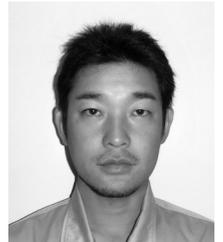


# 解説 自動化への挑戦

## 自動化技術で負担低減 安全と品質確保



よしだ けいそう  
吉田 桂三

機動建設工業(株)  
関西支店  
工事部課長補佐

### 1 はじめに

当社が、大口径管の長距離・急曲線（多曲線）推進工事の施工を本格化させたのは約15年前頃からです。私はこの時期から主に大口径管の推進工事に携わってきましたので、今回の「自動化施工への挑戦」のテーマでは、大口径管推進の自動化について執筆させていただきます。

当時の長距離・急曲線（多曲線）推進工事の施工に際しては、「如何に低い推進力を保ち、管列を乱さず曲線軌道を形成し、所定の日進量を確保しつつ施工を行うか」ということが課題でした。そのため、自動化施工への取り組みは、おのずと重要なファクタとなりました。

長距離推進工事に適した工法として、当社は主に泥水式推進工法を採用しました。泥水式工法は、基本的に掘進中は掘進機内や推進管内での作業を必要としないこと、また、連続排土が可能であることから、自動化施工に最も適した工法であると思われたからです。

### 2 管理技術の自動化への挑戦

自動化施工に関してまず初めに取り組んだことは、「管理技術の自動化」です。管理上のロス無くし省力化を図り、安定した推進精度を確保することで、より円滑に推進工事を施工する

ことを目的としました。

当時の推進工事では、掘進サイクル完了後に光学測量で掘進機の位置を確認し、次回の掘進サイクルに対しての修正量を計算していました。しかしながら急曲線推進の場合は、1サイクル毎の変位量が大きいため、修正が遅

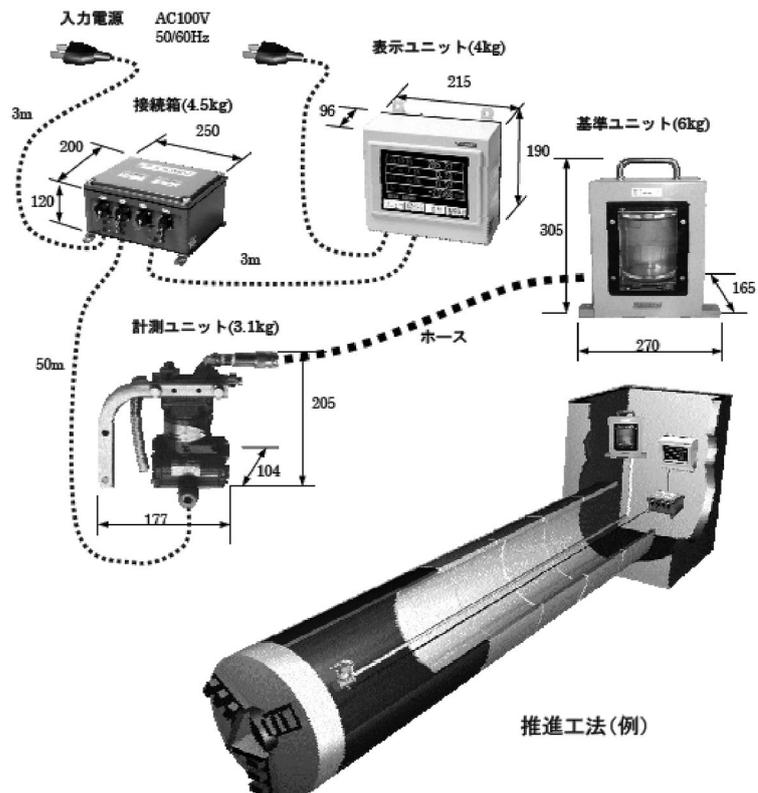


図-1 液圧差測定式レベル管理システム概要図

れたり（早すぎたり）することで推進精度を損なう恐れがありました。そこで、掘進中にリアルタイムに掘進機の位置と姿勢を把握することが必要とされました。

平面方向の掘進機の姿勢を把握するために、掘進機内にジャイロコンパスを搭載しました。基線方位に対しての掘進機の方位と立坑内の元押ジャッキスピード（ストローク）を同時に計測することで、掘進機の管理座標値を積算により求めるためです。これを、パーソナルコンピュータ（パソコン）を用いてシステム化したものがジャイロコンパスナビゲーションシステムです。しかしながら、ジャイロコンパスナビゲーションシステムでの演算結果が、必ずしも、掘進機の方位に対して進むとは限りませんでした。特に長距離推進の場合は、元押ジャッキストロークがある程度推進力伝達材（クッション材）に吸収されてから初めて推進力が掘進機に伝達されて動き出すため、タイムラグによる誤差の発生がありました。その他にも土質条件、追従する推進管列、掘進機の形状、推進管径等様々な施工条件により誤差が発生するために、掘進サイクル毎に光学測量で掘進機の位置を計測して修正しなければならないという問題がありました。

また、縦断方向の掘進機位置の測定には、液圧センサを掘進機に固定し、液圧センサと立坑に設置した基準タンクを水管で連結して水頭差により掘進機の高さを計測する方法を用いました。これをシステム化したものが液圧差測定式レベル管理システムです（図-1）。

液圧差測定式レベル管理システムは、推進工事では、圧力センサと基準タンクを連結する水管を掘進サイクル毎（推進管の継ぎ足し時）に脱着する必要がありました。しかしながら、当

時の水管はジョイントの品質が悪く、脱着の際に頻繁にエアが侵入してしまい計測値に異常が見られ、水管内のエア溜りを探し出してエア抜きするのに走り回っていました。現在ではジョイント部の品質が改善され、作業手順も確立しているためにトラブルはなくなり、縦断曲線を含む施工や縦断勾配が大きい現場で広く使用されています。

これらのシステムを使用しリアルタイムに掘進機の位置と姿勢を把握することで掘進中の方向制御が可能にはなりましたが、やはり計測値の確認を行うために、管内測量（光学測量）は推進工事には欠かせないものでした。しかしながら、推進管径が小さい場合、長距離・多曲線（急曲線）推進の場合、縦断曲線が組み込まれている場合等では管内測量の盛替回数が極端に多くなるため、測量に要する時間が増え、また労力的な負担も大きくなります。このため、管内測量の自動化が望まれるようになりました。

そこで管内測量の自動化技術として、「自動測量システム」（図-2）が導入されました。導入当初は、地上と管内での測量条件の違い、インバータによるノイズ、その他システム上のトラブル等の問題が数多く発生していましたが、現場毎に改善を重ね続けた結果、実用可能となりました。自動測量の実用化に伴い、現在では、各現場の管理職員の負担が軽減され、また測量に要する人員を減らすことが可能になりました。そして、安定した掘進精度及び日進量の確保に役立つようになりました。

自動測量システム導入と同時期に、「自動ガス検知システム」も導入されました（図-3）。自動ガス検知システムは、推進管内の任意の位置及び立坑内において24時間連続で測定を続け測定記録を残せるため、安全管理に役立ち、管理作業の負担軽減に繋がりました。

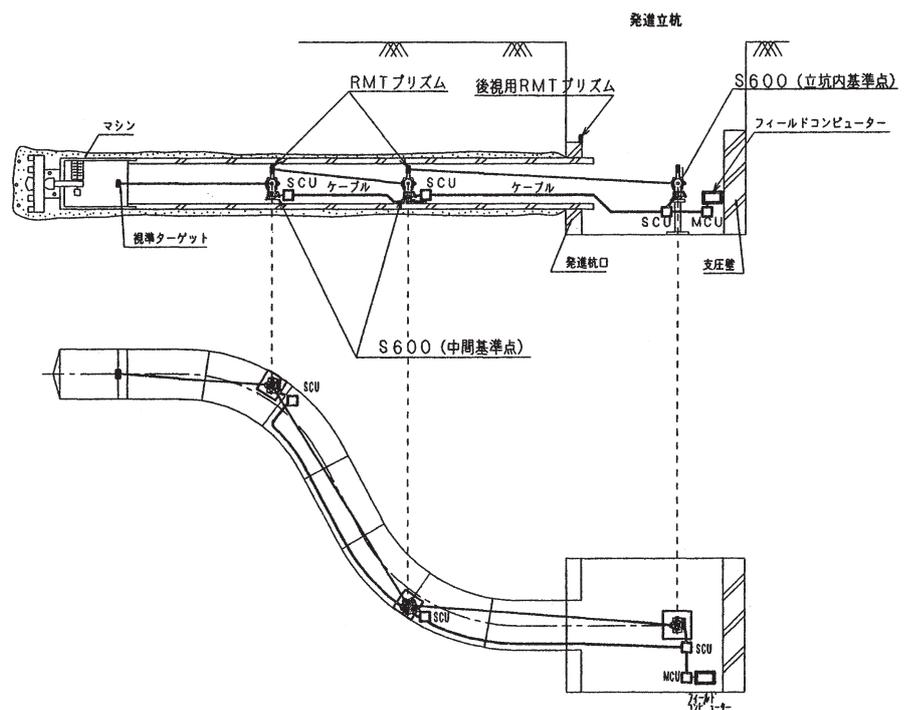


図-2 自動測量システム基本概念図

### 3 施工技術の自動化への挑戦

管理技術の自動化に併行して、施工面でも自動化技術の開発が行われていました。冒頭に、長距離・急曲線（多曲線）推進工事を施工する際の課題として、「如何に低い推進力を保つか」ということを述べましたが、低い推進力を保ち施工するために、新種の滑材の開発と滑材注入に関する手法が研究されました。

当時の滑材注入の手法としては、掘進機後方の推進管内に注入用バルブとホースを設置し、一次注入ラインのみで注入していました。しかしながら、長距離・多曲線（急曲線）推進は長期間の施工となるため、滑材の劣化・希釈等による周面抵抗力の増加、テールボイドの緩みによる地表面への影響の発生等があり、二次注入（通過した推進管路への補足注入）の重要性が問われるようになりました。二次注入の手

法としては、一次注入ラインとは別に二次注入ラインを設けて、二次注入ラインの各所に任意の数だけT字管と注入バルブを設置して、推進管内でバルブの開閉を行うことで注入作業を行っていました。しかしながら、掘進延長が伸びるに連れてバルブの設置箇所が増え移動距離も長くなるため、管内作業の負担も増加しました。一般に二次注入の不足による周面抵抗力の増加や地表面への影響は緩やかに発生します

が、当時の推進工事では、周面抵抗力を低減する作業に手間をかける意識が各作業員の中では比較的薄く、人的ミスや連絡ミス等も重なり、思うような管理が行き届きませんでした。当然のごとく、現在のような飛躍的な滑材効果はなく、大幅な周面抵抗力の低減が得られずに試行錯誤していました。そこで開発されたのが「自動滑材注入システム（現在の自動滑材充填システム URIS）」（写真-1）です。

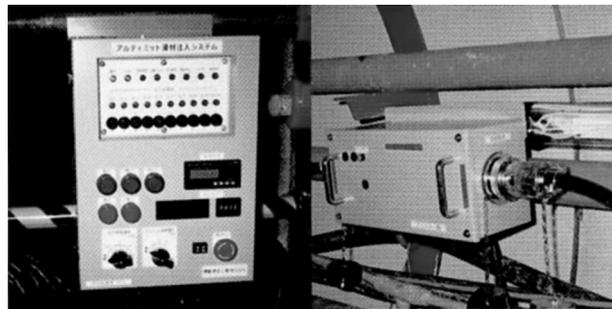


写真-1 アルティミット自動滑材充填システム URIS

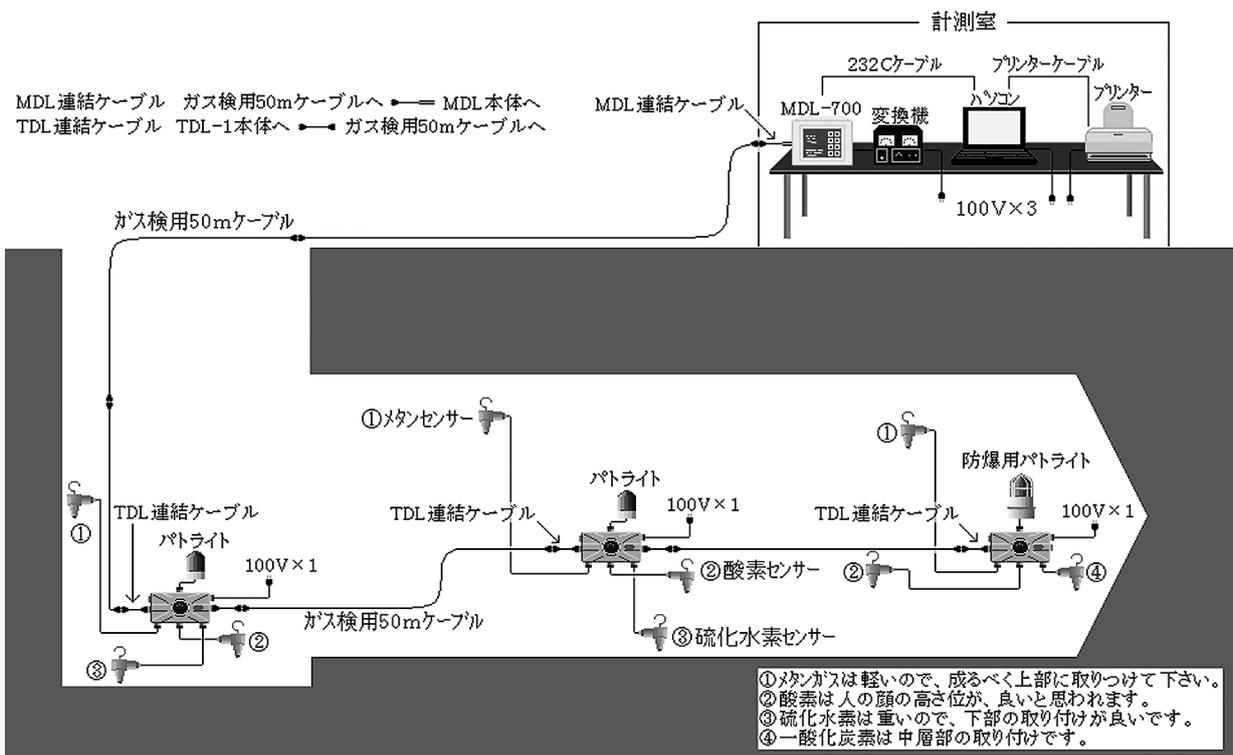


図-3 自動ガス検知システム設置概要図

自動滑材注入システムは、二次注入を行う場所を設定して、自動制御でバルブの開閉操作を行いながら、順次注入を行うシステムです。また、注入圧力と注入量（初期型の自動滑材注入システムには圧力計のみが装備されました）を計測して、管理値を設定することができます。私は当初、このシステムは基本的な二次注入の手法を自動化しただけであると安易に考えていました。しかしながら、滑材注入の自動化は、長距離・多曲線（急曲線）推進工事を管理するうえで非常に重要な要素であることに気がきました。自動化することにより、掘進1サイクル中に連続的に任意の箇所数分だけ任意の量の滑材を注入することが可能になりました。人力操作の場合では、注入箇所全てに作業員を配置しない限り、まず不可能な作業であり現実的ではありませんでした。また注入箇所を推進距離に合わせて次々と増やしていくことが可能となり、注入圧力により各注入場所の滑材の残存を確認しながら補足注入を行うことで、推進管路全てのテールボイドを滑材で保持することを考えるようになりました。このように滑材注入の管理を安定して行えることで、現在の飛躍的な周面抵抗力の低減が実現し、同時に大幅な作業負担及び管理負担の低減に繋がったと私は思っています。

その後も自動化技術の開発が進み、掘削土量管理システムや切羽保持システム、自動中押装置、切削抵抗検出装置等が開発されました。

## 4 自動化技術の統合

自動化技術の開発が進むに連れて、各々のシステムが単体で開発されたことも相俟って、表示計器等が増えたり重複したりすることとなり、逆にシス

テムが複雑化しているように感じられました。そこで、システムの利便性を考慮して、システムの統合に着手するようになりました。

例えば、管理技術面では、自動測量システム、ジャイロコンパスナビゲーションシステム及び液圧差レベル検出装置を同一のパソコンで起動することで簡素化することができます。施工技術面では、元押推進力、各中押推進力及び切削抵抗検出器のデータを取り込むことで区間毎の抵抗値を算出することができます。また切削抵抗値を計測することで、掘進機への推進力の伝達を確認しながら掘進機及び元押ジャッキ（中押ジャッキ）の操作を行うこともできます。その他にも各計測機器の信号を統合・変換して表示することで利便性をよくするだけでなく、様々な応用ができると思われました。しかしながら、システムの統合や計測機器表示の統一化は、技術的には思った程容易なものではありませんでした。このような自動化技術の統合には相応の開発費用が必要になりますが、経済情勢の悪化によりコスト重視の受注情勢が主流となり、コスト面に対する負担が大きく影響しました。企業や自治体の方々の中には、自動化施工の開発に賛同される方もいらっしゃいましたが、当社の推進工事の自動化技術への取り組みはこの時期より停滞し、システムの統合は実現途中にあります。

## 5 あとがき

現在の建設業界もコスト重視の受注情勢が続いていますが、入札手法をコスト重視から提案型重視に切り替えている自治体も多くあり、当社が自動化施工に取り組んできたことは大きな財産となっていると改めて感じています。そして、コスト重視の施工の中で

採用され続けている自動化施工の技術は、当社の推進技術の基盤となり、作業負担や管理負担の低減だけでなく、コストの低減にも反映されているものであると思っています。

今回のテーマで原稿の執筆依頼があった際に、推進工事では同じ条件下での施工というものは一切無いために、完全な自動化施工は難しいと最初に思いました。しかしながら、各々の現場の施工条件の中で計画し、その中に自動化技術を盛り込むことで作業負担及び管理負担を低減して、安全と品質を確保することが重要であると思っています。推進工事において自動化すべき課題は残されており、これからも、更なる自動化施工へ向けて挑戦することを忘れずに前向きに取り組んでいきたいと思っています。

## 〇お問い合わせ先

機動建設工業(株)

[技術本部]

〒553-0003

大阪市福島区福島4-6-31 機動ビル

Tel : 06-6458-6183

Fax : 06-6545-0274

[関東支店]

〒114-0004

東京都北区堀船2-19-19

パレ・ドール王子ビル5階

Tel : 03-5959-2281

Fax : 03-5959-2287

URL : <http://www.kidoh.co.jp>