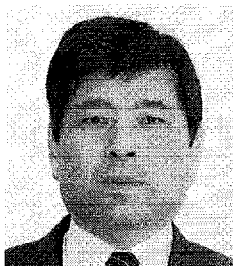


「小口径管推進工法の高度化に関する研究」

AI利用技術の開発

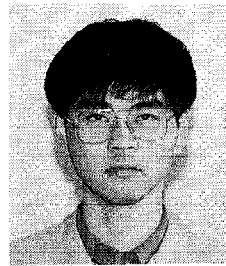
*杉山 篤

建設省土木研究所
機械研究室長



**高津 知司

建設省土木研究所
機械研究室研究員



1. はじめに

下水道施設は、住民が快適な生活をするうえで欠かすことの出来ない重要な施設である。我国の下水道整備の現状は普及率40%に達した程度で(図1.1)、欧米諸国が概ね80%を越えているのに比して著しく遅れている。(図1.2)

一方、下水道の面的整備である下水道管路網建設は、昭和62年度には管渠施工延長約12,000kmを施工し、昭和63年度も同程度施工されている。その中で、推進工法が昭和61年度のみで約1,000kmに達し、特に口径が800mm未満の小口径管推進工法による施工は約500kmに達している。さらに、小口径管推進工法による下水道管埋設工事は、東京のような大都市部はおろか中小都市においてもその伸びを示している。特に中小都市における伸びは著しいものがある。これは、中小都市における小口径管渠による下水道工事が多いことによるものと思われる。

我国は国土が狭い上、都市部に人口が集中した過密な都市構造を生んでいる。このような都市構造の中、近年上下水道のみならず通信、電力及びガスなどのライフラインの地下埋設等に伴い、地下構造の立体化・深層化が進んでいる。このよう

な地下利用事情の中においては、新設されるライフラインは、その埋設深度を深くせざるをえない。深層の管理設においては、従来の開削工法による施工では時間的、コスト的及び道路渋滞等の環境的に問題が生じてくる。しかし、推進工法による管理設においては、その特徴により深層の管理設における開削工法より有利であると認識されつつある。

これらの諸事情から、近年小口径管推進工法の急速な伸びが促進されていると思われる。

小口径管推進工法の利点のみを上げてきたが、この工法にもまだ解決しなければならない以下のような問題がある。

- a. 事前の土質調査
- b. 土質と工法の相関

*略歴

杉山 篤(すぎやま・あつし)／昭和43年3月中央大学精密機械工学科卒業、平成2年4月建設省土木研究所機械研究室長、現在に至る。

**略歴

高津知司(たかつ・ともじ)／昭和62年3月京都工芸繊維大学大学院工芸学研究科修了(工学修士)、同年4月建設省土木研究所研究員、現在に至る。

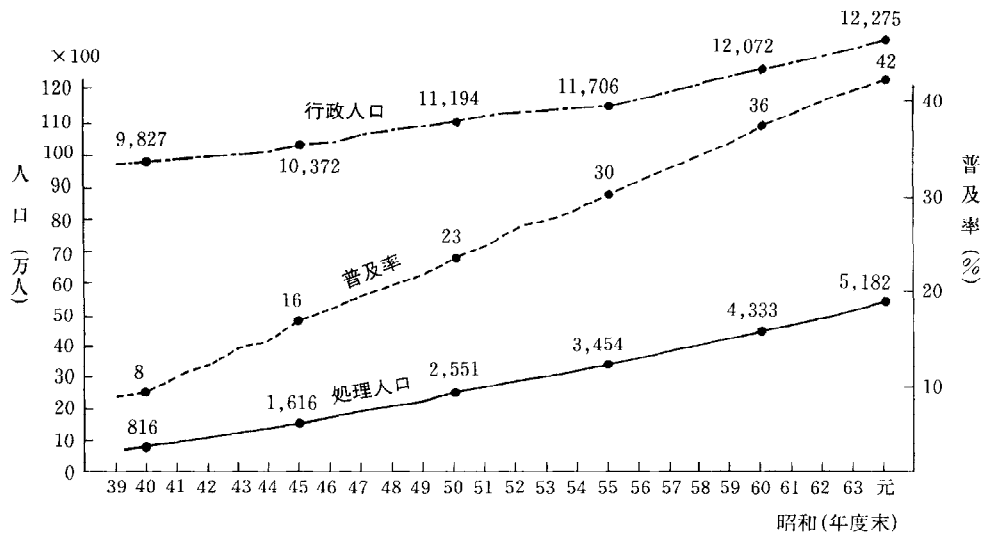


図1.1 普及率の推移

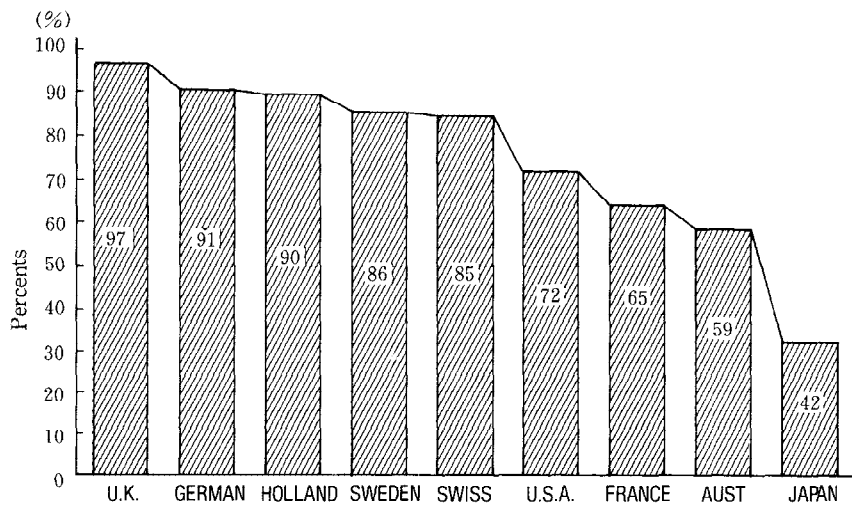


図1.2 下水道普及率の国際比較

- c. 高精度施工
- d. 完成時の線形測定
- e. 礫地盤対応の超小口径(口径250mm未満)推進
- f. 非開削の取付管施工

建設省土木研究所ではそれらの問題を解決すべく、官民連帯共同研究「小口径管渠掘進制御システムの開発」を昭和63年度から平成2年度まで取り組んできた。その研究内容は表1.1に示す。

2. 推進工法における問題点

推進工法の機構を簡単に表現すると、「管の先端にカッタを取付け、管を根元から押しつつカッタで土を押し分け管を地中に押し込む」となる。推進工法には、土の押し分け方や管を一度で埋設するか否か等でバリエーションがある。

また、口径が800mm未満のものを小口径管とする理由は、昭和50年4月7日付、労働省基発第204

表 1.1 研究概要一覧表

研究項目	問題点	成果	研究相手機関
AI 利用による制御システムの開発	推進機の方角修正操作に熟練を要する。	共通ファジィコントローラの開発	
土質調査機器の開発	推進管部分の土質状態が直接目で確かめられない。	AE による相対的な土質変化の確認技術の開発	
高精度掘進工法の開発	推進機の方角修正等の機械操作に熟練技能が必要である。 ①推進中に方角修正を行う。 ②工法によっては、管理項目が多い。 ③礫対応工法においては、礫の破碎に熟練を要する事がある。	①ファジィ理論を用いた方角制御システムの開発 ②オーガ式一工程の高度化 ③オーガ式二工程の高度化	イセキ開発工機 奥村機械製作 小松製作所 酒井重工業 利根 西松建設 日本電信電話
検査機器の開発	出来高を施工管理中の計測値により検査を行っている。	自走式の積分型出来型計測機器の開発	住友金属工業
超小口径推進工法（φ250未満）の開発	超小口径推進工法では、礫地盤での掘進が不可能。	礫地盤対応の超小口径推進機の開発 ①ガイドボーリング工法 ②ダブルパーカッション工法	飛島建設 住友石炭鉱業
取付施工法の開発	①埋設管の位置確認が困難である。 ②本管穿孔片の回収が困難 ③止水性の良い技術がない。	①電磁波による埋設管の位置確認装置の開発 ②穿孔片回収装置の開発 ③2重シール方式の開発	鉦研工業 東急建設

号「下水道整備工事、電気通信施設工事等における労働災害防止について」により管内での有人作業可能な口径が800mm以上とすると指導されていることによる。

2.1 問題点

推進工法は機構上、推進中に方角修正を行わないと施工計画線からのズレを生じる。それに加えて、先端部の土質変化や水圧の変化により、推進方向がずれ易い性質を持っている。推進工法の工事規模を考慮すると、事前の土質調査を十分に行う事は容易ではないし、推進中に土質等の変化をセンシングする技術は確立していなかった。そこで、先導管の施工計画線からのズレ具合等から、先端の土質等の状態を推定しながら推進を行わなければならないので、機械操作に熟練を要する。

また、近年の建設業の人手不足などから熟練オ

ペレータ不足が問題になりつつある。

また、図 2.1 より、施工時の問題は、土質に関するものと施工機械に関するものに二分されることがわかる。

以上のことより、土質調査の問題と熟練オペレータ不足と機械能力の向上の問題の2点が重要であるといえよう。土質調査に関しては技術紹介が多くなされているので、今回はオペレータ不足対応にターゲットを絞ることにする。現在の社会状況や技術水準を考慮すると、一般作業員が操作して熟練オペレータと同等の施工が行える、支援システムを開発することが妥当と言える。その際、熟練オペレータのノウハウをコンピュータに移植しなければならないが、熟練オペレータのノウハウは高度であるので、AIを用いたシステムを応用する必要がある。

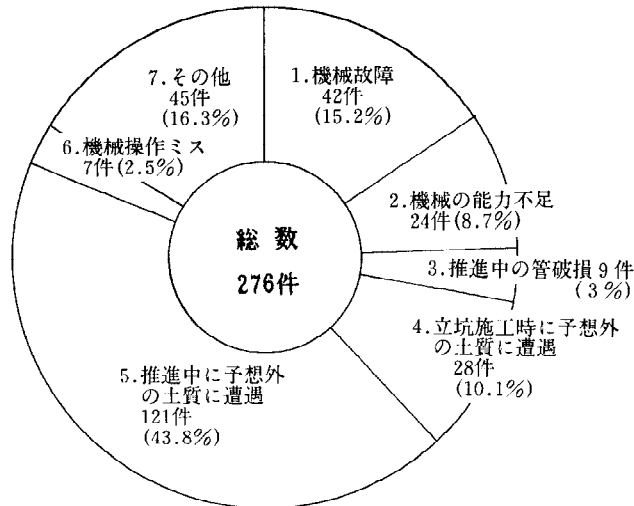


図2.1 小口径推進工法施工時の問題

3. AIの動向

3.1 AIの歴史

人工知能(AI)研究が正式に始まったのは、1956年に行われたダートマス会議である。その後、AI研究は知能活動をシミュレーションして知能のメカニズムを解明する純科学的な方向と、知的機能をコンピュータに持たせる事で、計画、制御等の種々の問題を解決しようとする工学的な方向に分離した。

工学的な研究では、1965年にカリフォルニア大学のZadehの提唱に始まるファジィ、1965年にスタンフォード大学のFeigenbaumによって開発された化学構造式同定システムDENDRALに始まるエキスパートシステム、1967年に東京大学の甘利によって学習方法概念が提唱された階層型ニューラルネットワークに代表されるニューロコンピュータ等がある。

3.2 AIの現状

3.2.1 定義の特徴

1) AIの定義と特徴

人工知能(Artificial Intelligence)の略であり、人間の知能機能(問題解決、推論、学習など)を模倣した、コンピュータ技術全般を言う。特に、エキスパートシステムをAIと呼んでいた時期があったが、現在ではエキスパートシステム、ファ

ジィ、ニューロコンピュータ等を総称してAIと呼ぶ。

2) ファジィの定義と特徴

ファジィ(Fuzzy)とは「曖昧」という意味である。ファジィ理論では、自然界の現象を「YES」か「NO」で表すのではなく、「どちらかと言えばYES」とか「かなりNO」のように人間の感覚に近い表現をし、推論や制御を行う。推論や制御のルールが簡単に作成できる。

3) ニューロの定義と特徴

ニューロとは、人間の脳細胞の事である。ニューロコンピュータは特に小脳の細胞をハード的またはソフト的に模倣し、情報を処理するコンピュータである。一般的にニューロコンピュータと言えば、学習機能を持ったニューラルネットワークの事を言う。

3.3 AIの問題点

ファジィ、ニューロ及びエキスパートシステムの共通の問題点として、「出力された結果が適切である保証がない」ことである。これは、ファジィ等のAIに付いてシステム工学で問題とされる「収束性」に関する理論的考察がなされていないからである。

また、制御や推論の基になるルール等の情報をどの様に入手するかが問題である。AIに組み込む

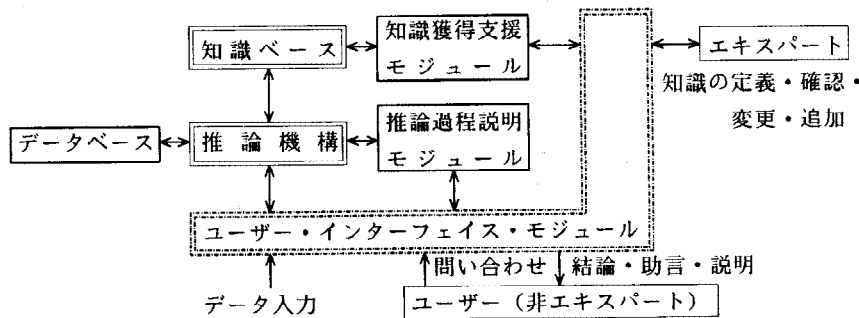


図3.1 エキスパートシステムの基本的構造

データの優劣によって、システム全体の優劣が決定するからである。現状で、人間が判断や操作を行っていたり解析がなされている作業対象に関しては、必要とする情報を入手できるが、未知のものに対しては、成す術がない。

しかし、ある種のニューラルネットワーク(ボルツマンマシンと呼ばれるもの)に関しては、多少未知のものに対しての適応性があるが、現在のところ研究段階であるのでその実用にはまだ時間を要する。

3.4 要素技術と産業界における使用例

3.4.1 要素技術

AIの要素技術として、ハードに関するものとソフトに関するものがある。

(1) ハードに関するもの

① ファジィチップ^o

ファジィの演算を高速で行う専用IC。現在商品化され、パーソナルコンピュータとの接続も可能である。

② ニューロチップ°

光素子を用いてニューロを模倣し、それを自由に配線できるようにしたIC。一部商品化されているが、まだ研究段階であるといえる。

(2) ソフトに関するもの

① エキスパートシェル

エキスパートシステムにおける「知識ベース」と「推論機構」をモジュール化したソフトウェアパッケージで、数多く商品化されている。

② ファジィエンジン

ファジィ演算をソフトウェアで実現したもの

で、演算速度はファジィチップには及ばないが、現在「ファジィ」と称するものの多くはファジィエンジンが組み込まれている。

③ ニューロシミュレータ

ニューロをシミュレートするソフトで、階層ニューラルネットワークのシミュレータを始め多くの種類のものが市販されている。

3.4.2 産業界における使用例

① ファジィに関して

その工学的応用が始められたのは1974年にロンドン大学のMamdaniのスチームエンジンの制御の実験に始まりデンマークのF.L.Smith社のセメントキルンの制御ではじめて実用化された。日本におけるファジィの応用は、1984年の地下鉄運転システムに始まり現在では、管渠の推進機械の方向制御システム(官民連帯共同研究「小口径管渠掘進制御システムの開発」)の成果)を始め洗濯機、掃除機等の電化製品にも用いられるようになった。

② ニューロに関して

音声認識、ポートフリオンシステム等の開発が、なされているがそのほとんどが研究段階である。実用例は、電化製品のファジィルールを予め与えられた入力信号で、希望とする出力が得られる様に自動的に決定し生成する段階で応用されている程度である。

③ エキスパートシステムに関して

橋梁設計支援システム等が提唱されているが、それらの多くが試用段階である。

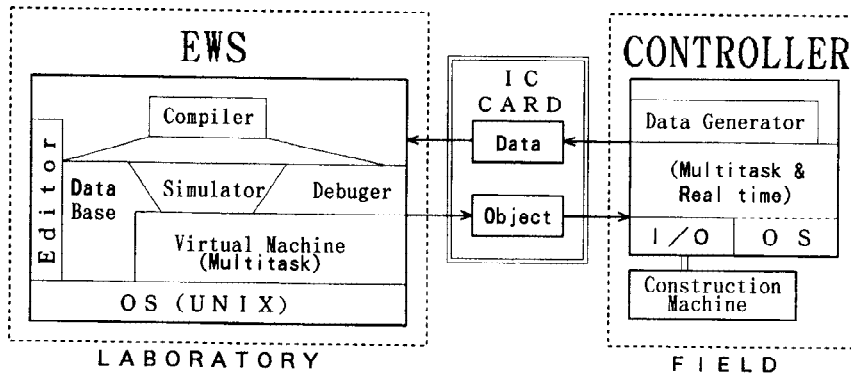


図4.1 共通コントローラ概念図

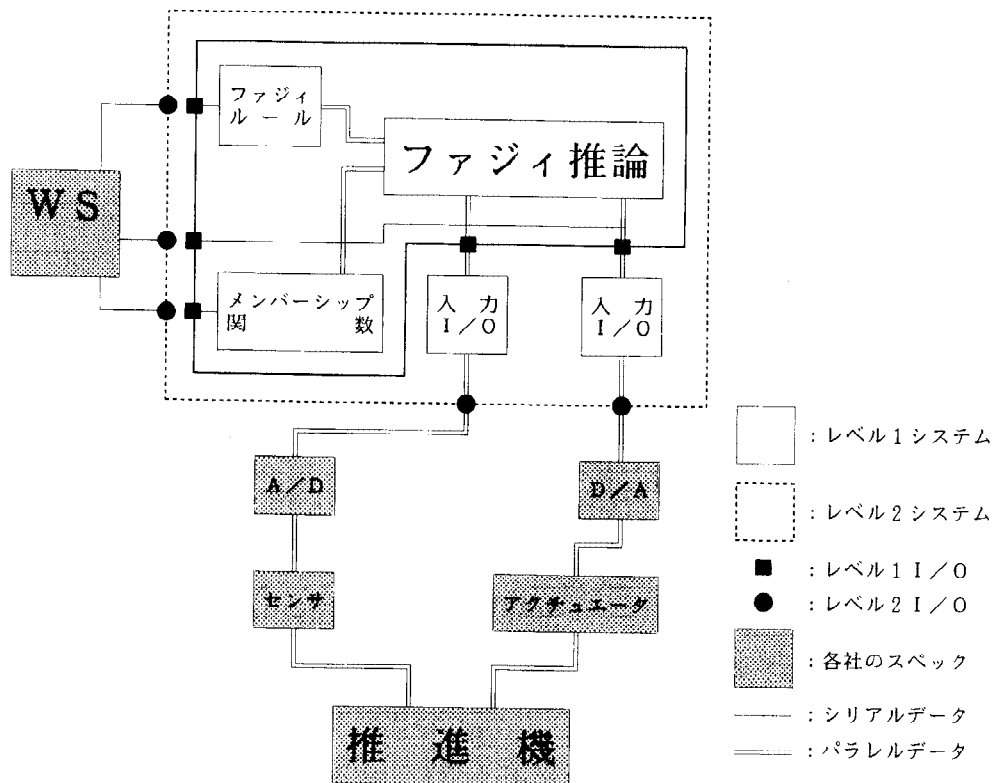


図4.2 ファジィコントローラーシステム

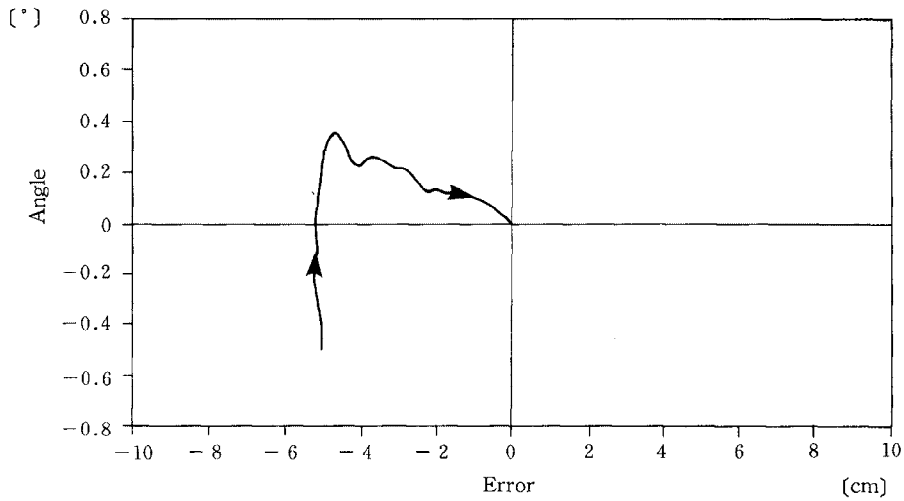


図4.3 施工データの位相平面軌跡

表5.1 シリーズタイトル一覧

	サブタイトル	執筆担当
1	A I 利用技術の開発	土木研究所
2	ファジィによる方向制御事例 1	土木研究所・イセキ開発工機
3	ファジィによる方向制御事例 2	土木研究所・奥村機械製作
4	ファジィによる方向制御事例 3	土木研究所・KOMATSU
5	ファジィによる方向制御事例 4	土木研究所・西松建設
6	ファジィによる方向制御事例 5	土木研究所・NTT
7	施工管理手法の高度化	土木研究所・酒井重工業
8	掘削機構の高度化	土木研究所・利根
9	検査機器の開発	土木研究所・住友金属工業
10	超小口径管推進工法の開発	土木研究所・飛鳥建設・住友石炭鉱業
11	取付管施工システム 1	土木研究所・鉱研工業
12	取付管施工システム 2	土木研究所・東急建設

3.4.3 建設機械へのAI等技術の応用例

AI等技術の建設機械への応用はさほど多くなく、そのほとんどがファジィを利用したものである。ファジィを利用したものを挙げると

- ① 1987年に開発された自動浚渫船
- ② 1988年に開発されたシールドマシンの方向制御システム
- ③ 1989年に開発され1990年より実用に入った推進機械の方向制御を行う共通コントローラ(今回の共同研究において開発されたもの)となる。

4. ファジィ制御システム

4.1 基本コンセプト

小口径管推進工法の施工機械は、その操作に熟練を要するが、操作する熟練オペレータ不足が問題になっている。そこで、熟練オペレータ不足に対応しなければならないが、その対応策としていろいろなことが考えられる。

熟練オペレータの機械操作のいわゆる「こつ」を、コンピュータに移植し易いファジィ理論を用いた制御機器が製作できる。小口径管推進工法の市場規模と研究開発の規模からすると、自動車産業や電機産業のような規模の研究開発を行うことは難しい。そこで、開発のコストとリスクを低減させるために何等かの方策の一つとして、図4.1に示すよう共通のシステムを共同で開発することにした。

4.2 実システム

実システムは、図4.2に示すものを製作した。推進機械側でI/Oを用意し、共通コントローラのコネクタに適合させる。また、メンバーシップ関数やファジィルールの決定を行うためのシミュレーションが行えるシミュレータをワークステーションに搭載している。シミュレータを用いて決定したメンバーシップ関数やファジィルールをICカードを用いて推進機に接続されているコントローラに移植を行う。さらに、計画線と施工線のズレをICカードを介してワークステーション上のデータベースに登録する事が出来る。

4.3 施工実績

岩手県のN値25~30程度の滞水砂礫層に於けるφ700の推進現場を実験場に選び、第3スパン(約

56m)を自動で行い、続く第4スパン(約70m)をオペレータによる手動で推進を行い、両者の推進データを比較する方法で機能の実証実験を行った。

その結果、自動方向修正装置を使用した推進で、開発目標値(垂直方向±30mm、水平方向±50mm：全国140自治体及び20工法団体への検査基準及び施工管理値のアンケート結果による)を十分にクリアする性能で推進できる事が実証された。

また、異なる工法についても同様な結果が得られている。

5. おわりに

推進工法は、古代ローマ時代にその使用の記録が残っており、我国においては昭和22年に兵庫県尼崎市における使用記録が残っている。この工法は、近年急激にその使用が伸びた、いわゆる古くて新しい工法である。推進工法が一般的になってから日が浅いことを思うと、その発展に多くの可能性を秘めているといえる。

我々は、この工法の発展に伴う社会資本の整備の充実に大いに期待するものである。

また、今回のシリーズはファジィ制御技術の応用を中心とし、完成時の線形測定、礫地盤対応の超小口径(口径250mm未満)推進、非開削の取付管施工と新技術を12回にわたり紹介して行きたいと思う。第1回はメインであるファジィについて、AIの中での位置付けを中心に紹介したが、次回からはファジィを用いた実工事を中心に紹介を進めて行きたいと思う。

比較的広範囲で1年という長丁場の連載であるので、官民連帯共同研究「小口径管渠掘進制御システムの開発」の共同研究各社の研究者のご協力を得ながら進めて行きたいと思います。

謝 辞

官民連帯共同研究「小口径管渠掘進制御システムの開発」(昭和63年度~平成2年度)を共に担当した機械研究室 岩見吉輝(現北陸地方建設局)、竹田英之、北嶋公生(現関東地方建設局)、施工研究室 田中貢、中田公基(現中国地方建設局)、西川宗一郎(現中国地方建設局)、中場広善の諸氏、並びに種々のご指導をいただいた、永田伸之日本

大学教授、竹下貞雄立命館大学教授に感謝の意を現わします。

さらに、今回の共同研究を円滑に進められたことを、機械研究室、施工研究室、下水道研究室の皆さんに感謝の意を現わします。

参考文献

1. 上原 靖：小口径推進工法の現状、地質と調査、'87.4、pp.30-37
2. 曾小川 久貴：最近の小口径推進工法、建設機械、'87.4、pp.19-24
3. 石橋 信利：小口径推進工法の現状と動向、建設機械、'87.4、pp.25-28

4. Takatsu.T. and Takeda.H, 1989. "On an application of the adaptive control theory to the micro-tunnelling", Preprints of ISCIE '89-5. pp.161-162.

5. Takatsu.T. and Takeda.H, 1989. "On an application of the modern control theory to the micro-tunnelling", No-dig'90 Osaka Pre-Conference, pp. 1.1.1-1.1.5 Japan Society for Trenchless Technology (JSTT).

6. Takatsu.T. and Takeda.H, 1989. "A study of the parameter identification with a parameter's dynamics", SICE Preprints of Dynamical System Theory Symposium, pp.274-277

隔月刊

管路情報

ライフライン管路の横断雑誌

上・下水道、ガス、電力、電気通信
各事業管路の建設・保全管理技術動向を
分りやすく——— 今、話題の雑誌
管路専門誌づくり 20年の意欲的編集

■年間購読 6冊(一括払い)
10,000円(送料共)
(消費税含まず)

電話・FAXでどうぞ
ライフライン情報社

TEL.03-3866-2028 FAX.03-5687-5999



年6回

1・3・5・7・9・11月20日発行