

技術情報

シリーズ第9回

「小口径管推進工法の高度化に関する研究」 検査機器の開発

*高津 知司

建設省土木研究所
機械施工部
機械研究室
研究員

**竹田 英之

建設省土木研究所
機械施工部
機械研究室
研究員

***大住 聡

住友金属工業(株)
大阪導管技術室
室長

****西尾 純一

住友金属工業(株)
大阪導管技術室

1. 開発のニーズ

近年都市部における下水道、通信線等のライフラインの地中化が、信頼性や景観等を考慮して加速されてきている。特に、下水道施設は、住民が快適な生活をする上で欠かすことのできない重要な施設であるが、我国の下水道整備の現状は普及率40%に達した程度で、欧米諸国の80%強の普及率に比べ著しく遅れている。このために近年は下水道整備が急速に進められてきている。また、来るべき高度情報化社会に対応するために、通信線の整備も進められている。

しかし新設される下水道、通信線等のライフライン施設は既設埋設物を避けるために、その埋設深度を深くせざるをえない事例が増加してきている。このような場所での施工においては、推進工法は従来の開削工法に比べ、施工コストや工事に

伴う道路交通障害等の面で多くの利点を有する。

このため近年、口径800mm未満の小口径管を中心に推進工法の施工実績が急速に増加してきている。

下水道管渠においては施工精度が重要なファクタの一つであるが、管内での作業が困難である等の要因のため、現在のところ小口径管推進工法によって敷設された管渠の精度測定方法が確立しているとは言い難い。

そこで小口径管推進工法の高度化を図る一環として、敷設された管渠の線形検査機器の開発に取り組んだ。

なお、本研究は建設省官民連帯共同研究「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成果の一部である。

*略歴

高津知司(たかつ・ともじ)／昭和62年京都工芸繊維大学工学研究科修士(工学修士)、同年建設省土木研究所機械研究室、現在に至る。

**略歴

竹田英之(たけだ・ひでゆき)／昭和61年武蔵工業大学機械工学科卒業、昭和63年建設省土木研究所機械研究室、現在に至る。

***略歴

大住 聡(おおすみ・さとし)／昭和50年名古屋工業大学土木工学科卒業、同年住友金属工業(株)入社、平成3年同社大阪導管技術室長、現在に至る。

****略歴

西尾純一(にしお・じゅんいち)／昭和60年北海道大学大学院工学研究科修士課程機械工学専攻修了、同年住友金属工業(株)入社、昭和63年同社大阪導管技術室、現在に至る。

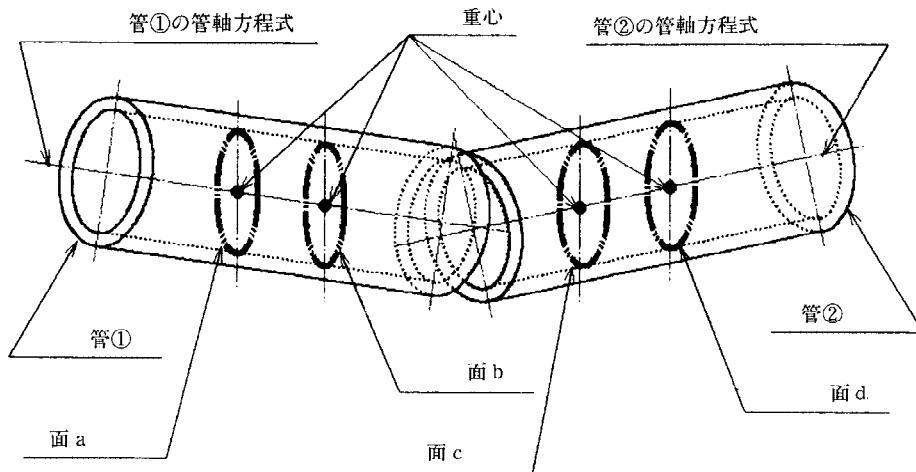


図3-1 測定原理

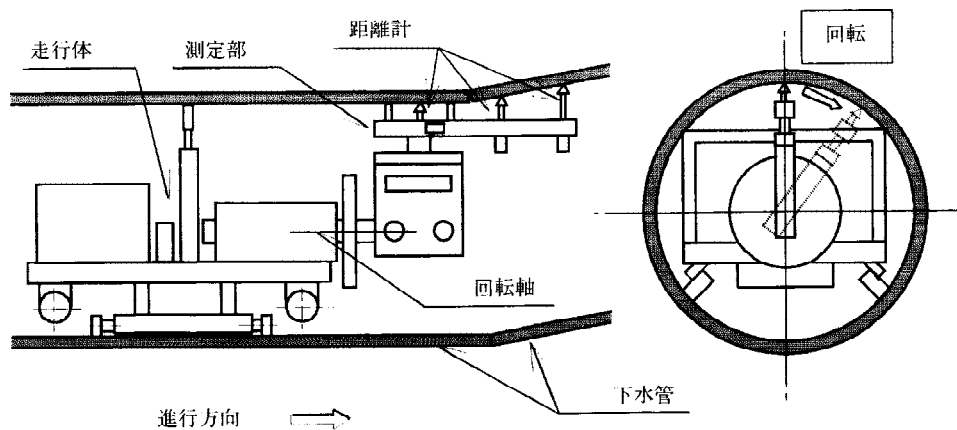


図3-2 測定概要

2. 開発の概要

本開発は、ガス、電力、通信線及び下水道等の推進工事において、その推進施工後の管路の出来型を精度よく、3次元に測定することを主とした、「推進管路の線形測定を中心とした検査システム」の構築を目的とする。

開発にあたっては、

- 1) 埋設された管路の出来型(施工計画線からの3次元変位)が精度よく確実に測定できること
- 2) 外乱(温度、管の表面性状等)の影響を受けにくいこと

を条件とした。

3. 開発機器の原理

本システムはレーザー等の光学的手法を使用せず、管の折れ曲がり毎に幾何学的に角度を測定し、それを積分することにより管の埋設3次元位置を検出する機械的手法を採用した。

レーザーによる計測法は、計測対象管内にレーザー光を通し、レーザー光を絶対基準として、その基準からの変位を任意の部位で測定することにより、管の施工計画線からの3次元変位を計測する光学的方法である。しかしながら管内は場所に

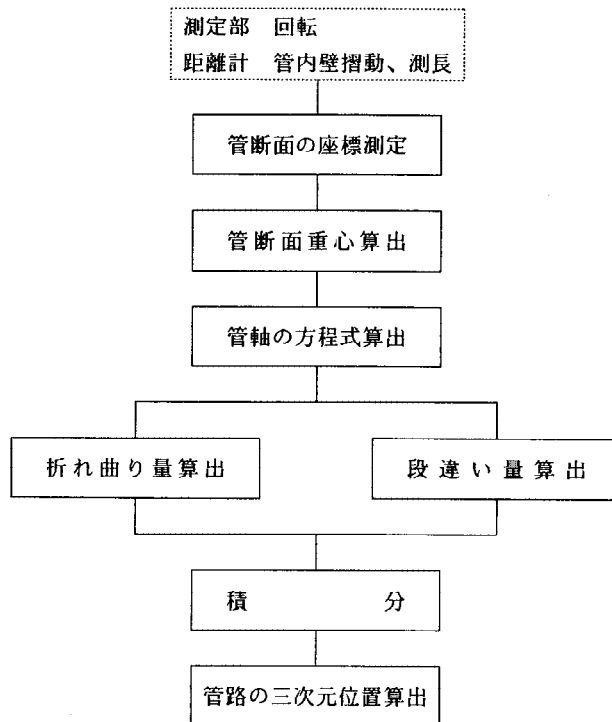


図 3-3 測定フロー

より温度や湿度が異なるので、レーザーによる計測法ではレーザー光の特性により、屈折等による計測誤差を生じる可能性がある。

本計測法は前述の通り、ロータリエンコーダ、距離エンコーダ、傾斜計を組合わせて、管の継目部の折れ曲り角度を計測し積分することにより、管の施工計画線からの3次元変位を計測する機械的方法であり、レーザーによる計測法のような計測誤差は生じない。

研究を始めるにあたり、成果の目安となる測定精度の数値的な目標が必要である。成果の目安の当面の目標値として、

測定精度目標：垂直方向 誤差±3mm以内
水平方向 誤差±5mm以内

とした。これらは、建設省官民連帯共同研究「小口径管渠掘進制御システムの開発」の高精度化の開発における開発目標値の1/10の値である。

本計測法による誤差は、ロータリエンコーダ等の計測機器の測定精度限界により生じる。誤差解析を行うと下記となる。

配管本数=49本、総配管延長=119mの時、
最大累積誤差=2.92mm

配管本数=50本、総配管延長=122mの時、
最大累積誤差=3.04mm

誤差解析結果と測定精度目標から、測定限界は
総配管延長=119m
と算出できた。

次に測定方法の概要を記す。

隣接する2つの管の管軸に交差する、それぞれ2つづつ、計4つの平面と2つの管の内壁の交点によって作られる図形を考える。この図形上の任意の点の仮想質量をm(一定)とする。ここでそれぞれの図形の3次元座標を測定しその重心を求めることにより、2つの隣接する管のそれぞれの中心軸(管軸)の3次元方程式を求めることができる。この3次元方程式により、隣接する管の相対的な折れ曲り角度、折れ曲り方位、段違い量、段違い方位が幾何学的に算出できる。従ってそれらを積分することによりある配管路の施工計画線からの3次元変位を求めることができる。

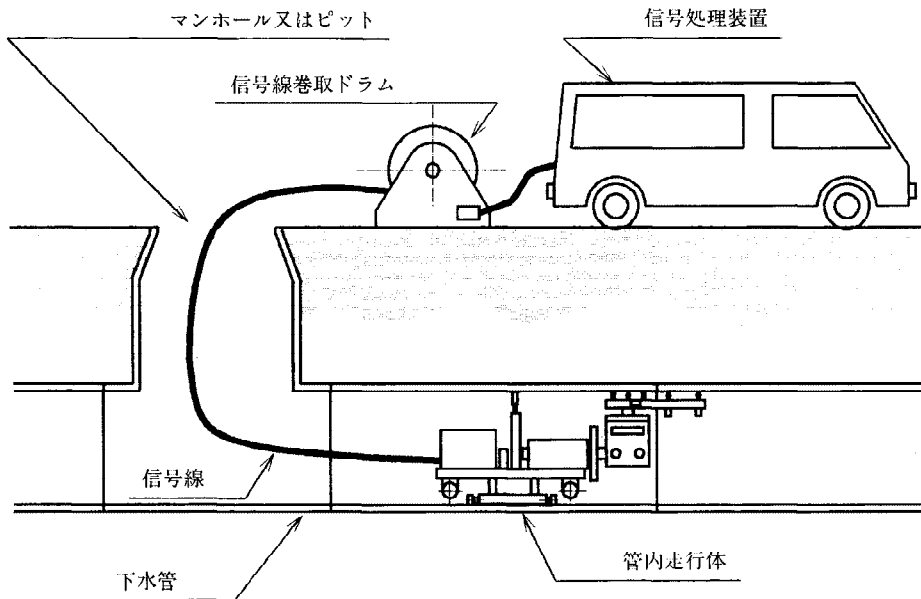


図4-1 トータルシステム

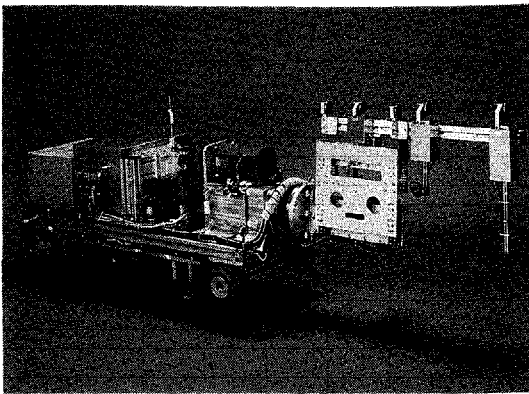


写真4-1 管内走行体

本開発機器は、管の継目部において機器の測定部が管の内壁に沿って摺動することにより、上記の隣接する管のそれぞれの中心軸(管軸)の3次元方程式を算出し、ある配管路の施工計画線からの3次元変位を求めるものである。

図3-1に測定原理を、図3-2に測定概要を、図3-3に測定フローを示す。

4. 開発機器の概要

1) 機器の特徴

① 埋設管内で直接測定する

- ② 管路全長にわたって測定可能
- ③ 機械的測定手法を使用するので外乱の影響が小さい

④ 振動、管内面の表面性状の影響が小さい

2) 機器構成

本システムは管内を自走する管内走行体及び管外に設置され管内走行体の動作を制御し、また管内走行体からの信号を処理し求める形態にして出力する制御・信号処理部からなる。

管内走行体は信号線によって、信号線巻き取りドラムを介して制御・信号処理部と繋がる。

制御・信号処理部は、パーソナル・コンピュータ、CRT、プリンタから構成される(図4-1、写真4-1)。

管内走行体にはCCDカメラが搭載され、管内面状況の観察が可能である。

3) 機器仕様

① 検査対象管

呼び径 700mm×連続90m⁽¹⁾

※ 他口径、他管種への適用拡大可能

注⁽¹⁾連続測定可能距離90mは、実験結果による

② 測定範囲

垂直方向 施工計画線に対し± 60mm⁽²⁾

表 4-1 機器性能試験結果

最大誤差 (3)	上下方向	0.81mm	理論最大誤差 = 0.47mm
	左右方向	0.32mm	
再現性(σ)	上下方向	σ = 0.27mm	
	左右方向	σ = 0.12mm	

注⁽³⁾ 現状、真値を測定する方法がないので、平均値をベースとした。

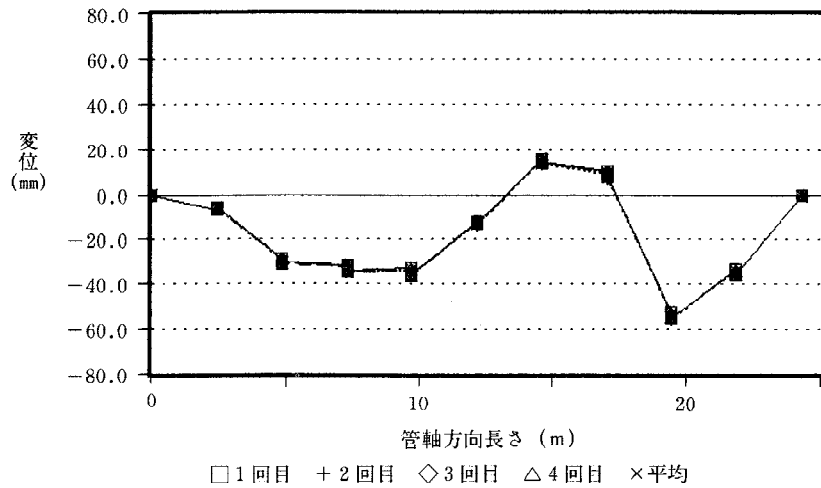


図 4-2 上下方向変位

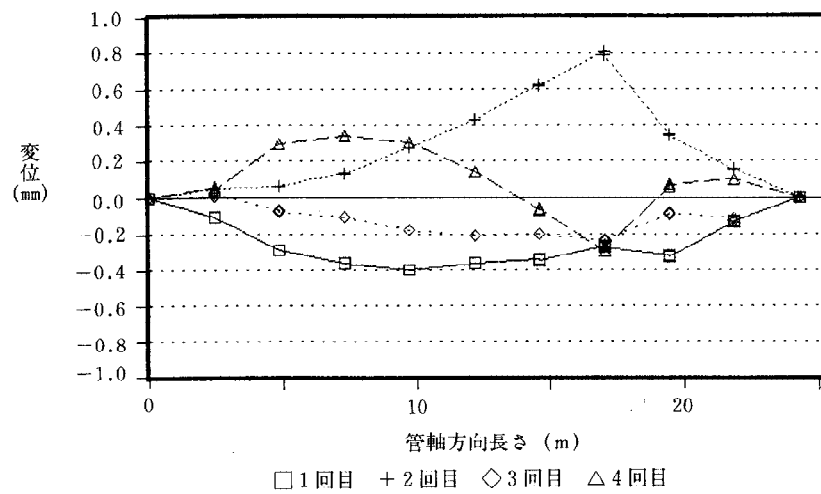


図 4-3 上下方向平均値からのずれ

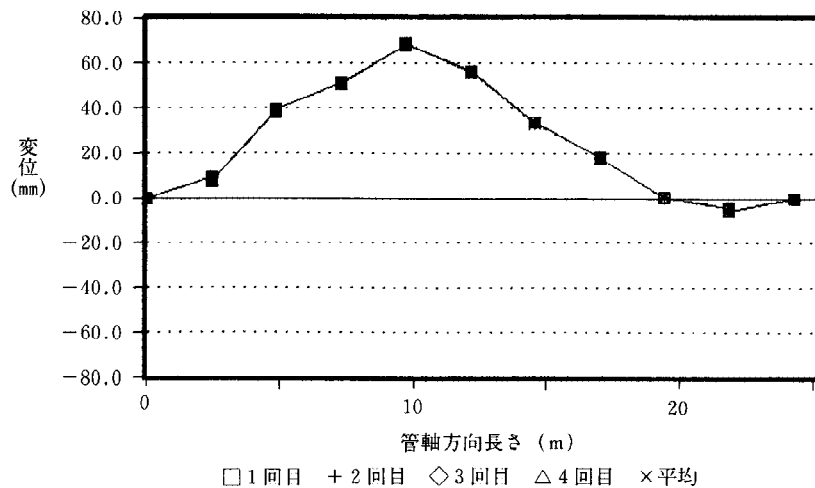


図 4-4 左右方向変位⁽⁴⁾

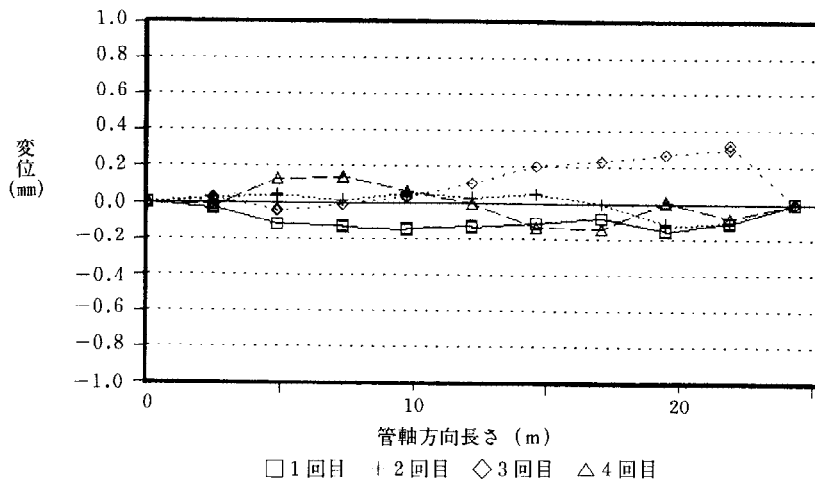


図 4-5 左右方向平均値からのずれ⁽⁴⁾

水平方向 施工計画線に対し $\pm 100\text{mm}$ ⁽²⁾

注⁽²⁾測定範囲は、建設省官民連帯共同研究「小口径管渠掘進制御システムの開発」の高精度化の開発における開発目標値の2倍とした。

4) 機器性能

① 試験方法

呼び径700mmの推進用ヒューム管により、地上に24.3mの配管路(推進管10本)を設置し、測定実験を実施した。

② 試験結果(図4-2、図4-3、図4-4、図4-5、表4-1)

a 試験結果を評価するにあたり、現状地上に設置された推進用ヒューム管配管の3次元軌跡の真値を測定する方法がないため、その平均値を基準に評価した。

b 最大誤差(平均値からのずれの最大値)は、上下方向で $+0.81\text{mm}$ 、左右方向で $+0.32\text{mm}$ であり、測定精度目標(上下方向 $\pm 3\text{mm}$ 以内、左右方向 $\pm 5\text{mm}$ 以内)の範囲内であった。

c 再現性は、上下方向の標準偏差0.27mm、左右方向の標準偏差0.12mmであり非常に良好であった。

③ 機器精度

今回の連続配管測定実験は、推進用ヒューム管による24.3mの配管路(推進管10本)で実施したが、この結果から少なくとも90m(推進管約37本)までは目標精度で連続測定が可能であると思われる。

5. 今後の課題

- 1) 機器検定方法の検討(現状、配管の変位の真値を測定する方法がない)
- 2) 本測定システムの連続測定可能距離(精度限界)の把握
- 3) 測定時間の短縮
現状 3.6分/折れ曲り点(1.0分/m)
目標 2.2分/折れ曲り点(0.6分/m)
- 4) 測定可能口径範囲の拡張
- 5) 1台で数種の口径が測定可能な装置の開発

6. あとがき

以上のように本開発において、ガス、電力、通信線及び下水道等の推進工事において、その推進施工後の管路の出来型を精度良く、3次元に測定することを主とした、「推進管路の線形測定を中心とした検査システム」の構築を実施することができた。

しかしながら、今後ともますますその重要度を増してくるであろう推進工法に対応して現状の間

題点の改良も含め、さらなる技術開発を実施して行かなければならない。

謝 辞

本研究に対し貴重な助言を頂きました、永田伸之日本大学教授、竹下貞雄立命館大学教授、また研究に協力して頂きました関係諸氏に感謝を申し上げます。

参考文献

- (1) 建設省：官民連帯共同研究 研究開発概要報告書「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)」、建設省、平成3年
- (2) 広瀬孝六郎：都市上下水道、相模書房、昭和44
- (3) 南野輝久：推進工法の設計と施工、森北出版(株)、昭和56
- (4) 日本規格協会：JISハンドブック配管、日本規格協会、昭和62
- (5) 島村敏：基礎電気工学、(株)理工学社、昭和51
- (6) (社)日本下水道協会：下水道技術職員養成講習会テキスト 技術編、(社)日本下水道協会、昭和53
- (7) 土木学会：土木工学ハンドブック、技報堂出版、昭和64
- (8) 全国ヒューム管協会：ヒューム管設計施工要覧、全国ヒューム管協会、昭和55
- (9) 平修二：現代材料力学、(株)オーム社、昭和54

