

20. 土工出来高自動計測システムの開発

村上 譲二

要 旨

プリズム等の特殊な反射体を用いずに広範囲に亘る対象物の三次元形状を、自動で直接計測することが可能なノンプリズムトータルステーション（測距測角儀）をすでに開発しているが、この器械を用いてこれまで危険作業をともなっていた、また多くの時間と人員を費やしていた土工事の出来高計測作業を迅速に、かつ安全に計測することができる「土工出来高自動計測システム」をこのたび開発した。

本報告では、このシステムの概要と性能確認のために行った実証実験結果について述べる。

キーワード

土工事／出来高計測／ノンプリズム

目 次

1. はじめに
2. システムの概要
3. 検証実験
4. 現場実証実験
5. あとがき

20. DEVELOPMENT OF AUTOMATIC EARTHWORK PROGRESS MEASUREMENT SYSTEM

Joji Murakami

Abstract

The “Automatic earthwork progress measurement system” was developed which enables quick and safe measurement of progress in earthwork using the non-prism total station (an distance／angle measuring instrument) developed to automatically and directly measure three dimensional shape of a wide variety of objects without using prisms or other special reflectors. Earthwork progress measurement used to involve dangerous work, and require a large amount of time and manpower.

This paper provides a system overview and the results of performance tests conducted to verify its performance.

1. はじめに

大規模な造成工事、道路建設工事などでは、多量の土砂や岩石が掘削、運搬されるため、日々地形が刻々と変化している。そのため、工事現場ではその刻々と変化する地形と運搬された土砂や岩石の量を定量的にリアルタイムで把握するために出来高測量を行い、施工管理に役立たせている。しかし、従来から行われている測量方法では、測量点に光波測距機を設置して観測する者と、その対象となる地山に反射鏡を設置していく者の2人が最小限必要であり、そのうえ、対象地盤が脆い地山や急峻な斜面等の場合には危険作業がともなうだけでなく、特に広大な敷地を測量する場合には非常に多くの時間と労力が費やされていた。

従って、この出来高測量作業を可能な限り自動化し、効率化できれば省力化だけでなく時間短縮が図られることから今回土工出来高自動計測システムの開発に着手した。

このシステムで採用したノンプリズム測距測角装置（以下NPSという）は、プリズム等の特殊な反射鏡を使わずに1000m先までの遠距離の対象物を直接計測することができる装置である。

このたび、本システムの開発によって、出来高計測の迅速化、省力化が図られ、かつ危険作業をともなうことなく計測することが可能となった。

実際に、造成現場の土工事に本システムを適用した結果、期待した以上の精度で、また従来の方法とは比較にならない程の手軽さで計測できることを確認した。

ここに、そのシステムの概要と実証実験結果を報告する。

2. 土工出来高自動計測システムの概要

2.1 システムの概要

本システムは、現場での出来高計測作業を1人で行えるように考案し自動化したものであり、NPS、制御装置、解析装置の3つの装置でもって構成されている。図-1はそのシステムの概要図を示したものである。計測方法は、まず最初に測量対象ヶ所が見渡せる地点にNPSを設置する。次にあらかじめ計測対象となる領域と計測間隔を設定入力しておいた制御装置（データコレクタ）をNPSに接続して自動計測を行い、その結果を制御装置に自動記録する。計測終了後、事務所に制御装置を持ち帰り、解析装置へデータを転送する。このデータをCADソフト、土量計算ソフトウェア等で処理し、対象物の形状を図形化し、出来高土量等を算出する。写真-1に計測時の写真を図-2に計測手順を示す。



写真-1 計測状況

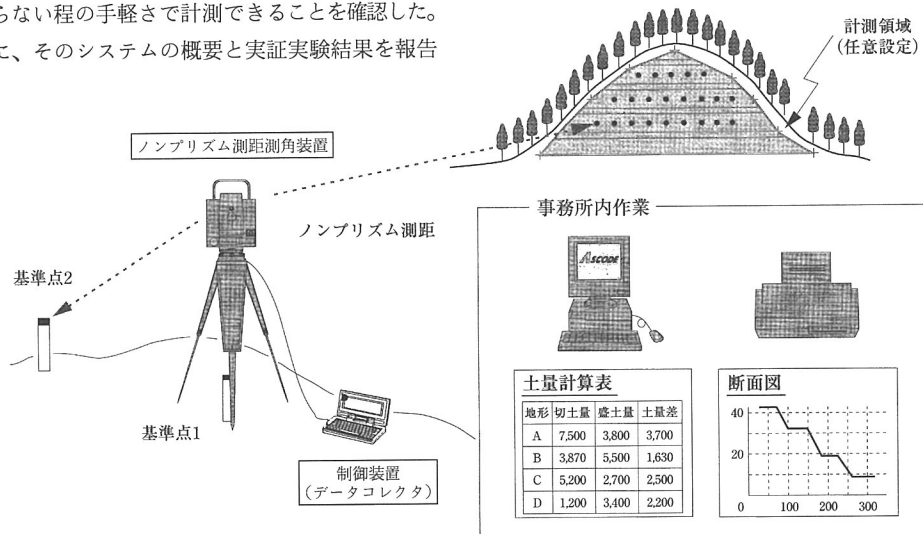
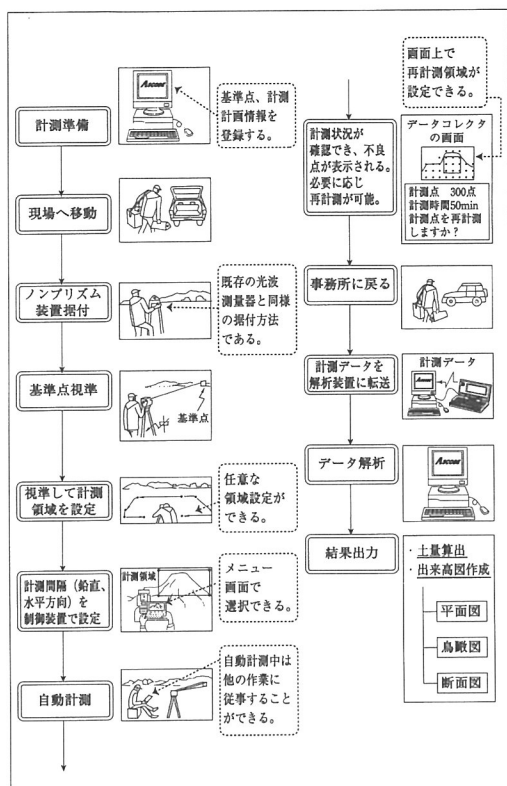


図-1 システム概要図



図－２ 計測手順

2.2 システムの構成

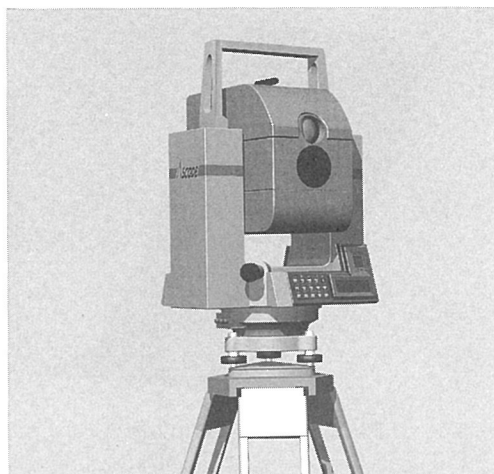
(1) ノンプリズム測距測角装置

本装置は、測距用として固体パルスレーザーを採用し、角度位置決め用としてモーター駆動装置を搭載している。また、外部コンピュータからの制御を可能とするための通信インターフェースを装備している。

表－１に装置の主な仕様を、写真－２にその外観を示す。

表－１ ノンプリズム測距測角装置の仕様

レーザー	固体レーザー（ビーム幅0.3ミリラジアン）
測距範囲	20m～1000m（目標反射率10%以上）
測距精度	± 5 cm以下
測角範囲	高度角：45° ～ 270° 水平角：0° ～ 360°
測角精度	±15'
望遠鏡部	30倍で視野1° 20' 以上
電 源	DC12V（バッテリー重量7.2kg）
本体寸法	263×241×470mm
本体重量	12.7kg（三脚は含まず）



写真－２ ノンプリズム測距測角装置（NPS）

(2) 制御装置

本装置は、NPSの計測動作を制御するものである。

計測範囲や計測間隔等の条件設定はこの装置を使っておこなう。自動計測中は、計測状況を画面上にグラフィック表示する。得られたデータはこの装置に記憶され、必要に応じてデータを転送する。現場での運用性を考慮し、小型軽量のパームトップコンピュータを採用している。写真－３はこの制御装置の外観を示したものである。



写真－３ 制御装置

(3) 解析装置

本装置は、現場から持ち帰った計測データを制御装置から受信し、出来高管理に必要な数値や図表を作成するものであり、計測結果は3次元座標値で出力される。また、計測対象規模や用途に合わせて市販のCADや土木設計システム等にも利用することができる。

図－３に計測結果の出力例を示す。



図－3 計算結果の出力例

2.3 システムの特徴

本システムの特徴と利点を以下に示す。

(1) 省人化が図れる。

広範囲（距離20m～1000m）に亘って、プリズムなしで計測できるため、測量作業員を削減できる。

(2) 広範な運用可能

夜間でも計測可能である。

急峻な斜面や崖など、通常手段では計測できにくい対象物まで測量できる。

任意に細かいピッチで計測できる。

(3) 経済効果が高まる

計測時間が短縮できることで計測回数を増やすことが可能となるため、変更が生じた時でも早期に対処でき、また手戻り作業が減少する。

(4) 安全性の向上

急斜面等の危険箇所を歩行、移動する作業がなくなるため、測量時の事故防止につながる。

(5) データ管理の省力化

計測データはすべてパソコンで処理できるので、土量計算、断面図作成等のデータ処理作業が、短時間でできる。

3. 検証実験

ノンプリズム測距測角装置の基本性能を確認するため、(1)測距精度、(2)傾斜面に対する測距特性、(3)測距安定性について検証試験を行った。その時の試験方法と結果を以下に述べる。

(1) 測距精度の検証

〔試験方法〕

ノンプリズム測距測角装置から約50m～800m離れた任意の地点に目標板（A2サイズの白板）を設置し、ノンプリズム測距を行った。

計測回数は、約100回で、その平均値をその計測値として採用した。

また、比較値（ここでは、距離の真値とする）として同一地点の距離をトータルステーションと1素子プリズムで測定した値を用いた。

〔計測結果〕

測定計測結果を表－2に示す。

ノンプリズムによる測定値と比較値との差は、測定距離に関係なく3cm以下であった。また、測定値の標準偏差も測定距離に関係なく、1cm前後で安定していることが確認できた。

表－2 測距精度 (m)

	ノンプリズム測 距 測 角 装 置	ト ー タ ル ス テ ー シ ョ ン	測距値の差	標準偏差
1	45.606	45.583	0.023	0.005
2	85.472	85.448	0.024	0.004
3	196.557	196.533	0.024	0.008
4	399.803	399.773	0.030	0.009
5	802.450	802.437	0.013	0.004

(2) 傾斜面に対する測距特性の検証

〔試験方法〕

ノンプリズム測距測角装置から約100m離れた地点に材質の異なる計測面を傾斜角度が0°、45°、60°、75°となるように設置し、ノンプリズム測距を行った。傾斜角度が0°の時の測定値を基準値とし、傾斜角度の違いによる測距値を比較した。

〔計測結果〕

測定計測結果を表－3に示す。

すべての材質で、傾斜角度75°での測距値の変化は、±5cm以下であり、傾斜角度の違いによる異常な測距値の出力や測定不能状況は観測されなかった。

(3) 測距安定性の検証

〔試験方法〕

ノンプリズム測距測角装置から約30m離れた地点の壁面（モルタル仕上げ面）を起動状態から連続して測距回数が約1300回（所要時間約1.5時間）計測を行っ

た。

〔計測結果〕

測定計測結果を表－４に示す。

装置を起動時から約1.5時間使用する間、測距値には大きな変動や異常値は検出されず、測距値の平均値±1.5cmの範囲で安定した値を示した。

表－３ 傾斜面に対する測距特性

材 質	測 距 値 (m)			
	0 度	45 度	60 度	75 度
白 板	96.975	96.977	96.975	96.970
土 (乾燥)	96.955	96.967	96.996	97.006
砂 (乾燥)	96.974	96.976	96.980	96.984

表－４ 測距値の安定性試験結果

平 均 値 (m)	30.721
σ (m)	0.004
範 囲 (m)	0.027
最 小 値 (m)	30.709
最 大 値 (m)	30.736
計測回数 (回)	1302

4. 実証実験

本システムの土量計測精度と測量工数を確認するため、実際の造成現場で計測実験を行った。

計測対象とした地形の状況は以下のとおりである。

対象地形１：計画道路に沿った切土斜面で、整形された

法面である。(写真－４)

勾配；１：０.８、高さ；２０ｍ、幅；８０ｍ

小段有り－奥行き１.５ｍ、５段

装置から対象地形までの距離；約２００ｍ

対象地形２：重機で粗く整形された法面である。

一部に人が登れない崖状の起伏がある。

(写真－５)

勾配；１：１、高さ；２０ｍ、幅；２００ｍ

装置から対象地形までの距離；約５００ｍ

4.1 実験方法

開発したシステムを用いて上記の形状の異なる地形を自動計測した。

測距軸の位置決め角度は、水平角度３０′（２００ｍ地点で約１.６ｍ）、鉛直角度１０′（２００ｍ地点で約０.６ｍ）の等間隔で行った。また、同一地形をトータルステーションを用い、比較測量した。この測量は、斜面に設定し

た断面線上（１０ｍ間隔）の地形変局点をトータルステーションを用いて測定した。断面測量による方法は、対象地形を正確に近似するものではないが、実際に現場で運用しているので、この方法による値を比較値とした。



写真－４ 対象地形１の状況



写真－５ 対象地形２の状況

1.2 実験結果

(1) 土量計測精度

本システムによる測量結果とトータルステーションによる測量結果から、それぞれ対象地形の土量誤差ならびに平均高さ誤差を求めた。その結果を表－５に示す。

平均高さ誤差は、対象地形１で１ｃｍ以下、対象地形２では２ｃｍ以下であり、出来高土量を求める上で問題とならない精度で測量できることを確認した。

表－５ 土量計測精度

計測対象	土量誤差(㎡) ①	底面積(㎡) ②	平均高さ誤差 ①／②
対象地形１	3.2	1171.8	0.3cm
対象地形２	70.4	5088.2	1.4cm

(2) 作業工数

それぞれの対象地形の計測に要した作業工数を表－６に示す。本システムの計測に必要なとした人員はシス

テムを操作する要員 1 名のみであり、トータルステーションによる測量に比べ、3 分の 1 以下の作業工数で済むことが確認できた。

表－6 作業工数の比較

計測対象	計 測 方 法	作業工数 (hr×人)	計測点数 (点)
対象地形 1	ノンプリズム	1.0×1 人	756
	トータルステーション	2.0×2 人	150
対象地形 2	ノンプリズム	0.7×1 人	486
	トータルステーション	1.0×2 人	63

5. あとがき

土工出来高自動計測システムの性能確認のため行った検証実験および現場実証実験の結果から、本システムが実用上十分な計測精度を有し、測量人員の大幅な削減が可能なが確認できた。

今後は様々な現場での供用を通じ、システムの改良普及を図っていく予定である。

なお、本システムは、測量や建設工事における自動化技術の開発を目的として設立された自動測量研究会（ASCODE）において、NEC の協力を得て共同開発されたものである。

今年度中にその商品化が予定されている。

[参考文献]

- 1) 三島、吉田、島崎：「ノンプリズム出来高自動計測システムの開発」土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第6部、1996. 9
- 2) 吉田、三島、清水：「ノンプリズム出来高自動計測システムの性能実験」土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第6部、1996. 9
- 3) 五味、池見：「NPS（ノンプリズム出来高自動計測システム）の開発」建設関連業月報