

13. 小口径管推進工法における自動計測器の開発

東興建設(株)：*佐久間孝夫・日本スピードショア(株)：上村 克己
日立機電工業(株)：小松 信雄

1. はじめに

近年、地下埋設工事において、地下埋設物の幅そうする中での工事、主要幹線道路や軌道の横断、狭隘な道路下での工事、施工時における騒音、振動などの問題が生じてきており小口径推進工法の採用が急増している。一方、小口径管掘削機も、方向修正装置の開発などにより、最も精度を要する下水道の施工にも適用されるようになり、さらにその適用は拡大してきている¹⁾。しかしながら、施工の簡易さ、適用土質への対応の拡大、施工時の沈下防止対策(安全施工)、推進距離の増大などこれから解決すべき種々の問題を抱えている。これらの問題の一つとして、掘削状況を判断し、状況に応じた方向修正を行う施工の自動化の問題が上げられよう。

ここでは、まず施工時における、掘削機の自動計測について基礎データおよびいくらかの施工実績が得られたので、報告する。本装置は掘削機内にコーナーキューブプリズムが設置されるのみで電気系のもは立坑内に置かれるため計測時の管理が容易であるという特長がある。

2. 計測の方法

本装置は、推進する管の上下左右の変位量を計測し、方向修正を行うのに必要な情報を表示する。図 1 に示すように推進機後方にレーザー追尾装置が設置され、コーナーキューブプリズムが推進機先端部にとりつけられた構成となる。レーザー追尾装置が作動を始めると、発射されたレーザービームは掘削機の中空軸を通してコーナーキューブプリズムに入射する。推進機先端部が上下左右に変位した場合、追尾装置は自動的にレーザービームの発射方向を変化させ、追尾の原理については、3の測定の方法の項で述べるが、常にコーナーキューブプリズムの中心に入射させる。この時、レーザービームの発射方向を示す2つの角度(水平方向、垂直方向)が制御装置から出力され、この値から推進機先端部の変位量が算出され、表示する。

ただし、追尾装置と、コーナーキューブプリズムとの距離は、ここでは外部から入力されなければならない。この方法としては、たとえば、埋設した管の本数と管の一本当りの長さなどから求め、計算機に入力する。

測定結果は表示部にグラフィック表示されプリンターに記録される。

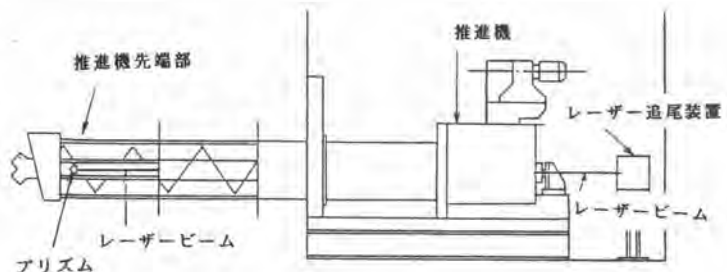


図 1 自動計測装置の構成

3. 測定の原理

図 - 2 に追尾の原理の模式図をしめしてあるが、追尾装置内部にはレーザー発生装置があり、レーザービームは 2 軸（水平面内回転、垂直面内回転）回りに回転するミラーによって、空間の任意の方向に発射される。また、移動体には、コーナーキューブプリズムを設置する。

まず、図 - 2 (a) のようにレーザービームがプリズムの中心に入射した状態から追尾が始められる。次にプリズム (= 移動体 = 推進機先端部) が移動し、図 - 2 (b) の状態になると、レーザービームはプリズム中心からずれた点 (A 点) に入射する。すると、プリズムの性質により、反射光は入射光と反対の点 (B 点) から、追尾装置側に戻ってくる。この光を集光レンズを介して、光センサーで検出し、どのセンサーに入光したかを判断することによってミラーを回転させる。この回転は、プリズムの中心にレーザー光が入射するまで続き、そこで停止する (図 - 2 (c) の状態)。このように、プリズムの動きを追いかけて、レーザーが移動していく。即ち、追尾が行われる。以上のアルゴリズムを図 - 3 に示す。²⁾

4. 実験

測定の基本的手段がレーザー光を用いるものであ

り、プリズムからの反射光を光センサーで検出することからまず、測定周囲の環境条件の及ぼす影響について実験を行った。実験は地上に 100 mm φ の中空のオーガーを並べこの中をレーザー光を通し、管内壁の反射、測定範囲 (限界) について実験した。コーナーキューブプリズムは実効径 55 mm φ のものを使用している。管内壁の反射については、乾燥時はほとんどなく、管内壁が水に濡れたときあるいは管底に水がたまったとき目視では明らかに反射光がみられたがセンサーはコーナーキューブプリズムからの反射光と管内壁からの反射光とを識別することを確認した。これは、光強度が異なるためと見られる。測定範囲 (限界) は管内壁が乾燥している時で、± 45 mm で、管内壁が水に濡れているとき

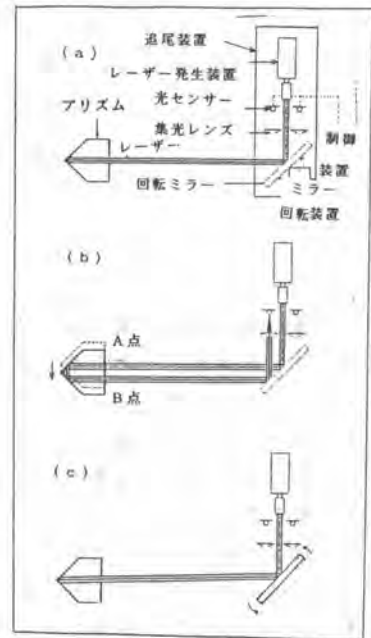


図 - 2 追尾の方法

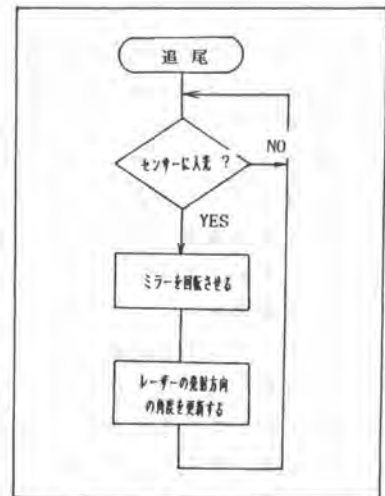


図 - 3 追尾のアルゴリズム

はこれより - 2.3 mm 測定範囲が狭くなる。これは、管内壁が水に濡れているときコーナーキューブプリズム側あるいは測定器側でレーザー光が鋭角に反射しこの散乱光をセンサーが識別できなかったためとみられる。

以上の予備実験でこのような環境条件下で計測可能との結論を得られたので測定装置の精度の追求を行った。

測定器は 1 秒間に約 100 回の測定を行う。この値をコンピューターを用いて平均化するのであるが、平均化する前のデータがどれぐらい誤差を含むかについてまず実験を行った。実験では記録を行う都合上約 2 秒(およそ 200 サンプルング)ごとに 1 回、生のデータを出力させた。

また、各距離においてコーナーキューブプリズムを一定距離だけ水平方向に移動させ 40 個のデータを記録した。この実験は地上(屋外)で行っているため環境条件などが現場とは異なることは考えられる。測定距離は 6, 12, 47, 84 mで行っている。これらの結果を図 4 に示す。図は横軸が測定距離で縦軸は標準偏差 σ である。ここでは、 3σ を基準としている。図に示されるように、約 ± 10 秒の誤差となっている。ここに示される理論値は回転ミラーのモーターのパルス値から計算したものである。実験値は理論値内にほぼおさまっている。ここでは、 ± 10 秒という誤差であるが測定値を平均化することにより、回転ミラーのモーター 1 パルスに相当する角度(± 4 秒)までは容易に精度向上が可能であると考えられる。

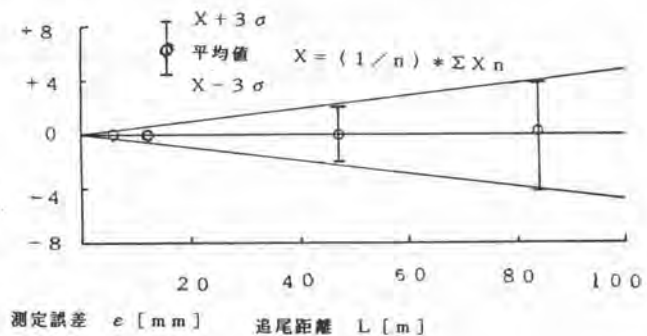


図 4 追尾距離と誤差

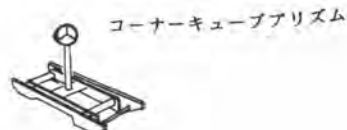


図 5 管内検査器

表 1 工事の概要

工事名	山科排水区 安祥寺系統 西野(その8)
場所	京都市山科区西野広見町地内
施工方法	オーガー掘削管推進工法
管径	φ406.4mm鋼管(本管VUφ250mm塩ビ管)
推進距離	49.25 m
土質	レキ混り砂
土被り	8.4 m
施工主	京都市下水道局

表 2 セオドライトとの比較(勾配)

推進距離 (m)	装置の値 (mm)	セオドライト (mm)	推進距離 (m)	装置の値 (mm)	セオドライト (mm)
0.5	20.0	20	26.5	-141.3	-141
2.5	11.2	13	28.5	-160.2	-160
4.5	7.0	6	30.5	-173.9	-175
6.5	1.8	-1	32.5	-190.0	-192
8.5	-2.6	-3	34.5	-206.6	-207
10.5	-10.1	-5	36.5	-220.9	-219
12.5	-20.7	-22	38.5	-231.5	-225
14.5	-34.3	-34	40.5	-239.8	-236
16.5	-47.7	-48	42.5	-251.1	-247
18.5	-62.7	-61	44.5	-262.4	-251
20.5	-81.4	-80	46.5	-283.7	-281
22.5	-101.1	-102	48.5	-303.2	-263
24.5	-120.0	-121			

次に、現場で管内検査を行った。これは、二工程方式（初めに輔管を掘削し、そののち本管を施工する方式）における輔管の施工精度を検査したものである。表一 1 に工事の概要を示す。検査方法は立坑内に測定器を置き図一 5 に示されるような管の出来高精度測定器を用いて行った。この管の精度測定器は、底部を左右に拡げられるようになっており（調整可）、また、コーナーキューブプリズムを支える棒も上下に調整するようになっており、300 mm φ 以上の管の測定に使用できる。セオドライトで測定を行うときは、コーナーキューブプリズムの代わりに目盛板が取り付けられる。この時は、目盛板の下部に重りが取り付けられ、ベアリングで回転するようになっている。（下部が左右によれても目盛板は常に垂直になるように作られている。）

測定はまず立坑内に装置を水平に設置し、レーザーの発射点と法線とを合わせ孔口中心に管の精度測定器を置きこの点を基準点とした。

結果を表一 2～3、図一 6～7 に示す。表一 2、図一 6 は勾配で、表一 3、図一 7 は蛇行である。勾配、蛇行とも 2 mm 以下の誤差と見られる。この誤差の原因としては測定時における振動などが考えられるが、ほぼ満足される値であるとみる。

5. おわりに

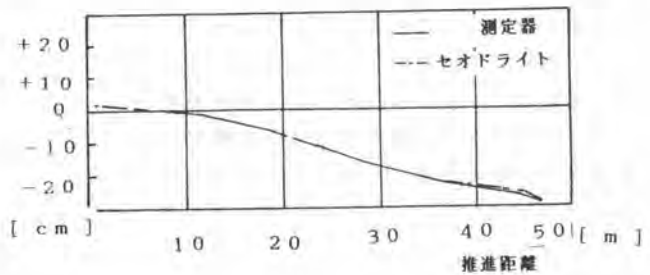
ここで開発した自動計測器は小口径管工法のうちオーガー掘削形式のものを対象として行っているが、40～60 mm φ のコーナーキューブプリズムの取り付けられる物であれば他の工法でも使用可能である。現在、施工実績を積み重ねており、皆様方のご協力をお願いする次第である。

<参考文献>

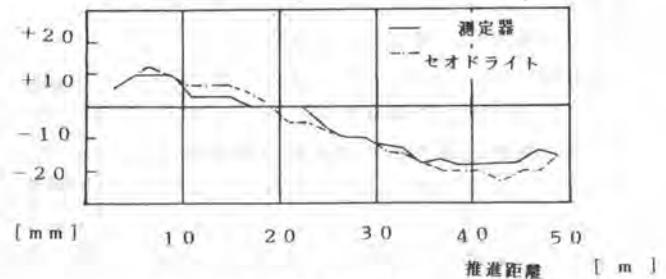
- 1) たとえば、野上：「オーケーモール工法」について、建設機械、Vol.21, No.2, 1985, pp.53-61
- 2) 津村、橋本：レーザー利用による移動体空間通信装置、システムと制御、Vol.29, No.4, 1985, pp.39-41

表一 3 セオドライトとの比較（蛇行）

推進距離 (m)	装置の値 (mm)	セオドライト (mm)	推進距離 (m)	装置の値 (mm)	セオドライト (mm)
0.5	5.0	5	26.5	-10.0	-10
2.5	5.0	5	28.5	-10.0	-10
4.5	9.1	10	30.5	-12.0	-14
6.5	12.7	10	32.5	-12.8	-15
8.5	10.1	10	34.5	-17.8	-18
10.5	6.6	3	36.5	-16.5	-20
12.5	6.6	3	38.5	-18.3	-20
14.5	6.7	3	40.5	-18.1	-20
16.5	4.5	0	42.5	-17.8	-23
18.5	1.3	0	44.5	-17.6	-20
20.5	0.4	-5	46.5	-13.2	-20
22.5	-0.6	-5	48.5	-15.0	-15
24.5	-5.9	-8			



図一 6 セオドライトとの比較（Y軸、勾配）



図一 7 セオドライトとの比較（X軸、蛇行）