

38. シールド掘削機の自動掘進システムの開発と実証

清水建設(株)：*河野 重行・菊池 雄一
宮沢 和夫

1. はじめに

昨今の急激な地下開発に対する需要増のなかで、構造物やその施工条件の複雑化が進み、従来以上の施工精度や高品質が求められている。また、若年労働者の建設業離れや熟練工の高齢化による労働力不足が大きな問題となり、高品質施工を可能にする各種の自動化技術が開発、導入されている。なかでもシールド工事は、もっとも自動化が進んでいるもののひとつであり、当社はシールドの自動搬送、組立技術、自動配管接合などと並行し、自動掘進システムを開発・実用化してきた。本論文において、これらの自動化技術のひとつである自動掘進システムについて、その概要を報告するとともに実際への適用状況を報告する。

2. システム概要について

シールド掘削機の姿勢制御は、従来、熟練オペレータがシールド坑内もしくは中央制御室において、目標ストローク差を実現するように、経験と勘によりジャッキパターンを決定していた。しかしながら、前述した熟練オペレータの不足による掘進精度の低下への危惧があり、熟練オペレータと同等以上の精度を持つ自動姿勢制御システムが望まれていた。また、並行して、進められている泥水輸送やセグメント搬送などの自動システムを取り入れ、総合的なシールド工事の自動化システムを構築するためにも、自動掘進システムの実現は非常に重要である。当社は、数年前から、自動掘進システムの開発に従事し、すでに6現場において、本格的に稼働し、高精度施工を実現している。

本システムは、自動測量システムと方向制御システムから構成される。

自動測量システムは、ジャイロコンパスまたは自動追尾式トータルステーション、レベル計、ピッチング計、ローリング計およびストローク計により、計画掘進線および目標掘進線(計画掘進線に戻すためのすりつけ線)に対するシールド掘削機の位置を自動的にリアルタイムに測量し、かつ光学測量により測量値をチェックするシステムである。

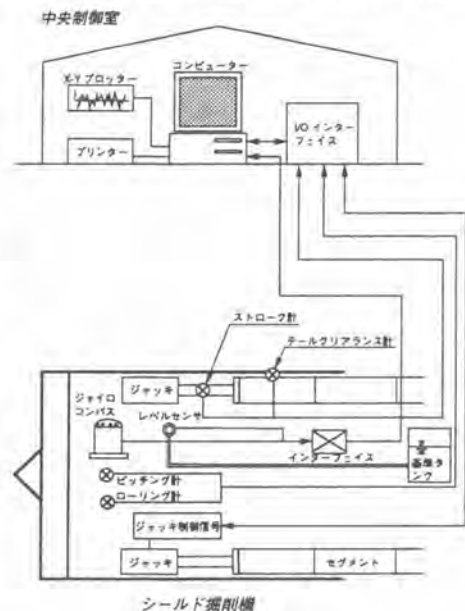


図-1 システム構成図

方向制御システムは、自動測量システムにより測量された目標掘進線に対する位置偏差（水平方向のずれ量、ずれ量の変化量、目標方位の偏差角、偏差角の変化量、鉛直方向のずれ量、ずれ量の変化量、目標方向とのピッチング偏差、ピッチング偏差の変化量）にもとづき、シールド掘削機を目標掘進線にのせるようにジャッキパターンを自動選択、出力するものである。最適ジャッキパターンを選択するためのパラメータとして、総推力の重心の掘削機中心からの位置を示す片押し度を用いた。得られた位置偏差に関する情報からジャッキパターンを選択する過程において、力学的関係に加え、熟練オペレータの経験をもとに両者の因果関係を表すルールを設定し、ファジィ推論〔1〕、〔2〕および〔3〕を用いている。本システムの構成図を図-1に、フローを図-2に示す。

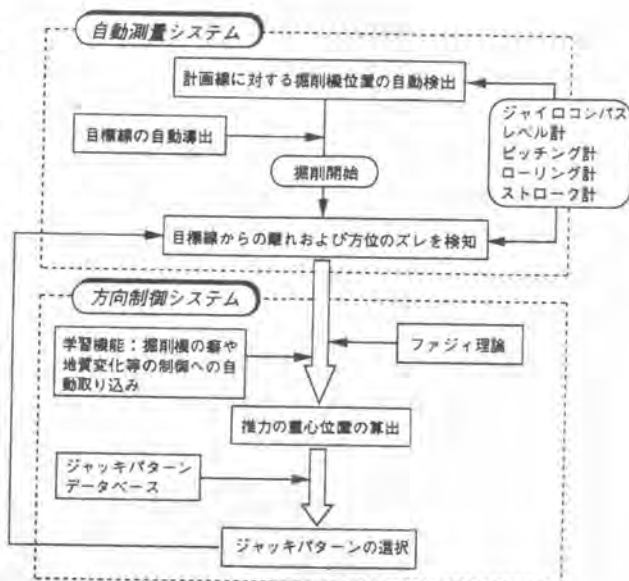


図-2 システムフロー

本システムは以下の機能を備えている。

- (1) 計測誤差自動補正機能：ジャイロコンパスを用いた曲線部掘削中の横すべりに起因する誤差を、自動的に統計補正することにより、位置計測の精度を確保する。
- (2) 学習機能：過去数リング分の掘進状況のデータをもとに、シールド掘削機の癖や土質の変化などによる制御度合いの変化に対し、自動的に制御度合いを調整する。
- (3) テールクリアランス自動取り込み機能：テールクリアランスを掘進中も自動測量し、セグメント設置後にスキムプレートとのせりが生じないように、出力されるジャッキパターンを事前に補正する。
- (4) すりつけ線自動導出機能：掘進開始時毎に、シールド掘削機の現在位置から、計画掘進線にすりつけるための目標掘進線を自動導出する。

3. 適用事例について

現在までに、東京都下水道局の竹芝シールド、東京電力（株）の船橋三咲シールドおよび塩浜シールド、営団7号線弁慶濠地下鉄シールド、京都市下水道局東大路シールド、東京都営12号線地下鉄シールドの6現場において、導入済みまたは稼働中である。

本論文においては、紙面の都合上、詳細は割愛するが、図-3に竹芝シールドにおける自動掘進の精度を示す。500リングから550リングにおいて、坑内測量によるシールド掘削機の先端の計画線からの離れをプロットしたものである。水平、鉛直とも管理値の±50mm以内に充分収まっていることがわかる。

塩浜シールドにおいては、N値が0～2という軟弱なシルト層中における4%の下り勾配では、シールド

掘削機の頭が計画線よりも下がってしまうことが懸念された。自動掘進システムの導入に際し、適切なチューニングを行うことにより、計画勾配より若干上げ気味にした自動運転が実現され、図4に示すように図3同様、掘進精度は管理値の±50mm以内に充分収まっており、高精度な掘進が得られた。

また、船橋三咲シールドにおいては、自動測量機能の高精度により、従来片番に1回の坑内測量を行っていたのが、本システム導入後は平均3日に1回の坑内測量でよく、省人化効果が非常に大きいことが確認されている。また、熟練オペレータが操作する代わりに、制御室において、女性がシステムの監視をしており、現場の雰囲気の改善に役立っている。

図5には、東京都営12号線地下鉄シールドにおける自動測量システムの概要を示したもので、ジャイロコンパスと自動追尾式トータルステーションを併用しており、自動的に互いに計測値を補完し合うことにより、実用性と計測精度を高めている。

なお、参考までに、コンピュータにおけるジャッキパターンの選択状況の表示画面を写真-1に示す。左のジャッキパターンは実際に出力されるもので、右側のジャッキパターンはファジィ理論を用いて計算されたものである。計算は、手動モード・自動モードに関係なく、写真の中央に示されているシールド掘削機の位置情報をもとに常時行われており、自動モードになった時に、計算によるジャッキパターンが実際に出力される。

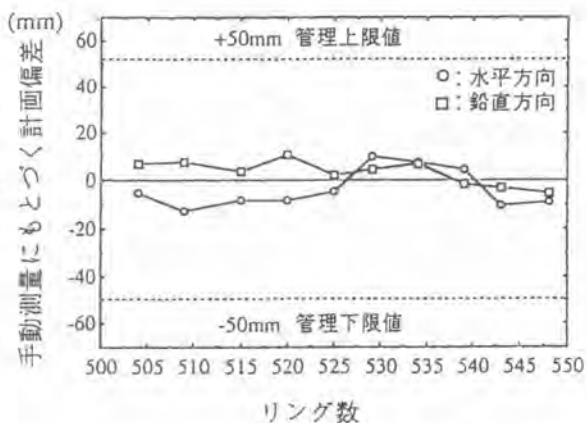


図-3 自動掘進精度 (竹芝シールド)

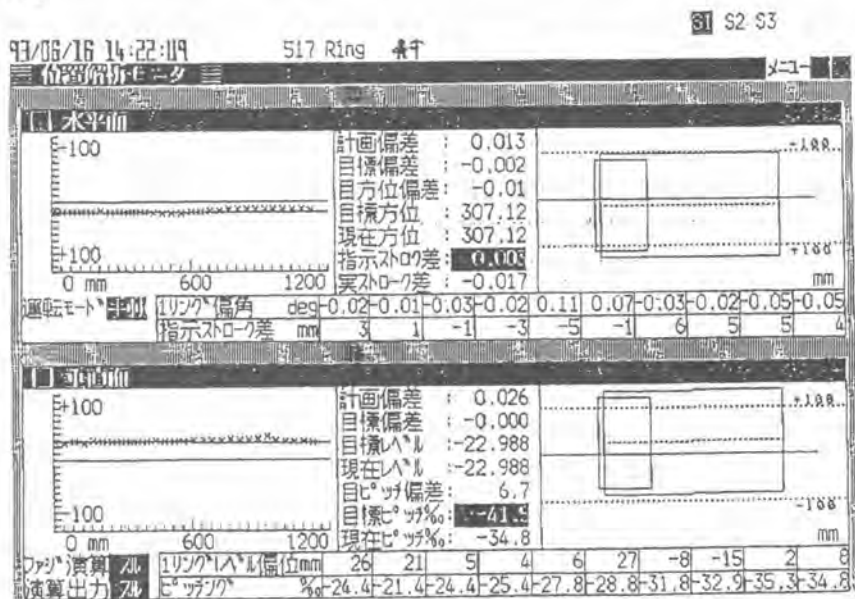


図-4 自動掘進精度 (塩浜シールド)

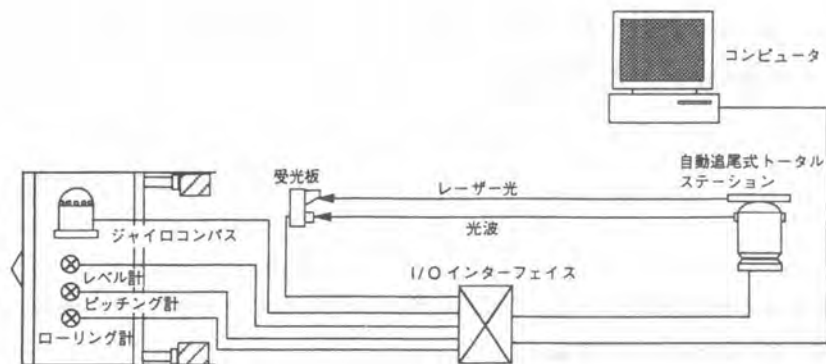


図-5 レーザー併用型自動掘進システム構成図



写真-1 ジャッキパターン表示画面

4. おわりに

熟練工不足が問われている建設業において、自動化は避けては通れない道であり、シールド工事における自動掘進システムの意義は大きい。今後とも、本システムの普及を図るとともに、データを解析することにより、より汎用性のあるシステムを目指すものである。

参考文献

- [1] 廣田薫、わかりやすいファジィシステム、株式会社テクノシステム、1989.
- [2] 三矢直城、田中一男、C言語による実用ファジィブック、ラッセル社、1989.
- [3] 菅野道夫、ファジィ制御、日刊工業新聞社、1988.
- [4] 河野重行他、シールド掘削機の自動掘進システムの開発およびその実証、土木学会第48回年次学術講演会、1993