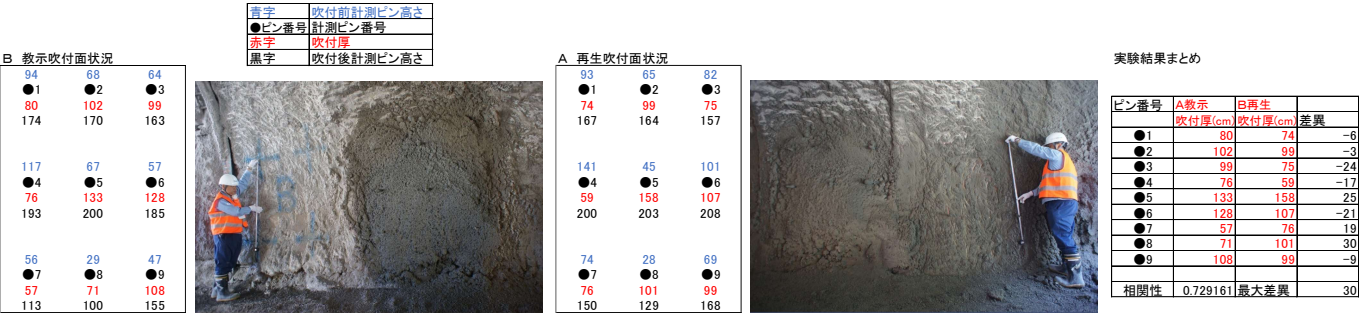


図-2 コンクリート吹付実験状況とまとめ

4. 今後について

今回の自動吹付システム実験は小断面吹付作業用ロボット開発の基礎的な方向性に関して検討する資料となった。小断面吹付ロボットであれば、回転やスライド等で十分に自動吹付可能であり、複雑な座標管理をしなくてもある程度の吹付が可能であることが示された。今後は油圧機器の大型化やシステムの更なる改良を進めて実現場投入を図るべく実験を進め、早い時期に実機の完成を目指したいと考えている。