

27. プレイバック形コンクリート吹付ロボット

(株)大林組 加藤 実・登坂 知平

(株)神戸製鋼所 *長谷川 清・小幡 光義

1. まえがき

日本の道路は縦貫5道がほぼ完成し、横断道に重点が移ってきている。そのためトンネル掘削技術が重要視され、日本道路公団では経済的、技術的に優位性の大きい NATM 工法を全面的に採用すると発表されている。NATM 工法では吹付コンクリートが支保の重要なメンバーの一つとなっており、この吹付け技術の習得を容易にするために、産業界で実績のあるプレイバック形ロボット技術を活用した自動吹付を試みた。吹付ロボット開発に際しては、人手吹き作業での下記の問題を解決することを目指した。

- 1) 作業環境の改善
- 2) 安全の確保
- 3) 吹付操作の容易性
- 4) 吹付コンクリートの品質向上
- 5) 吹付作業の能率向上

今迄にも機械化された吹付機はあるが、プレイバック形の吹付ロボットは初めてであり、電子装置の繊細さが土木機械の環境に合うかが心配であったが、反面、電子技術の発展を見るとき、建設業界にもその技術が全面的に取り入れられる時代も近いと予想し、プレイバック制御機能をもった吹付ロボットを選定した。

2 吹付ロボットの特徴

本ロボットを開発するに際し目標とした問題点の解決方法として次の諸施策をたてた結果、それ等の機能が本吹付ロボットの特徴として、操作性、生産性、信頼性、安全性の向上に寄与し得ている。

1) 簡便な操作

プレイバック形ロボットの難点は教示方法にあるが、本ロボットでは円弧上の3点と必要な場合、奥行方向の1点にアームの位置をリモート操作で合せるだけで教示が終了し、あとは計算で、台車の傾きを補正した上で、トンネル中心を求め



写真-1 ティーチング中のコンクリート吹付けロボット

アーム位置・ノズル向きを指令を出す。作業者はモードの選択を行なうだけでよい。

2) コンクリート打設効率と品質の向上

吹付面迄の距離を一定にし、ノズルを直角にすることによって、はね返りが減り打設効率を向上することができる。そのために教示によって求められたトンネル中心を基準にして、アームの位置、ノズルの向きを常時、計算してサーボシステムに指令を与えている。また、吹付面の形状によって吹付厚さを均一にするための割込操作と、コンクリート供給量の変化に対応した吹付速度の選択が可能で、コンクリート厚さの均一化が容易に実現できる。

3) 作業能率の向上

準備作業としての教示は前述の様にアームを回転させてノズルと吹付面との距離を合わせるだけでよく、吹付作業時には、円弧・奥行・支保工の各モードの切替に加えて、割り込み操作によって作業範囲を変更でき、また吹付部の状況に応じてノズルの振巾傾きが任意に変更できる。さらに動作領域を8段階に変更して各種の大きさのトンネルに適用できる。

4) 信頼性の確保

トンネル内作業であることから、高温度、高粉塵に耐え、また、コンクリート吹付中はロボット停止はできないことを前提に、その対策を講じた。すなわち制御系統は防水・耐振構造とし、計算機のメモリは可動部のないIOメモリを用いて信頼性を上げるとともに、誤操作にはそれぞれ表示を出し、操作ミスによるロボットの停止がないように配慮している。また、万一計算機がダウンした時には直接、サーボ弁を操作して作業を続けることができる。

3 ロボットの概要

本吹付ロボットは、図1に示すように、走行台車部、ロボット本体部、制御装置部で構成されている。

3-1 走行台車部

吹付ロボットをトンネル内で移動させる役目と、吹付中に安定した位置を確保する役目をもっている。

標準としてクローラ形台車を用意し、ロボットの安定と狭いトンネル内での他の機械との干渉を少なくするよう配慮している。

3-2 ロボット本体部

吹付ノズルを保持し、トンネル内面に直角になるよう、前後方向と左右方向に移動させるノズル駆動部に2つのサーボ機構を設け、さらにノズルを所定の半径方向および奥行方向に移動させるアーム部分に、旋回、前後、上下アームに3つのサーボ機構を設けている。駆動方法として、小形で大きな力

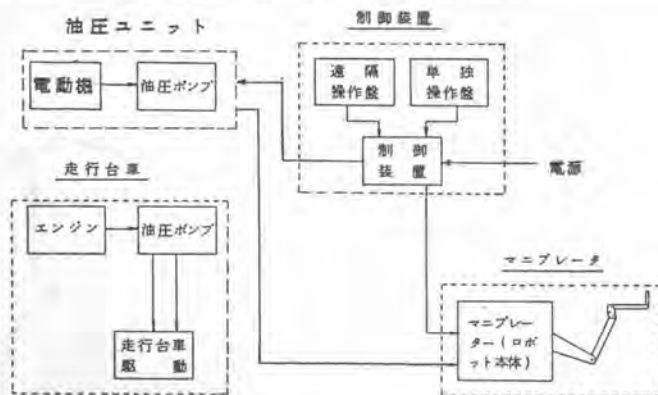


図-1 主要ユニット構成概念図

これ等は全てノズルの保持部の位置で示し、実際の吹付けにはノズルの長さも、吹付面迄の距離を加算して、対象トンネルを選定する必要がある。吹付面迄が1.7 mとすると最大11 m、最小4.5 m迄可能である。

3-5 操作の概要

走行台車でトンネル中心附近にロボットを据え、遠隔操作盤でアームを動かし、内面迄の距離を一定にして円弧上に3点教示する。奥行方向に制限がある場合は奥行方向にアームを移動させて4点目を教示する。

吹付けは円弧方向を主に所定ピッチ毎に奥行に移行する円弧モード(図-2)、奥行を主に所定ピッチ毎に円弧方向に移行する奥行モード(図-3)の何れかを選択し、自動作業に入る。

ノズルの向きは常に内面に直角になるよう計算されているが、吹付けを分散させ平均化するよう所定の振巾でのジグザグ動作がかけられる。自動運転中に特定の場所に集中して吹付けを必要とする場合は、図-5の様に割込みをかけることができる。自動動作のピッチは10~40 cm、速度は5~30 cm/秒のステップで変更が可能である。

4 吹付けテスト結果

場 所	大林組 東京工場 モデルトンネル
実験条件	生コンクリート、吹付量 2 m^3 、リードガン吹付機、マテリアルホース、ゴムノズル
実験データ	吹付能力 $3.4 \sim 5.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 、ノズルスピード 10~20 cm/秒 吹付厚サ 7~17 cm、リバウンド量 20~25%

5 あとがき

現在、直径7.8 mの水絡トンネルで実験中で、モデルトンネルよりも操作になれ、効率良く作業中である。今後はコンクリートおよび供給装置とのシステム化、さらにトンネル内清掃作業、塗装作業へも本ロボットが適用出来るように試みたい。

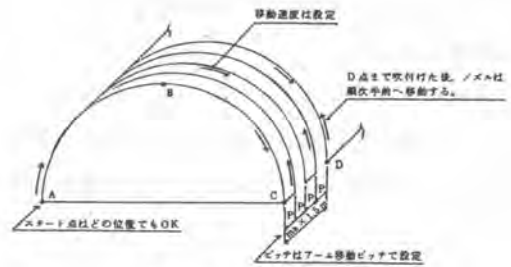


図-3 全自動運転内張モード

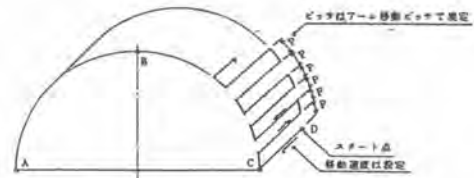


図-4 全自動運転奥行モード

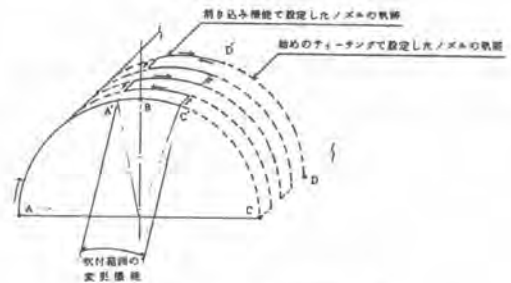


図-5 全自動運転時の割込み機能の一例