

45. 測量ロボットの開発

～測量作業における高率化と省力化を実現～

東急建設(株)： 鷹巣 征行，佐藤 務
*小島 茂之

1. はじめに

土地造成や高速道路などの土木工事で
行われる測量作業は、未だにそのほとん
どの作業が人手によって行われているた
めに、据え付け誤差の発生やデータ記入
ミスなどの人為的な誤差が生じやすく、
しかも作業の効率化を図ることが困難で
あった。

そこで、測量作業における省人化と効
率化を目指し、現場における測量機器の
運搬や据え付け、測量、現場事務所で行
われる座標データの処理、管理を行う測
量ロボットを開発した。



写真-1 測量ロボット

2. 開発の背景

測量ロボットの開発目標を設定するために、土地造成工事で行われる現状の測量作業についてヒアリング調査を行った。その結果、次のことが判明した。

- 1) 工事開始直後の現場は斜面が多く車両などが乗り入れできない。したがって全ての作業が人手により行われ、一日に測量できる点数も非常に少ない
- 2) 埋設管敷設工事や石積み工事、街築工事などの構造物設置のための測設作業は、高い精度が要求され、しかも測量点数も多い
- 3) ほとんどの測量作業が複数の作業員により行われ、省人化が図れない
- 4) 測量機器の運搬、設置作業に手間がかかり、作業員の省力化および作業時間の短縮が図れない

そこで、測量ロボットの主な作業対象を構造物設置のための測設作業とし、機器運搬作業、測量機設置作業、測設作業の効率化を基本方針とし、開発目標を次のように設定した。

- a) 精密機器である測量機や使用する資材を搭載した状態で測量地点まで移動できること
- b) 作業員一人で測設作業が行えること
- c) 測量機の設置に要する時間が最小限で済むこと
- d) 従来行われていた測量と同等の精度が確保できること
- e) CAD システム等と接続して、測量データの書き込み、取り込みが容易に行えること

3. 測量ロボットの構成

3.1 測量ロボットの構成

開発した測量ロボットの構成図と仕様表をそれぞれ図-1、表-1に示す。

測量ロボットを構成する自動追尾式トータルステーション、走行台車、整準台の3つの機器について、詳細を述べる。

1) 自動追尾式トータルステーション

自動追尾式トータルステーションは、反射プリズムの自動サーチ機能と自動追尾機能を有し、全ての測量作業が作業員一人で行えるものである。

反射プリズムの視準作業が迅速に行うため、望遠鏡の上部には CCD カメラを搭載し、自動追尾式トータルステーションの視準位置の映像を操作盤上の液晶モニタに映し出す。

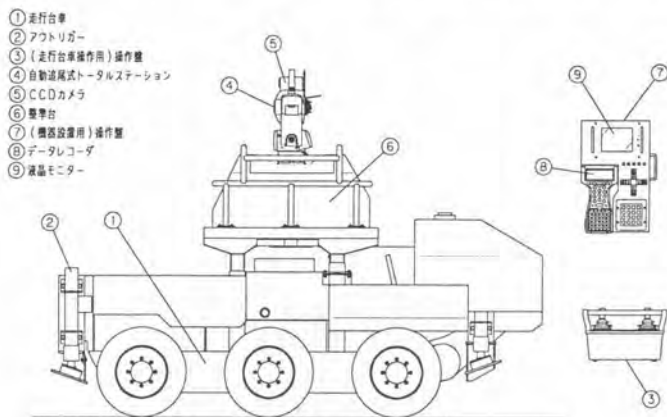


図-1 測量ロボット構成図

表-1 仕様表

| | |
|------------|------------------------------------|
| ・寸法 | 2,270×1,000×1,620mm |
| ・重量 | 850kg |
| ・測量可能距離 | ピンホープリズム: 4~400m 1プリズム : 7~700m |
| ・測距精度 | ±(3mm+2ppm) |
| ・追尾速度 | 10°/sec |
| ・CCDカメラレンズ | 8倍ズーム(f=5.9~47.2mm) |
| ・傾斜補正範囲 | ±30°(水平面に対して) |
| ・登坂能力 | 30°(前後、左右方向とも) |
| ・走行速度 | 0~7.5km/h |
| ・台車操縦方式 | 無線操縦方式 |



写真-2 自動追尾式トータルステーション

自動追尾式トータルステーションは、計測した測距・測角データを無線モデムにより離れた位置のデータレコーダに送る。データレコーダはこの測距・測角データから、反射プリズムの3次元座標を計算して表示する。測設作業の際に、反射プリズムの視準、測距・測角データの読み取り、および測量地点への合図を行う作業員を必要としないため、作業の合理化と省人化を図ることができる。

2) 走行台車

走行台車は、土木工事現場内を自由に走行するためにエンジン駆動で6輪式の不整地走行台車を採用した。斜面や荒れ地、ぬかるんだ場所での走行が可能であるために、走行経路やロボットの設置場所が限定されることがない。またタイヤ走行のために、搭載するトータルステーションに振動や衝撃が伝わりにくい。

台車の周囲にはアウトリガーが装着され、測量時に揺れや振動が発生するのを防止する。4本のアウトリガーにはそれぞれ圧力センサが配置されており、すべてのアウトリガーが均等に接地するように各シリンダに作用する力を管理している。

3) 整準台

整準台は、傾斜補正と振動吸収の2つの機能を有する自動追尾式トータルステーションの架台である。傾斜補正機能は、搭載する自動追尾式トータルステーションを水平に維持するための機能で、トータルステーションを固定するテーブルに内蔵された傾斜計の出力をもとに、 $\pm 30^\circ$ までの傾きを自動的に補正する。

振動吸収機能は、不整地走行時に発生する衝撃や走行台車の振動を、トータルステーションに伝えないためのサスペンション機能である。精密な光学機器であるトータルステーションに長期にわたり衝撃や振動を与えることは故障や精度の低下を引き起こす原因となる。振動吸収機能により、自動追尾式トータルステーションを搭載したまま不整地走行が可能である。

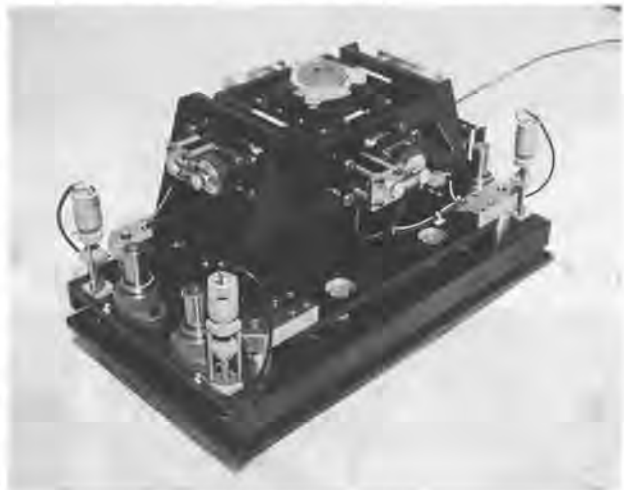


写真-3 整準台

3.2 測量システムの構成

測量ロボットを含めた測量システムの構成を図-2に示す。

測量ロボットは、現場での測量作業を省力化するとともに、CADシステムや測量支援システムと接続することで、測設する点の座標データ作成作業や測量後のデータ処理など、現場事務所における測量管理作業が効率的に行える。

4. 作業手順

測量ロボットの作業手順について、構造物基準点の測設作業を例にとって図-3に示す。

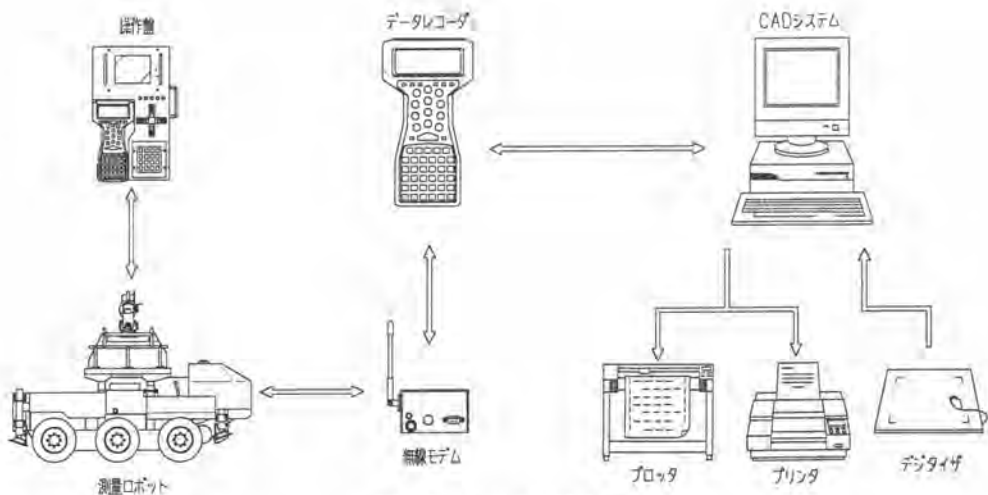


図-2 システム構成図

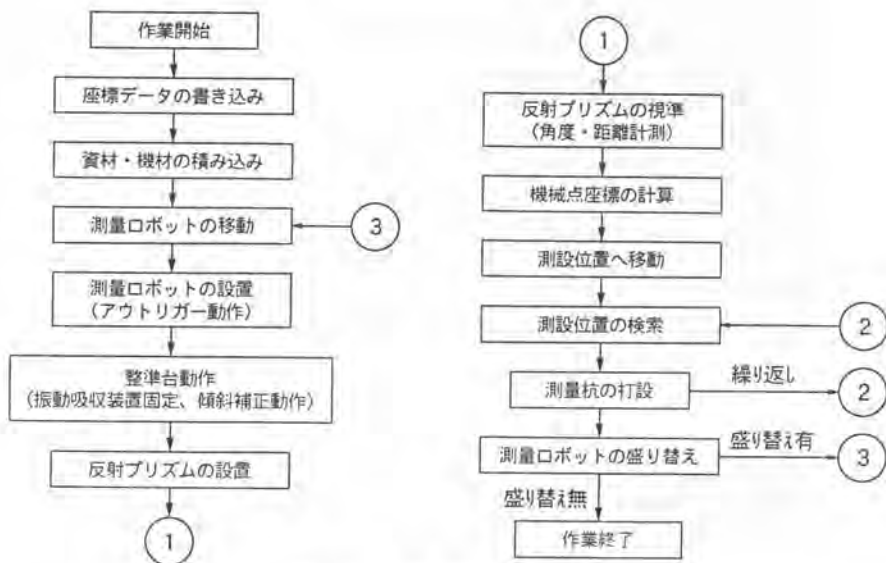


図-3 作業手順フロー図

1) 測量準備作業

測設する点やトラバース点の座標データをデータレコーダ内に書き込む。(データレコーダと CAD システムと接続して座標データの書き込みを行う)

測量に必要な機材(反射プリズム、三脚、測量杭等)を、測量ロボットに搭載する。

2) 測量地点まで移動

ロボットを操作して測量する地点まで移動する。走行時には整準台の振動吸収機能が動作し、振動や衝撃をトータルステーションへ伝達させない。

3) 測量ロボットの設置

測量地点に到着した後に、アウトリガーの張り出しと整準台の振動吸収装置の固定を行い、トータルステーションの揺れを防止する。また、傾斜補正機能によりトータルステーションの傾きを補正する。

4) 反射プリズムの設置

測量ロボットの機械点を計算するための基準点となるトラバー点上に反射プリズムを設置する。

5) 機械点の算出

操作盤上のモニタに映し出されるトータルステーションの視準位置を確認しながら、反射プリズムを順次視準し、角度と距離を計測する。

反射プリズムまでの測距・測角データをもとに後方交会法により機械点の座標計算を行う。

6) 測設作業

データレコーダを測量ロボットから切り離して測設点付近まで移動する。作業員はデータレコーダの表示を確認しながら、測設する点の位置を求める。

測設位置に測量杭を打ち込み、次の測設点に移動する。



写真-4 測量ロボットの移動状況



写真-5 測設位置の検索状況（U字溝構築のための測設作業）

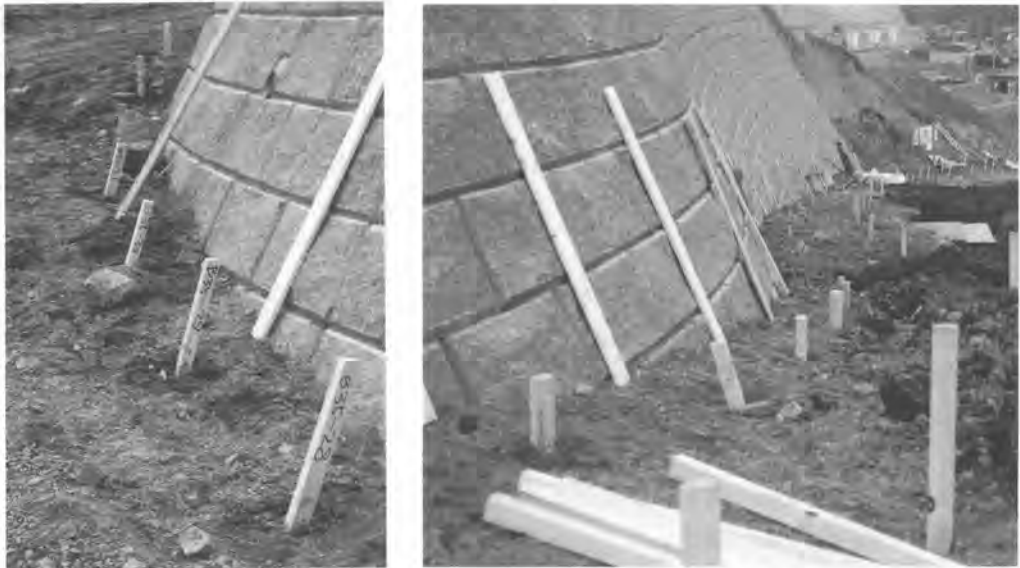


写真-6 測量杭の打設状況（U字溝構築のための測設作業）

5. 現場実験結果

測量ロボットの製作終了後、土地造成工事現場へ導入し、機能確認実験と精度確認実験を行った。その結果、次の効果が確認できた。

- 1) 作業員一人で全ての作業が行え、省人化が実現できた。また、作業効率が向上することで一日に測設できる点数が増加した。
 - 2) 測量に必要な機材をすべて搭載して移動するため、運搬作業に要する時間と労力が減少した。
 - 3) CAD システムから測量ロボットへ直接座標データを書き込めるために、入力ミスの発生がなく、座標データの入力作業が短時間で行えた。
 - 4) 従来行われていた測量と同様の精度が得られた
- 以上の結果から、開発当初に設定した目標をほぼ満足する結果が得られた。

6. おわりに

測量ロボットは、以下の点に重点を置いて開発を行った。

- 1) 自動追尾式トータルステーションを搭載したまま不整地を走行でき、しかも傾斜地でも測量が可能である走行台車と整準台の開発
 - 2) 自動追尾式トータルステーションの作業性を向上させるための制御装置とソフトウェアの開発
- 現場に導入して行った実験により、測量ロボットは開発当初の目標を達成できることが確認できた。今後、さらに測量ロボットの作業性を高めるために、本体やソフトウェアについて改良を行っていく予定である。また、土地造成工事における測量作業だけでなく、トンネルや高速道路工事などの測量、計測作業への適用も行っていく。

最後に、測量ロボットを開発するにあたり、御協力をいただいた方々に感謝の意を表します。