

9. 自動測量機の開発

土 岐 晃 生
中 山 准 一
村 上 譲 二

要 旨

当社では、測量作業の省力化をめざし、レーザー・無線通信装置を用いて、ターゲットを追尾する自動測量機の開発を進めてきた。

本報告は、上記自動測量機の基本原理と、システムの各装置について述べ、実際の測量（墨出し、位置計測）における作業手順ならびに計測値の精度等について説明を加えたものである。

キーワード

自動測量機／コーナーキューブ／ターゲット／追尾

目 次

1. はじめに
2. 基本原理
3. 構成
4. 測定方法
5. 精度について
6. あとがき

9. DEVELOPMENT OF AUTOMATIC SURVEY MACHINE

Teruo Toki
Junichi Nakayama
Joji Murakami

Abstract

ASANUMA CORPORATION have developed an automatic survey machine which traces the target using laser beams and radio communications equipment.

This report describes the basic principle of this automatic survey machine and the each device in the system. It also explains the procedure for actual surveying (marking and position instrumentation) and tolerances for measured values.

1. はじめに

現在、建設の分野において、測量は必要欠くべからざる業務の1つであるが、その作業を行うには相当の時間と手間を費やしている。

最近の技術者不足と人件費の高騰もあって、この分野でも省力化に向け研究開発が盛んに行われているが、未だ決定的なものは開発されておらず、開発は始まったばかりと言ってよいと考えられる。

従来から行われているトランシット測量では、トランシットまたはレベルを操作する測量者に加え、ポールやスタッフ、スチールテープなどを扱う測量手が必要であり、通常総勢2～3人で作業を行っている。特に迅速さが要求されるときに、墨出し（位置計測）を行わねばならない場合でも、非常に手間がかかることから、容易に位置決めのできる機械の開発が望まれてきた。

今回、開発の自動測量機は、こういった欠点を大幅に改善し、測量者がリモコン操作により、一人で位置出しをすることができるよう考案したものである。

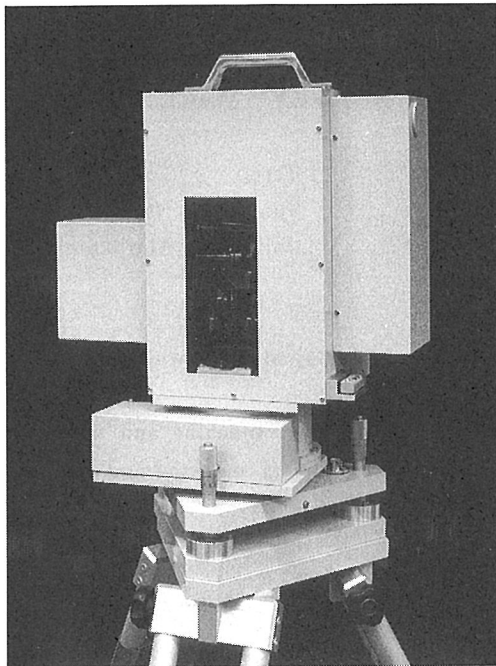


写真-1 自動測量機本体

2. 基本原理

本自動測量機の基本原理は、任意の位置に置いた測量機に既知の点の座標値を入力することにより、求めようとする位置を小型パソコンで算出し、自動的に照準しレーザー光で示す一方、測量者がコーナーキューブと呼ばれるプリズムを機械の発する信号に従って移動させ、求めようとするポイントを容易に捜し出すというものである。このような墨出し作業の他に、座標値の不明なポイントへコーナーキューブを用いたターゲットを移動させ、それを測量機が追尾し、小型パソコンによってポイントの座標値を計算する測点作業も可能であり、追尾原理と位置計測原理を2本の柱としている。

2.1 追尾原理

(1) 構成

追尾を行う基本構成は図-1に示すように、

- ① レーザー発生装置
- ② レーザーの方向を変化させる偏向装置
- ③ 帰還レーザーの位置を検出するセンサー
- ④ センサーからの信号に基づいて偏向装置を制御する制御装置
- ⑤ コーナーキューブ

から成る。

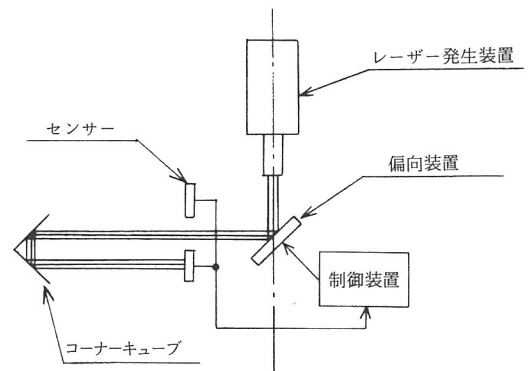


図-1 追尾の基本構成

(2) 動作

追尾は、次に示す制御動作によって行う。

- ① ターゲットの移動
- ② 帰還レーザーの移動

- ③ センサーによる帰還レーザーの位置検出
- ④ 制御装置によるレーザー偏向方向制御信号の発生
- ⑤ 偏向装置によるレーザーの発射方向の変化
- ⑥ レーザーのコーナーキューブ中心への移動

2.2 位置計測原理

(1) 角度計測

角度を計測するために、追尾装置の構成の中の偏向装置を、図-2に示すようにミラーと、それを回転させるモーターを組み合わせたものを使用し、モーターでミラーの回転角度を制御することにより、レーザーの発射角度を変化させる。モーターの回転角度から間接的に、レーザーの発射方向を計算し求める。

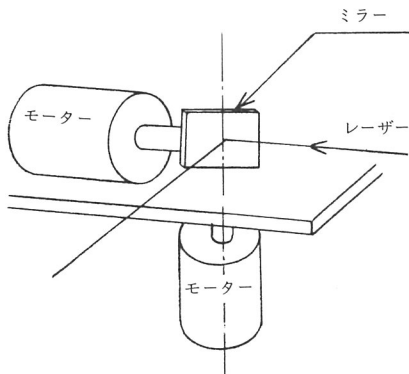


図-2 偏向装置の構成

(2) 距離計測

光波距離計を用いる。構成は、図-3に示すように、光波距離計の光軸が追尾レーザーと同軸となるようにビームスプリッター等を用いて配置する。

そうすることにより、追尾が行われている間、レーザーの偏向装置のミラーを通して光波距離計の計測光は、常にコーナーキューブに入光するようになり、コーナーキューブとの間の距離が計測される。

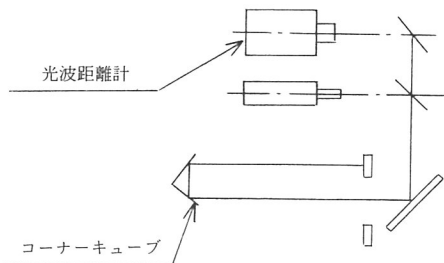


図-3 距離計測のための構成

(3) 位置の計算

このようにして求めた角度と距離から、測量者の持つ小型パソコンで座標計算を行う。

(4) 追尾の開始と追尾中断後の再開

最初に追尾を開始する方法と追尾が中断した後の再開の方法は、追尾レーザーと同一平面の鉛直面上に、追尾レーザーとは別に走査レーザーを発生させ、これをターゲット側センサーで検出することにより行う。

また、この時レーザーの発射方向を、人がターゲット側に変えられるように、無線通信装置によるリモコン装置を組み込む。さらに、この無線通信装置によって、追尾装置側で得られる位置検出データがターゲット側に送られる。

追尾の開始は、次の手順となる。

- ① 鉛直面レーザーの走査開始
- ② ターゲット側の通信装置によるレーザーの発射方向の回転
- ③ ターゲット側センサーによる鉛直面レーザーの検出
- ④ コーナーキューブに鉛直面レーザーが入光するまでレーザーの発射方向を回転、または
- ④ コーナーキューブに鉛直面レーザーが入光するようにターゲットを移動
- ⑤ 追尾の開始

3. 構成

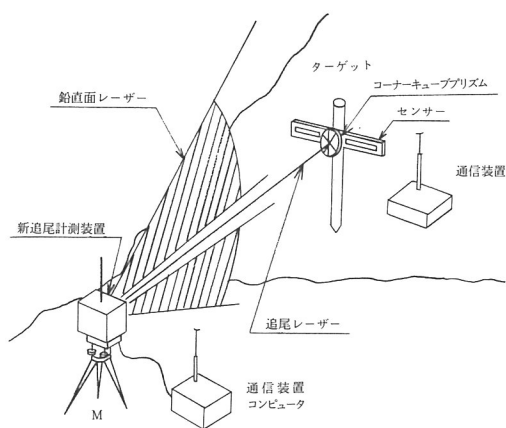
3.1 全体構成

レーザー追尾装置と光波距離計を組み合わせ、角度と距離の計測を同時に行う構成は図-4に示すようになる。また、計測ターゲットとして、ラインセンサーとコーナーキューブプリズムを組み合わせた物を使用し、追尾装置のトラッキングミスを補う。

構成は次のようになる。

- ① 追尾装置
- ② 整準装置
- ③ 通信装置
- ④ ターゲット（コーナーキューブ+センサー）

なお、ターゲットはボールに取り付ける方法と、三脚上に設置する方法がある。



図－４ システムの構成

3.2 各部の説明

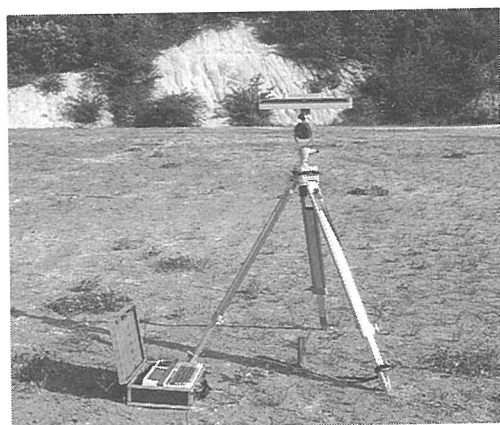
(1) 追尾装置

レーザー光を発射し、コーナークューブの中心を自動的に捜し出しコーナークューブとの距離および基準点など以前に入力したポイントからの角度が表示、記録される。演算はコンピュータで行われ、その場で表示されると共に、通信によってターゲット側でも表示される。また、回転制御、追尾制御も測定機側、ターゲット側の両方でできる。

(2) ターゲット

(a) 三脚式ターゲット

写真－２に見られるように、三脚に求心器付の水準装置を取り付け、これにターゲットがセットされている。設置方法はトランシットに準ずる。運搬設



写真－２ 三脚式ターゲット

置に時間を要するので、高精度が要求されるところ、例えば基準点と測定機の位置関係をとるときなどに使用する。

(b) ポール式ターゲット (写真－３)

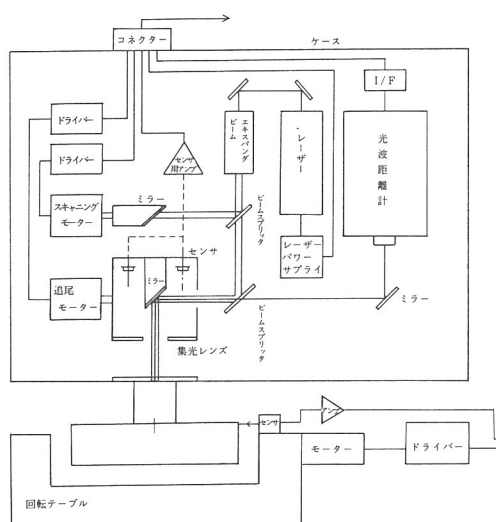
ボールの胴に気泡管を取り付け、コーナークューブの反射中心点と、棒の先端(下端)とが鉛直軸上にあるようにしておく。鉛直精度が気泡管のみであることと、手振れをおこすので高精度は望めないが作業性は良い(例：杭芯出し等)。



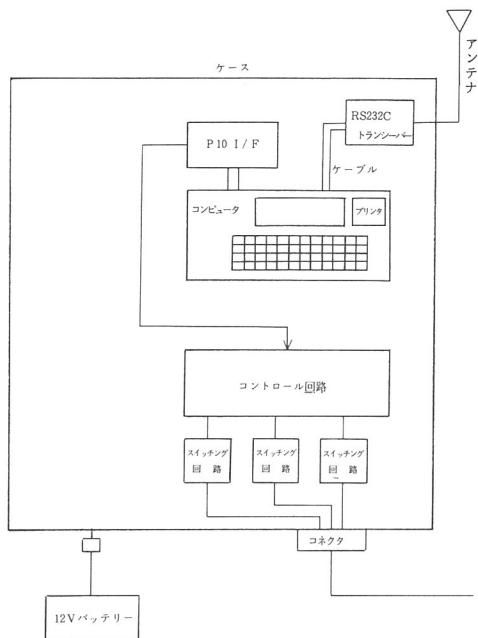
写真－３ ポール式ターゲット

3.3 システムのブロック図

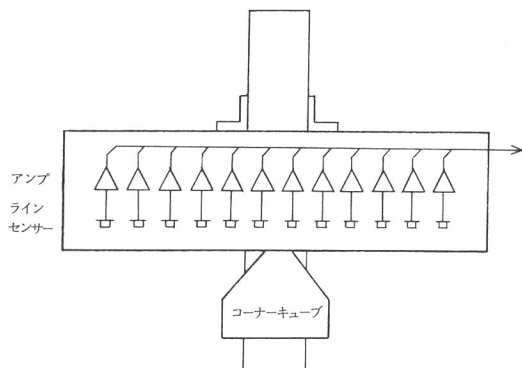
固定側の装置として、追尾装置のブロック図を図－５に、固定側通信制御装置のブロック図を図－６に示す。また、移動側の装置として、ターゲットの構成図を図－７に、移動側通信制御装置のブロック図を図－８に示す。



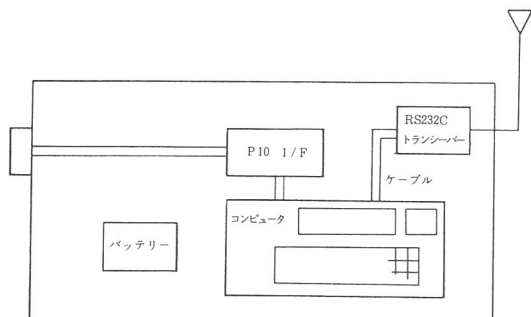
図－５ 追尾装置のブロック図



図－6 固定側通信制御装置のブロック図



図－7 ターゲットの構成図



図－8 移動側通信制御装置のブロック図

4. 測定方法

4.1. 測量作業について

測量作業は大きく分けて、既知のポイントから

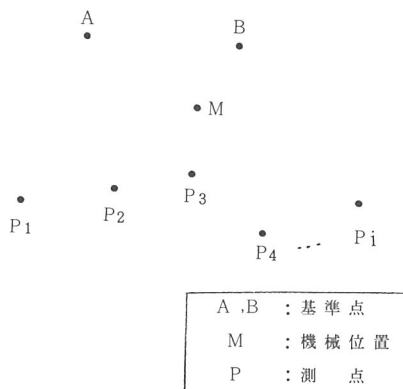
- ① 目的のポイントを探し出す作業（墨出し）
- ② 現場のあるポイントの座標値を求める作業

になる。

各々の例を示すと、下記の(1)、(2)のようになるが、本開発ではコンピュータを使ってどちらの作業に対しても、ソフト上で対応できる。

(1) 目的のポイントを探し出す作業（墨出し）

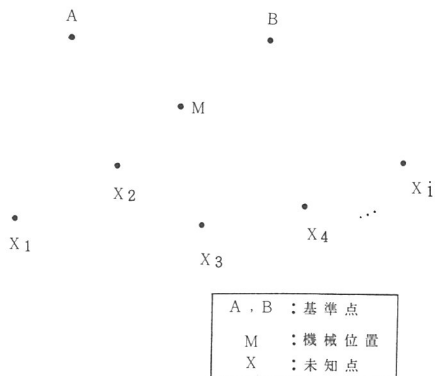
例えば、図－9のA、Bの基準点から座標値の知れた P_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) のポイントを現地に落とす作業。



図－9 墨出し作業

(2) 現場のあるポイントの座標値を求める作業

例えば、図－10のA、Bの基準点から、現場内の X_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) のポイントの座標値を求める作業。



図－10 測点作業

4.2 墨出し作業手順（図-11）

墨出し作業は、次の1～4の手順に従って行う。

- ① 測量に先立って、基準点、測点の座標をターゲット側小型パソコンに入力しておく。
- ② 任意のM地点に装置を水平に据え付ける。
- ③ 基準点あるいは既知のA点に三脚付ターゲットを設置する。設置方法は、トランシットに準ずる。すなわち、求心器により、地上にマークされたポイント軸上にコーナーキューブの反射中心点を合わせ、まずMA間の距離を計測する。次に、Bポイントにターゲットを置き、MAと同様に距離MBを測定する。ここで、角度 θ が計測され、測定機の位置が小型パソコンにて計算される。
- ④ ターゲットをPi地点のおおよその位置に持って行き、センサーによってレーザーをとらえる。コーナーキューブの中心に光をとらえ、図-12のようにPi点からの距離と角度を表示させPi地点を捜し出す。

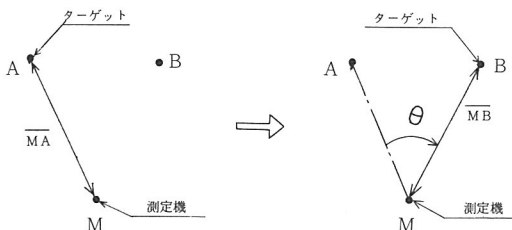


図-11 墨出し作業手順

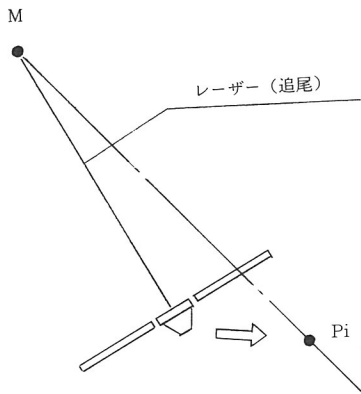


図-12

4.3 測点作業手順

測点作業は、次の1～4の手順に従って行う。

- ① 測量に先立って、基準点の座標をターゲット側小型パソコンに入力しておく。
- ②～③ 墨出し作業に同じ。
- ④ ターゲットは、測点の重要度（要求される精度）に応じて、三脚方式かポール方式かを選ぶ。ターゲットを追尾させ、測点位置に持って来て、ワンタッチで距離と角度を測定し、小型パソコンにて測点の座標値の計算が行われる。

5. 精度について

5.1 基準点の数

基準点の最少数は、三角形の決定ができれば良いので、2カ所である。ただし、精度との兼ね合いもあるので、3カ所以上が好ましいと考える。この場合、座標値を平均化する、あるいは統計計算、 θ 角による補正（小さ過ぎる θ 角からのデータは無視するなど）を行う予定である。

5.2 装置の位置関係と精度

(1) 距離

$$\epsilon = \delta / L$$

L：測定距離 δ ：機械誤差

ϵ ：計測誤差

$L_{\max}$ で誤差最小、従って $MA = MB$ のときに $\epsilon_{\min}$ となる。

(2) 角度

図-13に示すように、Mの座標（ X_M , Y_M ）は次式で与えられる。

$$X_M = \frac{L_1}{L_0} \sqrt{L_0^2 - L_2^2 \cdot \sin^2 \theta}$$

$$Y_M = \frac{L_1}{L_0} \cdot L_2 \cdot \sin \theta$$

したがって、 L_0 , L_1 , L_2 を一定として計算すると次のようになる。

$$\Delta X_M = \frac{L_1}{2 L_0} \cdot \frac{L_2^2 \cdot \sin 2 \theta}{\sqrt{L_0^2 - L_2^2 \cdot \sin^2 \theta}} \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta Y_M = \frac{L_1}{L_0} \cdot (L_2 \cdot \cos \theta) \cdot \Delta \theta$$

すなわち、 θ を 90° となるように基準点に対して装置を設置すると、誤差が最も小さくなる。

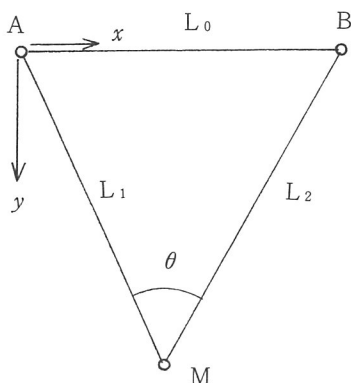


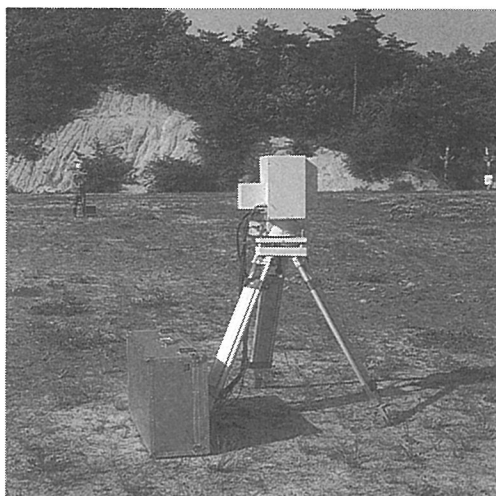
図-13

6. あとがき

以上、自動測量機の開発の背景と、装置の構成ならびに測量方法についてまとめた。開発の現在の状況は、機械本体と周辺機器の製作を終え、技術研究所内で機能テストと調整作業に入っている。主な課題としては、太陽光とレーザー光との判別、200 mの測量範囲をクリアするためのセンサー感度調整、レーザー出力の向上等である。

また、無線通信装置を用いるので、高圧線下、溶接作業付近、車両等のノイズの影響も、重ねて実機テストで調査している。

本開発により、精度の向上とともに省力化が図れるものと期待している。この自動測量機は、日本スピードショア株式会社と共同開発を行ってきたものであるが、計測精度、使用勝手等は順次実験によって確認し、調整・改良を加え、将来はシールド工事への適用を考えている。



＜参考文献＞

- (1) 佐藤, 酒井, 三上, 友松: 三次元測量システムと施工法シンポジウム論文集, p.141-144, 1986.10.
- (2) 三尾, 越智: レーザーポジショナーを用いた建設機械の自動化・ロボット化, 建設機械と施工法シンポジウム論文集, p.98-101, 1987.10
- (3) Tatsuyuki Ochi, Kouhei Mio: A Position System for Mobile Robots in Construction Application, 5th International Symposium on Robotics in Construction (Tokyo, Japan), p.333-340, 1986.6
- (4) 津村, 橋本, 藤原: レーザーとコーナーキューブによる移動ロボットの能動型位置計測法(レーザー捕捉/追尾制御系の構成), 第4回知能移動ロボットシンポジウム講演論文集, p.193-198, 1988.6 (応用例)
- (5) 西出, 埴, 斎藤: 移動体位置方位測定装置(レーザー・ナビゲーター), 第1回アドバンティ・シンポジウム講演論文集, p.69-72, 1988.2