

三次元空間自動測量システムの開発

菱河 恭一 杉本 弘道
渡辺 幸次 脇坂 達也

Development of Automated Survey System in Three-dimensional Space

Kyoichi Hishikawa Hiromichi Sugimoto
Koji Watanabe Tatsuya Wakisaka

Abstract

In recent years, various surveying systems have been developed along with diversification of construction projects and advances made in surveying equipment. However, collimation work is still performed manually even for sophisticated surveying equipment called "total station", and this hinders automation of surveying.

In order to increase efficiency of surveying work in construction of large spatial structures, the authors have developed a three-dimensional surveying system to automate collimation work with image processing. This surveying system was tried applying it to demolition work of a large steel gas tank (diameter 70 m, height 100 m), and the various movements of the tank were observed with the fully automated surveying system. As a result, it was clearly shown that this system is suitable for surveying large-spatial structures.

概 要

近年、建設工事の多様化および測量機器の発達と相まって各種の測量システムが開発されている。しかし、視準作業だけは、高度に電子化されたトータルステーションでも依然として手作業であり、測量の自動化や計測を伴う自動化施工の障害になっている。測量の高度化には視準作業の自動化が不可欠である。

最近増加しつつある大空間構造物工事における測量作業の省力化を目的として、画像処理による自動視準方式の三次元自動測量システムを開発した。基本性能を確認した後、カット&ダウン工法による鋼製円筒形大型ガスタンク（直径約70 m、軒高約100 m）の解体工事に試験的に適用した。タンク壁面切断後のジャッキダウン前・最中・後と作業休止の夜間におけるタンクの挙動を無人計測し、タンク天頂の複雑な軌跡等を把握した。現場管理用測定データと照合した結果、このシステムは大空間構造物の測量に適していることが判明した。

1. はじめに

最近、ドームなどの大空間構造物が急増しており、工事を進める上で測量の高度化、省力化が不可欠である。

近年の測量機器は電子デバイスの発達によりオプトメカトロニクスの測量機器が主流を占め、また半導体の発展に伴いマイコンやミニコン、さらに新素材の開発で各種センサが出現して革新的な観測機器が開発され、測量観測の支援、データ記録および処理加工まで行えるまでになってきた。このため測量・計測の内業・外業の効率化が進んでいる。しかし、現場作業を考えると「視準」についてはなんら進歩していないのが現状である。望遠鏡をのぞき、水平・鉛直ねじや合焦ノブを手操作し、標的に視準を合わせるという作業に関しては測量機器の代表であるトータルステーションでも従来のトランシットと変わらず省力化・自動化を進めるうえでの大きな障害になっている。そこで、大空間構造物の三次元空間位置計測の自動化を目的として計測標的を画像処理により自動視準する自動測量システムを開発した。

本報告は、本測量システムの主要仕様、機器構成・システム構成、技術研究所内における性能試験結果および現場適用試験の無人連続計測によるガスタンクの水平変位軌跡等の結果について概要を紹介する。

2. 特徴

本測量システムの主な特徴は以下のようである。

- (1) 自動視準機能により人的誤差である視差を排除できるばかりでなく、初期設定時に概略の標的位置を視準または入力するだけで自動的に標的図心を求め、視準するので煩雑な多測点の計測では作業効率が向上する。
- (2) 自動計測システムにより標的位置・測定順序・時間間隔等の初期設定さえすれば、あとは自動計測・結果出力・データ記録する。繰返し計測では初期設定は不要になり、連続無人計測ができ省力化できる。
- (3) 極座標計測機能により水平・高度角の計測範囲が広く、全方位自動計測を行うことができる。
- (4) ライトの探照灯機能により暗やみの環境であっても標的を容易に捕捉でき、自動計測ができる。

表-1 主要仕様

測量範囲	測量距離：300m(反射ターゲット使用時) 角 度：●水平方向±195° ●上方向120° ●下方向45°
視 準	自動視準方式(画像処理)
望 遠 鏡	電動ズームレンズ：●視 野：16.5~1.2° ●焦点距離：2.85~429mm
測 距 部	光波測距儀：Eldi10 ・精 度：±(5mm+3ppm) ・表示単位：1mm ・通常単回2秒
測 角 部	インクリメンタル方式(水平、高度角共) 駆動モータ：DM1015B ・精 度：±1秒 ・表示単位：1秒
探 照 灯	光源：ハロゲンランプ
気泡管感度	円形：10"/2mm 托架：4"/2mm
電 源	AC100V
寸法・重量	本体寸法：635(H)×400(W)×550(D) 重量：30kg

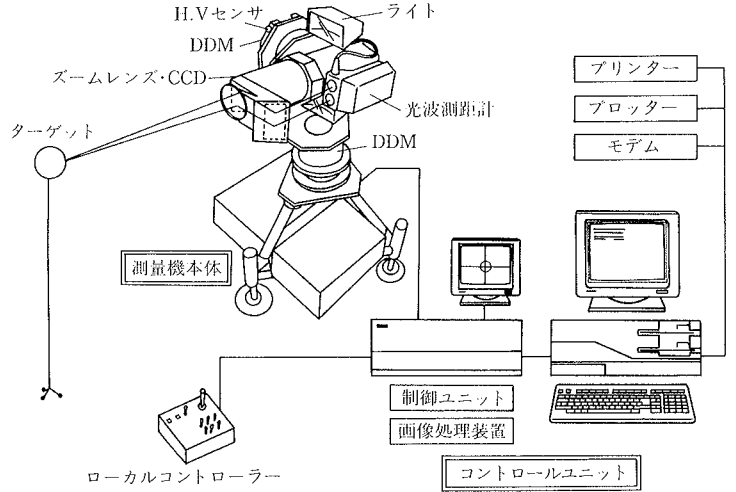


図-1 全体構成図

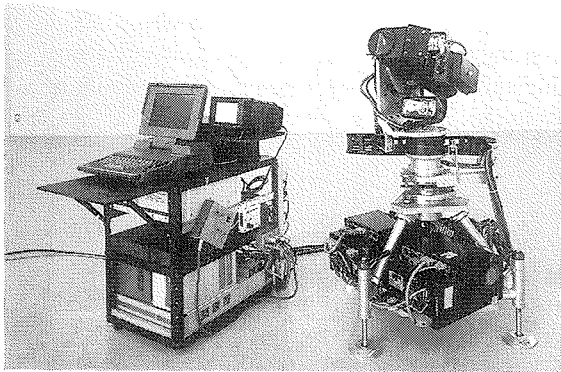


写真-1 全体写真

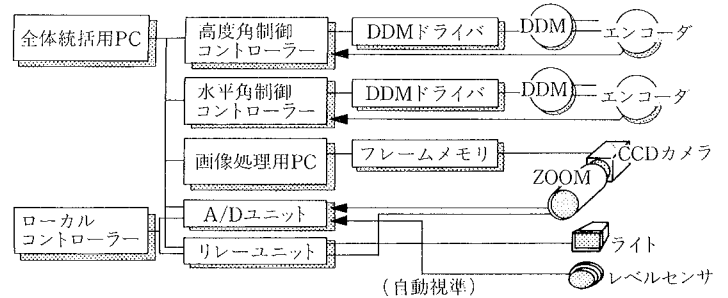


図-2 ブロック図

3. 機器およびシステム構成

3.1 機器構成

本測量システムは自動視準・測距・測角を行う測量機本体および、これらの機器を制御し、データを表示・記録する制御管理用コントロールユニットの2つから構成される。表-1に主要仕様を、図-1に全体構成図を、写真-1に全体写真を、図-2にブロック図を示す。

(1) 測量機本体 構成は、①自動視準用の接眼部に固体撮像素子・CCDを取付けたレンズ電動ズームレンズ②赤外線パルス方式の光波測距計③水平・高度角用の減速機を必要としない高精度の直接駆動のサーボモータ(DDM)④標的の探照灯・画像処理用の輝度差をつけるためのライト⑤フレームの倒れ・揺み検出センサ⑥これらをすべてフレームに取付けられた雲台⑦整準台と三脚⑧電源・制御・通信ケーブルからなっている。

(2) コントロールユニット 構成は、①初期設定時におけるコマンド入力・座標入力、機器制御、データ表示および記録を行う全体統括用パソコン②自動視準用の標的画像処理パソコン③手操作のローカルコントローラ、および④電源・通信ケーブルからなる。

3.2 システム構成

図-3は自動視準の基本原理を、図-4は自動計測処理・画像処理フローを示している。

最初に初期設定として作業者の標的位置入力がある。これには2方法があり、標的座標が既知の場合、全体統括用パソコンで標的位置の入力をする。また、未知の場合は作業者がローカルコントローラで電動ズームレンズを標的に概略向け、ライトをON・OFFして標的を含む一般画像ABを輝度レベル8階調で画像処理装置に取込むと、自動画像処理1.により画像間ABの減算、ラベリング、図形の選別・図心計算処理して標的の選別を行い標的を特定する。次に、標的図心と光軸を一致させるよう水平角・高度角用DDM駆動サーボ系にフィードバックがかけられる。さらに標的図心と光軸の“ずれ量” Δx , Δy の検定を画像処理2.により検定し、1ドット以下の場合には光波測距計で測距し、測角はDDMの回転角から全体統括用パソコンで演算し、これらの値をモニターに表示し、記録する。1ドット越える場合、最初の“画像取込みA”に戻って再度やり直す。

以上のようなシステム構成であるため初期設定さえすれば、あとは自動的に三次元測量を行い、必要データを表示し、記録する。

4. 性能試験と結果

本測量システムの精度・機能を確認するため性能試験を技術研究所内の屋外道路および環境実験棟の環境実験プラザにおいて実施した。

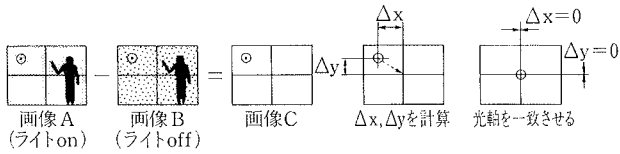


図-3 自動視準の基本原理

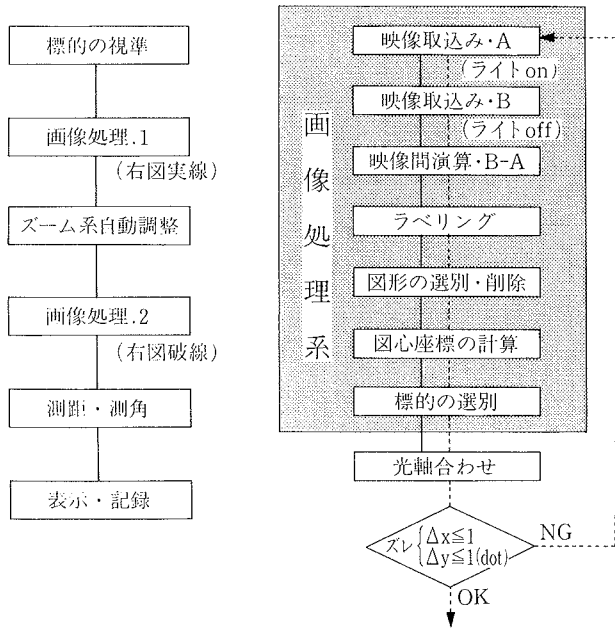


図-4 自動測量・画像処理フロー

4.1 試験項目と標的配置

光波測距計の器械定数、測距精度、自動視準精度試験は図-5標的配置図(屋外)に示すように環境実験棟北隅道路を起点として東方へ直線60m・100mの仮基線場を設け、標的に径50mm再帰性反射ターゲットを設置して確認試験を行った。また、測距試験、水平角・鉛直角の検定、測定範囲、測定所要時間に関しては図-6標的配置図(屋内)に示す環境実験プラザにおいて、前記と同様の標的を壁周囲に目的に合せて配置して確認試験および検定を行った。

4.2 試験方法と結果

4.2.1 器械定数 標的の反射鏡に再帰性反射ターゲットを使用しているため入射光波と反射光波のずれが微小のため、この両方を合せて器械定数とした。器誤差ΔSとすると、 $AB+BC=AC$ という幾何学条件を用いて誤差ΔSを求めた。

$$\therefore \Delta S = S_3 - (S_1 + S_2) = 2.3 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$$

結果は、調整の必要がなく、以後の測定距離にあたっては補正係数 $\Delta S = 2.3 \text{ mm}$ 、 $S = S_0 + \Delta S$ とした。

4.2.2 自動視準の精度 測定距離は15mおよび100mとし、標的は三脚上の手動XYZステージに装着した。標的を50mmスケール左端から右端へ2mm間隔で水平に順次移動させて自動視準機能により計測し、自動視準の微小位置変化の追随性を検証した。

結果は、理論値と測定値との平均角度差は距離15m

表-2 測定結果と許容基準値

単位:秒

測点	高度角			水平角				観測差			
	高度定数	倍角差			観測差						
測定結果	B 24	C 29	D 27	E 29	F 24	G 6	H 4	E 10	F 19	G 12	H 12
基準値	30			30				20			

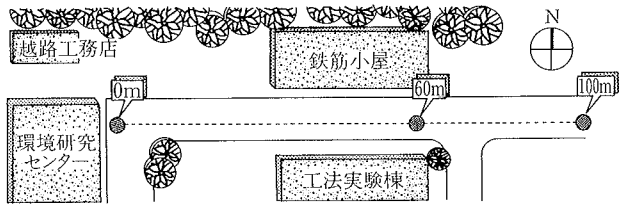


図-5(a) 標的配置図(屋外)

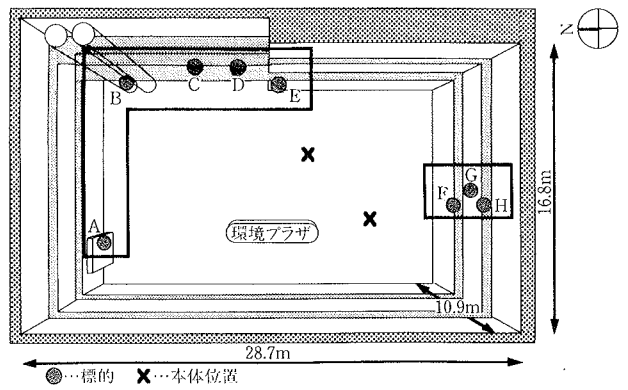


図-5(b) 標的配置図(屋内)

で0.125秒、100mで0.23秒であり自動視準の精度がきわめてよいことが確認できた。

4.2.3 測距精度 測定距離は100mとし、標的を20mmスケール前端から後端へ1mm間隔で移動させて自動測距し、微小位置変化の追随性を検証した。

結果は、平均値で見ると1.03mmで、最大差の範囲では2.4mmであった。従って1mm単位の変化の測定は難しいがメーカー仕様の精度(5mm+3ppm)m.s.eの範囲内にあることが確認できた。

4.2.4 水平角・高度角 検定方法は、建設省公共測量作業規定の第36条規定¹⁾に準拠した。水平角の検定は方向観測法により3対回(正反)し、倍角差と観測差を求めて許容倍角差と観測差と比較した。また鉛直角の検定は高さの異なる3測点を計測し、高度定数を求め許容高度定数と比較した。

結果は、表-2に測定結果と第36条規定の2級基準点における2級トランシット許容基準値を示す。これによれば測定値が許容基準値を満たすので検定に合格しているものと思われる。

5. 現場試用試験

5.1 試験概要

本測量システムの現場試用試験は、鋼製円筒形MAN型ガスタンク(直径約70m、高さ約100m)のカット&ダウン工法による²⁾解体工事において実施した。

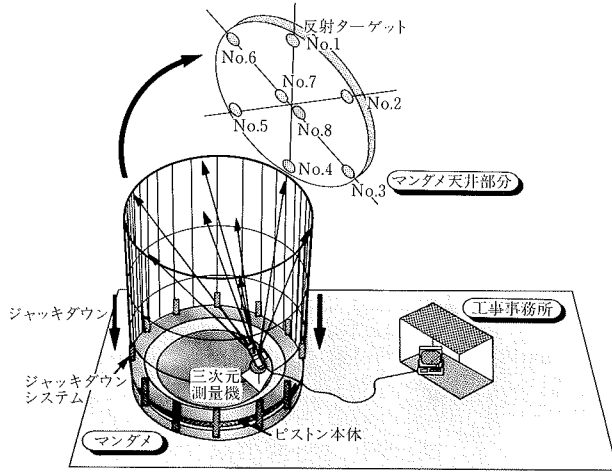


図-6 測量機材の概略配置図

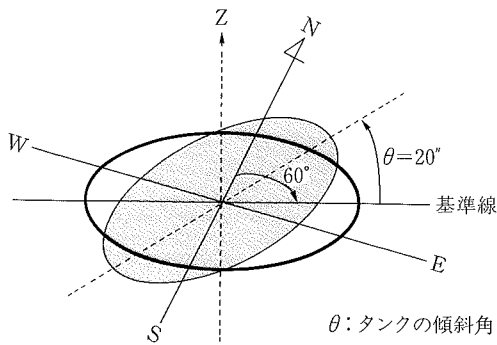


図-8 屋根傾斜角

1日の解体作業は、プラズマ切断による側板切断1.8m(～2.2m)および除去後、一旦タンクを地切り(40mm)してジャッキダウン作業を約1時間弱で行い、最後に下部に定着固定して完了する。

6日間にわたり解体中および夜間のタンク変位の自動計測を行い、現場の管理用計測データと照合した結果、本測量システムは大空間構造物の位置計測に適していること、また今回採用した解体工法が安全性の高い優れた工法であることが確認された。

5.2 測量機材配置

図-6に測量機材の概略配置図を示す。測量機本体はタンク中心から10m離れた位置に、標的は解体前に径100mmの再帰性反射ターゲットをタンク天井に2個と外周に6個を均等配置した。

5.3 結果

(1) ジャッキダウン高さ 1回につき150mm、合計13回のダウンで6測点とも各回150mm±1でダウンしており、現場計測データとの照合ではほぼ一致している。

(2) 天頂水平移動軌跡(a) 図-7(a)に切断作業終了時から定着までの作業中の天頂水平移動軌跡を示す。結果は、最大水平移動量は東西6.0mm、南北12.5mmであり変位はきわめて少ない。

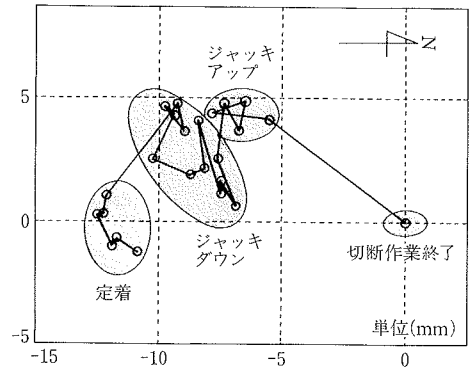


図-7(a) 天頂の水平移動軌跡図 (作業時)

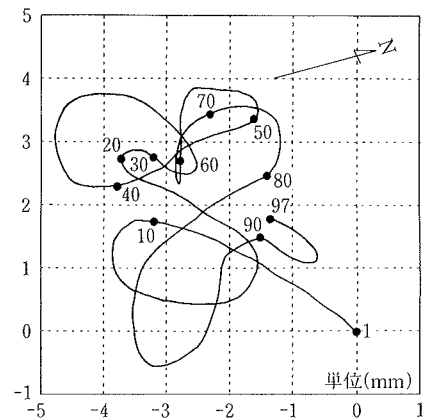


図-7(b) 天頂の水平移動軌跡図 (夜間時)

(3) 天頂水平移動軌跡(b) 図-7(b)に定着固定後の夕方約4時から翌朝8時までの16時間を10分間隔で96回計測(図中番号は測定順番)した天頂水平移動軌跡(b)を示し、移動量が5mm範囲内と小さい。

(4) 屋根傾斜角 図-8に(3)と同一条件で計測した傾斜角の例を示す。北西60°の位置で、最大屋根傾斜角の相対角度は20秒と小さく、転倒の危険性はなく安全である。

6. おわりに

三次元空間自動測量システムは現場試用の結果、簡単な初期設定だけで、無人の多点測量を24時間繰返すことが可能であり、測量作業を大幅に省力化できることがわかった。今後、建設分野の測量作業は多様化し、自動化のニーズが増すものと思われるので、本測量システムの改善をさらに進めていきたい。

参考文献

1) 日本測量協会；建設省公共測量作業規定, p. 40～42, (1985.11)
 2) 吉野恭司, 他；ジャッキダウン工法のごスタック解体工事への適用, 日本建築学会第7回建築施工ロボットシンポジウム予稿集, p. 41～48, (1993.11)