

VI-159 ファジィ制御を用いた小口径トンネルロボットの方向制御システム

NTT筑波フィールド技術開発センタ 正員○河野貞夫 NTT 黒沢友博
同 上 川上宏一郎 NTT 原田美浩

1. はじめに

NTTは、非開削による通信ケーブル用管路の布設工法として長距離曲線施工が可能な圧入式1工程方式の推進工法を開発し、これまでに施工延長60km、長距離では260m、曲線施工では曲率半径80mの施工実績がある。従来、先端装置の方向制御は、オペレータの経験や勘に依存しており、工事の施工精度はオペレータの技術力に大きく左右されることから、技術力を有する熟練オペレータの需要は高い。しかしながら、熟練オペレータの養成には多大な時間と経費を要するため、工程量の増大に伴って熟練オペレータの不足が問題になっている。そこで、熟練オペレータ不足の問題解消や推進制御における省力化を目的に、適切な制御量をファジィ推論によりオペレータに指示する機能を備えた高精度な推進システム(ファジィ制御システム)を作成し、実地盤へ適用し性能を評価した。

2. 従来システムの概要及び問題点

本システムは、無排土圧入方式により内径300mmの管を推進する工法であり、推進管の内部には内径75mmの通信ケーブル用管路を7条布設できる。推進は図1に示すように①先端ヘッドを伸ばし土中に圧入する②先端ヘッドを縮めると同時に元押し装置で推進管を押し込む、というプロセスを繰り返すことにより行う(複推進方式)。これにより推力が低減できるため、長距離施工が可能となる。光学測量が適用できない曲線区間での適用を考慮して先端装置の位置検知には、電磁界

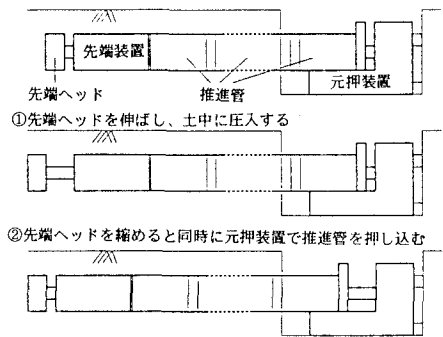


図1 推進手順

を利用した水平位置検知方法(先端ヘッド内部に収納した発信コイルから発生する電磁界を地上で受信器で検出して、計画線からの偏位量を測定する方法)、液圧差を利用した垂直位置検知方法(シリコンオイルの満たされたパイプの端部の圧力と基準圧力の差を測定して垂直の計画線からの偏位量を測定する方法)を採用している。方向制御は、先端ヘッドを強制的に傾動し、先端装置を追従させることにより行う。

方向制御操作により方向が変化する際、先端装置は周辺の土から何らかの力を受けることになるが、この力の方向・大きさは、土質条件、埋設物等の影響により変化するので、制御量に対する姿勢角変化量(制御効果)の応答は定式化できない。

3. 高精度化システム技術の概要

本システムは図2に示すように、先端装置、元押し装置、パワーユニット、操作盤およびオペレート支援装置からなる。オペレータ支援装置はデータ処理機能、制御量推論機能、データモニタ機能を有している。まず先端装置に搭載されているピッチング計、ローリ

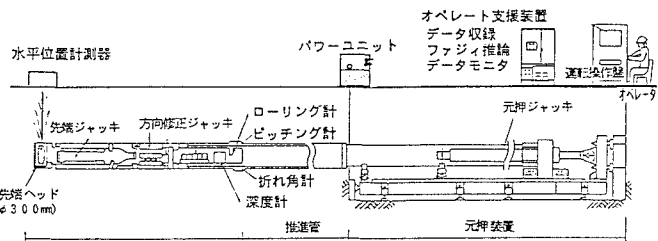


図2 システム構成

ング計、折れ角計、深度計、電磁法等のセンサデータを基に先端装置の姿勢、位置を計測し、水平方向、垂直方向の2方向について先端装置の計画線からの位置、姿勢のずれ量(偏位・偏角)を算出する。次に、これを入力値として予め蓄積されている制御則を使って推論を実行し、制御量(先端ヘッドの傾動角)を決定し、CRT上に表示する。オペレータは表示された指示通りの制御を行うことになる。前に述べたよ

うに制御量と制御効果の応答特性は明確でないため、制御則は、熟練オペレータの制御法を模倣する事により作成した。こうして作成した制御則には、あいまいな情報が含まれており、このままではこれをシステムに組み込むことはできない。従って制御則をファジィルールの形で表現し、ファジィ推論を実行した。以下にその方式概要および実地盤への適用結果を示す。

4. ファジィ推論

センサデータより先端装置の位置、姿勢を計算し、それを入力値としてファジィ推論をおこない、適切な制御量を出力するものである。

熟練オペレータからのヒアリング調査により、システムの入力項目を計画線勾配・水平位置・深度・水平折れ角・ピッチング角、出力項目を先端ヘッドの傾動角と定め、「計画線から外れたとき急激な修正は行わない」、「位置の偏差が小さければ方向の偏差を小さくする」を制御の基本的な考え方とした。

ファジィ入力変数は、偏位、偏角とし、それぞれに対し、7つのファジィラベルを対応させた。ファジィルールは、上記の基本的な考え方を考慮し、7つのファジィラベルを用い記述した。

偏位・偏角に対するメンバーシップ関数は、熟練オペレータの施工実績のデータを基に定めた。

5. シミュレーション

ファジィルール、メンバーシップ関数の妥当性はダイナミックモデル¹⁾を用いたシミュレーションにより行った。ある施工現場Aを対象にシミュレーションを行った結果、偏位-偏角図が図3中実線のように得られた。比較的良好に収束していると判断できる。このルールに対し、計画線に近づけようとする制御を強くすると図3中破線のような結果が得られる。

この場合、オーバーランの挙動や制御量を

変える頻度が高く実際的ではないと判断できる。そこで、実地盤への本システムの適用の際には事前にシミュレーションを実施し、土質条件に適合するようにメンバーシップ関数、ファジィルールを調整した。

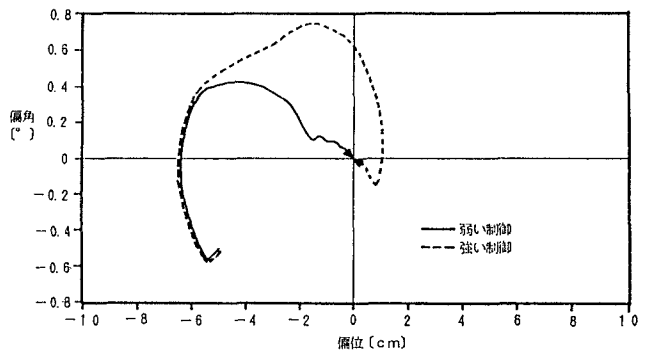


図3 シミュレーション結果

6. 実地盤適用試験

所内で実地盤(土質:ローム、N値:1~3)への適用試験を行い(推進距離:30m)、その制御性能、有用性の評価を行った。図4に垂直方向の偏位-偏角図を示す。良好に収束したと判断できる。

7. あとがき

今後は、本システムをさらに多くの現場に適用し、現場の諸条件に対する適合性を詳細に分析し、広範囲な現場に対応できる汎用性のあるシステムとする。

なお、この成果は建設省土木研究所との共同研究のテーマである「小口径推進工法の高度化に関する研究」によるものである。

参考文献

- 1) 青島伸一、藪田哲郎、武村秀: 小口径トンネルロボットのダイナミックモデル推定、第7回日本ロボット学会学術講演会論文集、pp715-pp716、1989

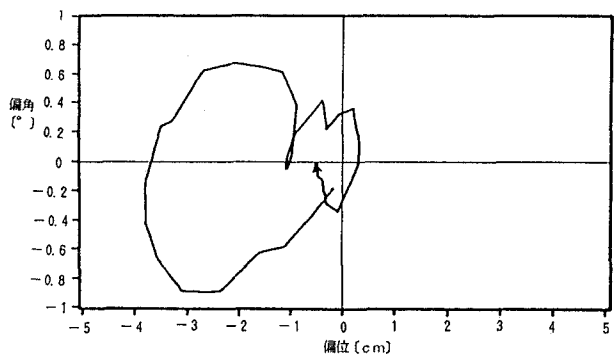


図4 実地盤適用試験結果