

44. 小口径推進工法の運転支援システム

建設省：杉山 篤・高津 知司
（株）小松製作所：中島 実・花本 忠幸
*高橋 典夫

1. はじめに

都市部における上下水道や電力等のライフライン施設は、今後ますます整備されてゆくが、従来の開削工法では、工事中の騒音、振動など地域住民への影響や、交通障害等の問題が懸念されている。そこで最近では技術の開発が著しい非開削の推進工法において、中でも下水道整備が急速に進められていることと相まって小口径推進工法の採用が急速に伸びてきている。そして、わが国の土質の複雑さのため、それらに対応するために多種多様な工法が開発された。

今後小口径推進工法がさらに発展し、普及して行くためには、工事の効率化、省力化、施工精度の向上を図る必要がある。現在、小口径推進工法の実施工において、その操作判断は熟練オペレータによる経験的技術に頼っている現状であり、工事需要に対応できないことが予想される。その解決のため熟練を要しなくても高精度推進の行える操作制御システムの開発が要求されている。本共同研究では、建設省；「官民連帯技術開発プロジェクト／小口径管渠掘進制御システムの開発」の一環としてAI等自動化技術を利用した高精度掘進工法の開発を行う。

2. 装置の構成

(1) 圧入式（圧密式）2工程方式の概要

圧入式2工程方式は1工程目に圧密によりパイロット管推進を行い、2工程目に拡孔掘削しながらヒューム管推進を行う。掘削式ヒューム管推進はスラリー排土方式とスクリー排土方式の2つの選択ができる。（図1参照）

本方式において、高精度なパイロット管推進が重要である。パイロットヘッドには、2次元揺動式パイロットジャッキによる方向修正機構と、複板式レーザーターゲット・傾斜計等の高精度な位置・姿勢センサが装備されている。

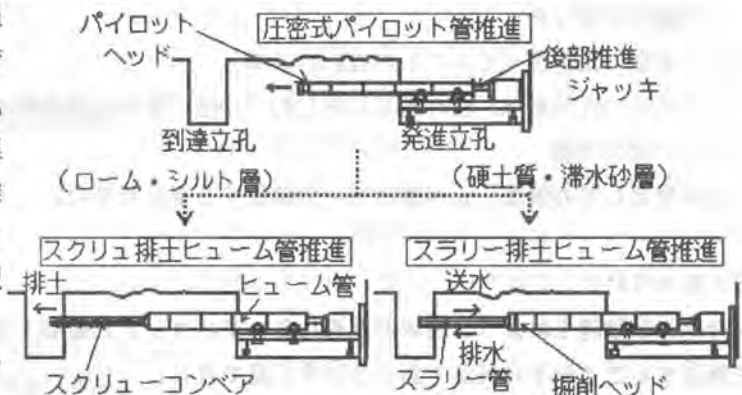


図1 圧入式二工程方式の概要

(2) 運転支援システムの構成

本システムはパイロット管推進時の方向修正アドバイスを中心機能とした運転支援エキスパートシステムである。システムの構成は、図2に示すとおり①センサ群（レーザーターゲット、傾斜計等）、②入力装置（キーボード）、③コントローラ、④表示装置（CRT）からなっている。ソフトウェアの構成は、①エキスパートシステム部、②自動計測部、③ファジィ推論部からなっている。

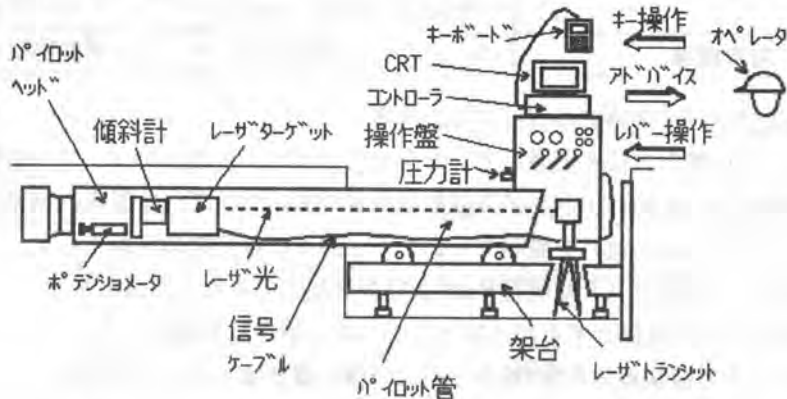


図2 運転支援システムの構成

本システムの主要機能は、①パイロット管推進中の自動計測値とファジィ推論による方向修正アドバイス機能、②施工上の不具合警告、対応策のアドバイス機能、③施工データの履歴の表示機能の3つである。図3に示すアドバイス画面が本システムの主画面であり、メニュー選択により随時他画面への切り換えを行える。また、本システムの仕様を表1に示す。

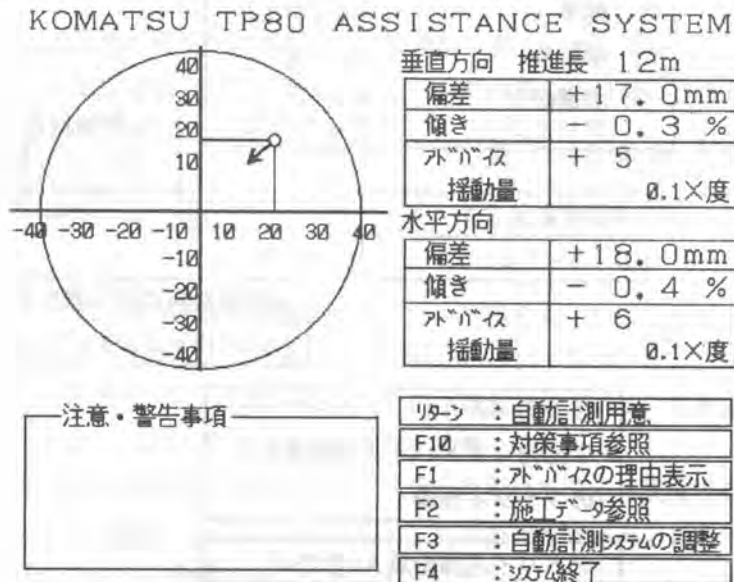


図3 システム画面例（アドバイス画面）

表3 運転支援システムの仕様

項目	仕様
方向修正操作量のアドバイス	ファジィ推論方式(21ルール)
不具合警告・対策案のアドバイス	警告内容18件、対策内容8件
システム構成	センサ群、キーボード、コントローラ、CRT等
自動計測項目	ジャッキ圧(パイロット・後部推進)、 方向修正操作量、パイロットヘッド部の偏差・姿勢角
対象機種	圧入式2工程方式 + レーザ姿勢検出装置

3. 方向修正アドバイスのアルゴリズムの構築

熟練オペレータの操作方法を模倣して、方向修正アドバイスのアルゴリズムを構築した。垂直方向の方向修正のためのアドバイス揺動量決定のアルゴリズムを図4に示す。下記(1)～(4)でアルゴリズムの流れを説明する。また、図5に各変数の定義を示す。

- (1) 設計勾配Sと偏差Hnと傾斜角 θ_n および曲進傾向のkを入力値とする。
- (2) 目標傾斜角 θ_M (目標とするパイロットヘッドの傾き)を設定する。
- (3) 傾斜角 θ_n と目標傾斜角 θ_M の差 $\Delta\theta_M$ と $\Delta\theta_M$ の積分値 $\Sigma\Delta\theta_M$ の設定する。
- (4) (3)の2値を入力値とするファジィ推論を行い、アドバイス揺動量 A_n を求める。

(但し、メンバーシップ関数・制御則はオペレータのヒアリング結果と過去の施工データをもとに調整を行った。)

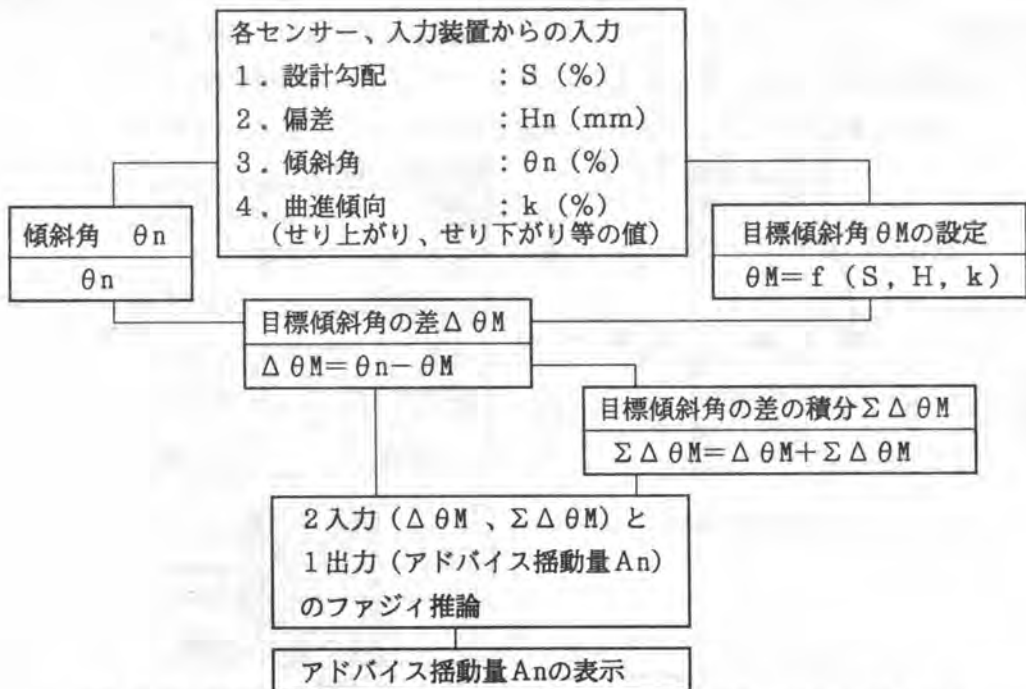


図4 垂直方向の方向修正のためのアドバイス揺動量決定のアルゴリズム

4. 方向修正アドバイスのアルゴリズムの検証

まず、精度良く敷設できた過去の施工データ4例を使って評価した。図4のアルゴリズムに基づき偏差や姿勢角のデータからアドバイス揺動量を計算し、それを施工データに書かれた熟練オペレータの揺動量と比較した。評価は、

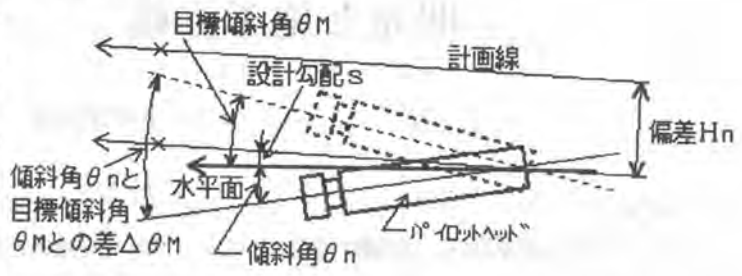


図5 パイロットヘッドの目標傾斜角、傾斜角と偏差

統計的な相関度と1人の熟練オペレータのアンケートによる官能評価によった。表4に示すとおり良好な結果を得た。

表4 熟練オペレータの揺動量との比較による計算結果(アドバイス揺動量)の評価

データ		A	B	C	D
施工条件	土質	砂	腐食土	シルト	シルト
	N値	20	3	2~5	2~5
	パイロットヘッドの揺動量	50mm	300mm	100mm	200mm
評価	施工難度	難	難	普通	普通
	標準誤差	0.49	0.58	0.69	0.59
	相関係数	0.74	0.78	0.79	0.78
熟練オペレータによる評価	○	○	○	○	

次に本システムを現場(茨城県相馬郡のガス管理設工事)に持ち込み、アドバイスどおりの実施工を行った。施工精度は下記のとおりであり、目標精度をほぼ達成できた。

- ①施工条件…土質:砂、N値:2~7、土被り:約3m、わき水多量、推進長:約58m、設計勾配:0.0°-3°
- ②施工精度…(対計画線)垂直方向: +10~-22mm、水平方向: +11~-16.5mm
(目標値…計画線に対して、垂直方向: ±30mm以内、水平方向: ±50mm以内)

5. まとめ

- (1) 熟練オペレータの操作論理の解明と、ファジィ推論の利用により熟練オペレータの操作方法を模倣したパイロット管推進時の方向修正アドバイスのアルゴリズムを構築できた。
- (2) 過去の施工データを使い、熟練オペレータの揺動量とアドバイス揺動量の計算結果とを比較してアルゴリズムの検討を行い、良好な結果を得た。
- (3) 運転支援システムを試作し、試作したシステムを用いて58mの実施工を行ない、計測誤差を考慮しても目標値(垂直方向±30mm、水平方向±50mm)を達成できた。

今後は、試作したシステムの各機能のグレードアップを行い、実施工テストをとおして高精度掘進を支援する運転支援エキスパートシステムの完成をめざす。