

トンネル掘削機の自動掘進システムの開発およびその実証

石油資源開発（株）：吉野 進

川崎製鉄（株）：正会員 神津 一則

清水建設（株）：正会員 ○木村厚之、同 河野 重行、同 岩根 保男

1. はじめに：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問われて久しく、建設業においては各種の自動化・機械化が開発、導入されている。山岳トンネルは、シールド工事に比べ、現状において自動化の導入は遅れているようであるが、今後のさらなる生産性の向上、作業環境の向上、安全性の向上の必要性に対し、自動化の導入・普及は不可欠である。

今回、筆者らは、トンネル掘削機（以下TBMと呼ぶ）を用いた山岳トンネル掘削工事において、自動方向制御システムを開発・導入し、現在、その効果を検証中であるので、その概要を報告する。

2. システムの概要：著者らが、開発し、現在、稼働中であるシールドの自動方向制御システムと比較して、TBMの自動方向制御には、以下のような問題点がある。

1) シールドは通常、ジャッキの選択のみにより、姿勢制御するのにに対し、TBMは、前胴、中胴、後胴から構成され、4本のスラストジャッキの選択、4本のフロントグリッパジャッキのストローク差、4本の方向制御ジャッキのストローク差、2本のメイングリッパジャッキのストローク差によって、姿勢制御するため非常に制御が複雑である。

（図-1参照）

2) シールドは、既設置のセグメントを反力に進進するため、シールドジャッキの伸長による掘進中に後退しないが、TBMはメイングリッパと地山の間にすべりが生じる可能性があり、その結果、TBMがすべりを起こす。したがって、スラストジャッキの伸長をもとにした掘進距離の算出の精度に問題が生じる。

このような問題点を踏まえて、筆者らはTBMの自動方向制御システムの開発を行った。本システムの構成図を図-2に、システムフローを図-3に示す。

本システムは、位置計測システムと方向制御システムから構成される。

まず、位置計測システムは、前胴に設置されたジャイロコンパス、レベル計、ピッチング計、ローリング計および各ジャッキのストローク計および前胴の絶対掘進距離を計測するための自動追尾式トータルステーション

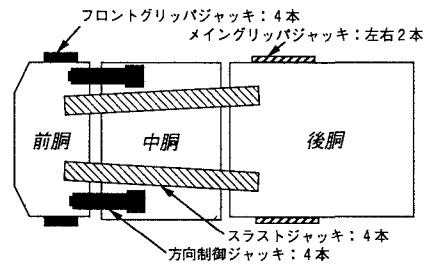


図-1 TBMのジャッキ構成

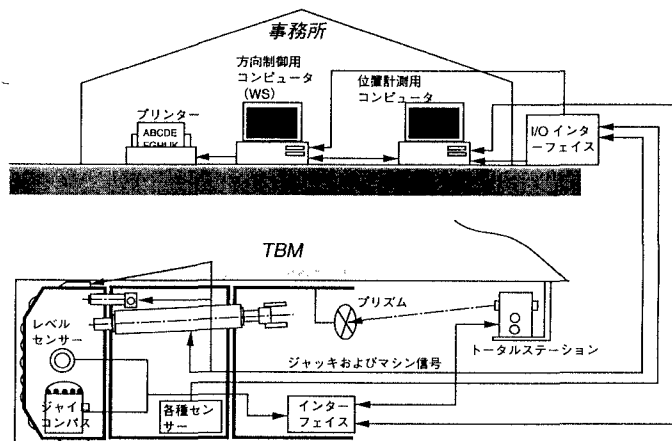


図-2 システム構成図

ンにより、TBMの絶対位置をリアルタイムに自動計測し、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TBMの相対位置（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）を計算・出力する。

方向制御システムは、位置計測システムにより出力された計画掘進線および目標掘進線に対するTBMの相対位置情報にもとづき、シールド掘削機を目標掘進線にのせるように4本のスラストジャッキのジャッキパターン、4本のフロントグリッパジャッキの各ストローク量および4本の方向制御ジャッキの各ストローク量を自動選択、出力するものである。ここでは、もり替え後の掘進中のTBMの姿勢を制御することを目的としたため、もり替え中の2本のメイングリッパのストロークの制御は本システムから除外した。各々のジャッキのストロークの増減量およびジャッキパターンは、図-3に示されるように、TBMの目標掘進線からの相対位置の度合いに対応して、両ジャッキの使用度合いを規定する優先度を自動計算し、決定される。

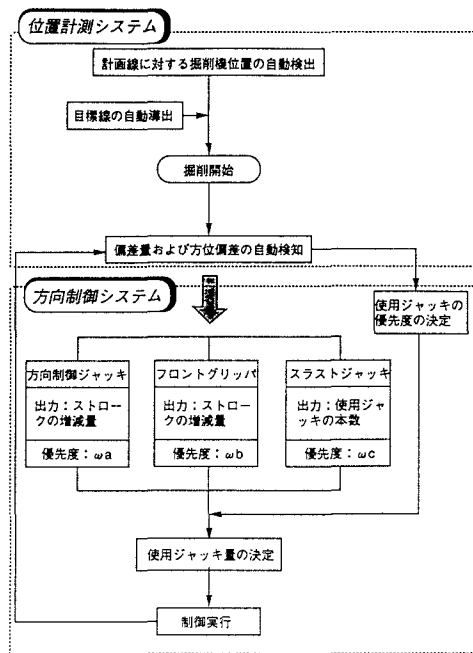


図-3 システムフロー

3. 実際への適用：本システムは、現在、山形県に位置する二井宿トンネルにおいて、導入済みであり、現在、その効果を検証中である。当トンネルは、掘削外形が2300mmおよび延長が1020.6mで、掘進方向に12%の上がり勾配であり、掘削ズリは流体で坑外に搬出される。したがって、狭い坑内では、TBMの掘削管理だけでなく流体設備の管理や資材管理などを集中的に行うことは困難であり、地上に集中監視室が設けられ、本システムが導入された。

導入当初は、オペレータのノウハウのシステムへの取り込みに苦労した。また、岩質が凝灰角礫岩の部分においては、当初の予想以上にTBM本体のすべりが観測され、急勾配での精度の高い位置計測の確保に苦労した。制御においては、極力、各ストロークに急激な変化が生じないように調整し、目標掘進線に従い、なめらかにTBMが推進するようにした。写真-1に本システムの表示画面を示す。本システムの効果の詳細は、紙面の都合上、割愛するが、発表時において報告する。

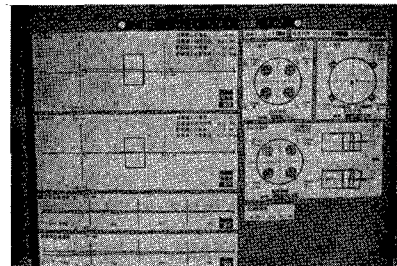


写真-1 システム表示画面

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、今回、著者らが新規開発した、TBMにおける自動掘進を可能にする本システムの意義は大きいと言える。今後は、地山評価などの情報をリアルタイムに取り入れることによって総合的な掘削管理を行う、より実用的なシステムの開発を目指すものである。