

口頭発表 | 第VI部門

2025年9月11日(木) 15:10 ~ 16:30 224 (熊本大学 工学部2号館 (黒髪南キャンパス))

## 施工技術(1)

座長：大谷 英夫 (大成建設)

15:40 ~ 15:50

### [VI-587] 裏込め注入工法に適したウレタン注入機の開発

\*坂根 一聡<sup>1</sup>、樋口 晃輔<sup>1</sup> (1. フジモリ産業株式会社)

キーワード：注入機、裏込め注入、ICT、小型化、トンネル、品質管理

裏込め注入工法は、覆工背面と地山の空洞を充填する方法で、発泡ウレタンがよく使用される。従来の注入機は大きく、狭小な現場への運搬・設置、運用が困難だった。「fair-mini®」は専用プリント基板を開発・利用することで小型化を実現し、この問題を解決を図った。さらに、リモート操作や自動帳票機能を備え、効率と安全性を向上に貢献可能な注入機とした。5つの現場での運用では、通信の信頼性とリアルタイムのデータ共有が確認され、品質管理や工事管理にも寄与し、利便性の向上につながった。

The backfill grouting method fills voids between the lining and the ground, often using foam urethane. Traditional injection machines are large, making transportation, installation, and operation in confined spaces difficult. The "fair-mini®" addresses these issues by using a custom PCB for miniaturization, enhancing efficiency and safety with remote operation and automatic reporting features. Field tests at five sites confirmed reliable communication and real-time data sharing, contributing to improved quality and project management.

## 裏込め注入工法に適したウレタン注入機の開発

フジモリ産業㈱ 正会員 ○坂根 一聡 樋口 晃輔

### 1. 裏込め注入について

裏込め注入工法は、覆工背面と地山との空洞を裏込め注入材で充填する工法である。一般的に、トンネル背面に空洞があり、地山から岩塊が崩落した際、突発性崩壊となり覆工へ過大な荷重が作用することが懸念される場合に、対策方法の一つとして使用される。裏込め注入に用いる注入材には、セメント系注入材と非セメント系注入材がある。非セメント系注入材としては、代表的な材料に発泡ウレタンがあり、平成15年以降では、「道路トンネル変状対策エマニュアル(案)」(平成15年2月独立行政法人 土木研究所)において緊急性を要する場合、硬化時間が1~3分程度と早く、軽量である発泡ウレタンの採用が可能であることが記載され、全国的にも発泡ウレタンの採用事例が増えてきている。

### 2. 注入設備

発泡ウレタンの注入に必要な設備として、注入機、コンプレッサー、発電機がある。使用する注入機は、ポンプを動かすモーター、注入状況を判別するための圧力計、各種データを演算するPLC、注入量・圧力・流速等の現在値を表示する表示部と、各種データを記録するチャートレコーダー等で構成される。機器構成上、小型・軽量化することが難しい。一般的な注入機の仕様を図-1に示す。道路トンネル等、4tトラックに設備を搭載して、注入箇所へ運搬可能な場合においては、注入機が大きい事は問題とならないが、水路等狭小な現場においては、施工箇所へ持ち込む事が困難であり、長距離圧送で注入を計画する場合があるが、モーターの大型化、注入ホースの口径拡大や本数増加が必要となる上に、閉塞等リスクが高くなり、施工性が低下する。

新設トンネル工事の補助工法に使用されるウレタン系注入機は、裏込め注入工用の注入機と同様な機器構成だが、求められる性能が異なることから、各パーツの性能は異なる。補助工法用注入機の仕様を図-2に示す。

高圧注入に耐えられるようにモーターは大出力であり、台数も6台が標準である。機器制御は基本的にPLCを使うことでセンサ等の値を元にした制御に対応している。PLCに搭載されている通信機能を利用することで、デジタルデバイスを用いた遠隔操作(図-3)、表計算ソフト上に注入データを出力し、データの二次利用も容易な機能を持っており、裏込め注入工で使用される注入機よりもICT化進んでおり、高機能である。裏込め注入工において使用される注入機はモーターの台数は2台だが、制御盤はあまり小型されておらず、ICT化についても、省人化・利便性向上は望まれているものの、遅れている。今回、新設トンネル工事で使用されているウレタン系注入機のデジタル機能をそのままに、裏込め注入工に適した、小型・軽量化した注入機の開発を行った。

### 3. 小型・ICT注入機の開発

注入機は一般的にPLCによる制御を行っている場合が多い。一般的な注入機の制御盤内を図-4に示す。PLCは、信頼性が高く、メーカーの用意した様々な開発パッケージを利用でき、システム変更やプログラムの修正、アップデートが容易である。その特性のため、注入機だけでなく、工場設備や建設



項目	仕様
寸法	1100L×570B×1100H
重量	200kg
電圧	三相 200V
吐出量	7.0kg/min

図-1 裏込め注入工 注入機例



項目	仕様
寸法	1600L×850B×1660H
重量	650kg
電圧	三相 200V
吐出量	10.0kg/min×3系統

図-2 補助工法 注入機例

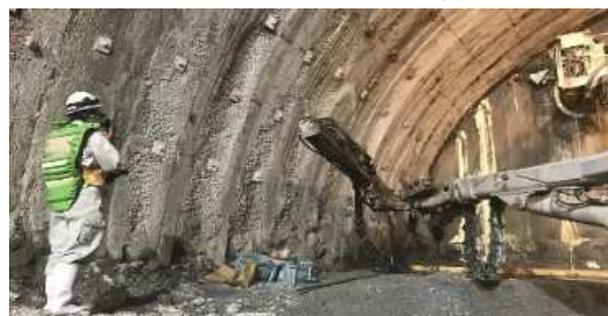


図-3 補助工法 注入機遠隔操作時状況

機械等、色々な場面で使用されているが。今回、小型・軽量化を図るにあたり、PLCの制御を図-5に示す専用プリント基板(PCB)に組み込む形へ変更。PCBにすることで、寸法の自由化が可能になった。PLCで制御する場合、電源・信号変換器等、必要なパーツを含めると200W×250H×130Dのサイズが必要だったが、PCBでは、200W×200H×21Dとなり、体積比で1/7以下に小型化することに成功した。PLCと関連機器間の配線作業が無くなったことも小型化につながっている。

PCBとPLCの比較を図-6に示す。PCBを選択することのデメリットとして、プログラム変更の難易度が高くなり、システム変更が困難となる点がある。この問題点を、Androidタブレットを利用することで解決を図っている。一般的に制御時に変更になる、設定注入量や、上限圧力などに関する制御の一部に関しては、タブレット側に担当させることで、現場でのPCBファームウェアの更新を不要にしている。タブレットの構成は、データロギング用と遠隔操作用と、2台で運用する形とした。遠隔操作用の一台のみとすることも可能だが、注入現場は狭小であり、コンプレッサー、発電機等も設置しているため、電波による通信が一時的に切れた際、記録が必要な重要な注入データが欠損する恐れがある。データの冗長性を担保するため、機械側には、有線でPCBと通信を行うタブレットを用意することで、このリスクを回避する方法を選択した。

#### 4. 現場での運用

合計5現場において使用、使用状況を図-8に示す。注入箇所手元で、圧力や注入量を確認しながらポンプ操作を行うことで、より確実に注入監視が可能であった。遠隔操作端末での通信においては、幅・高さともに2m程度の空間において、注入機と注入箇所が25mの距離離れた場合においても、問題無く通信可能であった。狭小な現場においても、注入箇所の横で注入機を操作できた。各注入孔のデータにタブレットからすぐにアクセスできることで、リアルタイムに施工者、管理者、発注者間の情報共有が可能な事が、注入現場での品質管理や工事管理にも寄与し、利便性の向上につながった。

#### 5. まとめ

裏込め注入工に適した、小型化したICT注入機「fair-mini®」の開発で、狭小な現場でも遠隔操作、自動帳票といった便利な機能を利用できるようになった。Androidの機能を利用し、スマートウォッチへの通知を利用することで、従来の視覚、聴覚ではなく、触覚を利用した通知方法にも対応することが出来ている。「fair-mini®」を展開することで、裏込め注入工の施工環境の改善に努めていきたい。



図-4 注入機 制御盤内PLC設置状況



図-5 注入機用PCB

項目	PCB・組込制御	PLC
目的	特定の機器やシステムの動作制御	産業用機械や設備の自動制御
使用例	家電製品、自動車、スマートフォン	産業用機械、エレベーター、施設内のポンプ制御等
プログラミング言語	C言語、アセンブリ言語	ラダー図、FB図
ハードウェア	マイコン、専用チップ	入力部、出力部、演算装置、記憶装置、電源装置

図-6 PCB・PLC比較

名称	注入機イメージ	仕様	
ST型 注入機		寸法	ポンプ：300×200×700 制御盤：400×400×300
		機械重量	22kg
		電源	AC100V
		遠隔操作	タブレット・リキコン
		データ保存	タブレット2台にて保存 (1台は予備として利用)
M型 注入機		寸法	900×600×700
		機械重量	140kg
		電源	AC200V3相
		遠隔操作	タブレット・リキコン
		データ保存	タブレット2台にて保存 (1台は予備として利用)

図-7 ICT注入機「fair-mini®」仕様



図-8 現場使用状況

キーワード 注入機、裏込め注入、ICT、小型化、トンネル、品質管理

連絡先 〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町4-4-10 フジモリ産業(株)西日本土木資材課 [TEL:06-6228-3864](tel:06-6228-3864)