

VI-14 推進工法における自動方向制御システムの開発

（株）竹中土木 正会員 ○ 大西常康
 （株）竹中土木 花森裕司
 （株）竹中土木 菅野正徳

1. はじめに

中小口径管の埋設工法は開削工法と推進工法に大別できるが技術面、経済性等から開削工法を適用するのが一般的である。しかし、開削工法は道路事情の悪化、騒音、振動の発生および夜間工事の増加を伴う。このため、特に住民意識の高い都市部では社会環境の保全も含めて非開削化が社会的なニーズとなりつつある。一方、建設業に携わる熟練労働者の不足と高齢化は一段と深刻化しており、工程管理や品質管理の面でも次第に支障をきたしている。当社においては既開発の自動測量システムが実用化しており、その成果を踏まえて推進工法における自動方向制御システムを開発し成果を上げた。以下にその内容を報告する。

2. 自動方向制御システムの概要

本制御システムは、推進機の位置、姿勢を計測する自動測量システム、推進機の制御方向、制御量を決定する姿勢制御システムおよび推進機の方角制御ジャッキを制御するジャッキコントローラから構成される。本制御システムの概要を図-1に示す。

①自動測量システム

自動測量システムは、推進機内に設置するターゲット、立坑内に設置する検出装置および地上の監視室に設置する計測演算装置から構成され、蓄積した測量データから必要なデータを転送する。

②姿勢制御システム

自動測量システムから送られる推進機の現在位置、軌跡および姿勢角の各データと内部に記憶させてある知識をもとに論理的な推論（パターンマッチング）を行う。推論により推進機の制御の必要性が判定されると、次の処理で修正方向と修正量を決定して制御指示をジャッキコントローラに送る。

③ジャッキコントローラ

ジャッキコントローラは、制御指示をもとに現在の修正ジャッキのストロークをモニターしながら電磁弁の制御を行う装置である。制御終了は現在のストローク差が指示量と一致した段階とし、制御終了の信号を姿勢制御システムに返送する。また、一定時間制御を継続しても制御不完全の場合、その信号と推進機の方角制御ジャッキのストローク量を姿勢制御システム算部に返す機能を有している。

3. 制御手法

人の判断の多くは外界から得られる情報と、知識、経験、勘と言った曖昧で主観的なものから得られるため、既知のアルゴリズムが不明確な人の判断をコンピュータで肩代するのは難しい。これに対しファジー理論の応用も考案されているが、本制御システムの開発は人工知能やエキスパートシステムの研究に用いられる論理型言語のプロログ（PROLOG: PROgramming in LOGic）で行った。

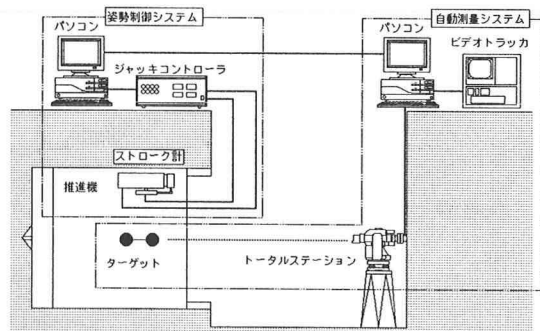


図-1 システム概要

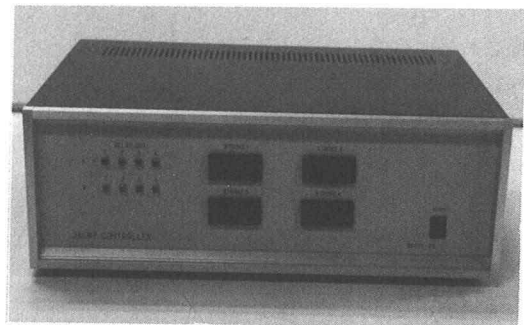


写真-1 ジャッキコントローラ

本制御システムの制御手法は、推進機の方角制御に大きく影響を与える要因を4つに大別している。

①推進軌跡

施工経験者の調査では、後方のヒューム管が推進機の方角制御に影響を与える範囲として5～10m（ヒューム管2本～4本）と答えている。本制御システムでは図-2のように9m分の位置データの中の4点の位置データをパターン化する。この軌跡パターンと偏位量をもとに、方角制御の必要性の有無を判定し、制御が必要と判定された場合、今度は手前3mの軌跡パターンから、次の推進機の挙動を予測し基本となる制御方向、制御量を決定する。

②姿勢角

ピッチングとヨーイングは推進機の垂直、水平方向の動きに対応し、図-3のように姿勢角は推進機に先だてて変化する。本制御システムは姿勢角データの変化状況をパターン化し、そのパターンから推進機の挙動予測を行い軌跡から求めた制御量と総合的に判定して制御方向、制御量を決定する。

③修正量

推進機の姿勢制御を行う場合、常に計画線形に対して±0mmとなる修正を行うと、推進軌跡に蛇行・湾曲を起こす可能性が高い。本制御システムでは計画線からの離れ量に応じて複数のエリアを設定し、これまでの軌跡パターンに対し、各エリアで最適と考えられる修正目標に対する制御量を選択する。

④過去の制御の効果の判断

本制御システムの制御が姿勢制御対しどの程度有効であったか判定を行う。この判定結果をもとに制御手法の選択順位や各パラメータを変更し、次の制御にフィードバックさせる。

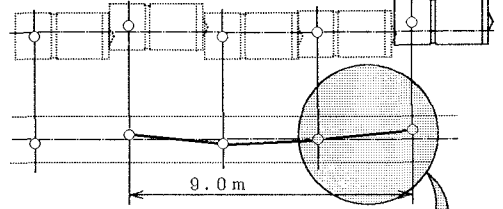
4. 実施工での適用結果

実施工に本制御システムを導入して50cm毎の制御を行った適用例を図-4に示す。制御方向は推進機の方角制御ジャッキに修正する方向を示し、量の0～3は修正量の大小を表す。今回の場合、0～3が制御ジャッキのストローク差0～9mmに相当するように設定した。本制御システムの制御と推進機の軌跡を比較すると、計画線を越えないように現在までの推進状況を取った適切な制御が行われていることが判る。

5. まとめ

これまでの研究開発を通して本制御システムの制御手法が、推進機の姿勢制御と言った主観的で曖昧性の強い事柄を制御する一手法として有効であることが判明し、実施工に適用した結果、任意のタイミングでの姿勢制御が可能であり、熟練労働者と同等以上の姿勢制御を行うことが確認されている。また、現在本制御手法のシールド工法への応用を検討中である。

【方向制御の必要性の判定】



【修正方向及び修正量の判定】

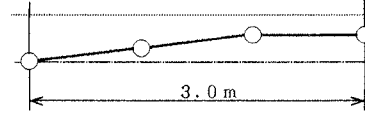


図-2 軌跡パターンの決定方法

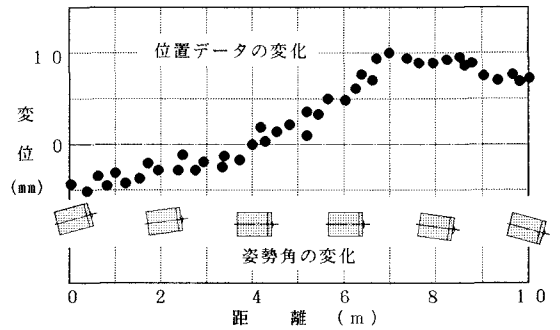
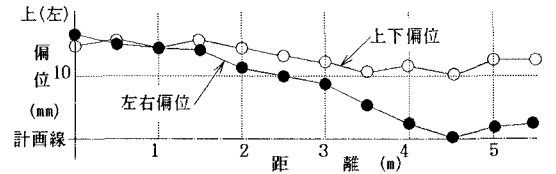


図-3 推進機の偏位と姿勢角の関係



距離 (m)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
制御方向	右下	右下	右	右下	右	直進	左	左	左上	左上	直進	直進
量	3	2	2	1	1	0	1	2	1	1	0	0

図-4 実施工への適用例