

解析写真測量によるデジタルカメラを用いた 三次元測量システムの開発に関する研究

(株)横河ブリッジ 正会員 竹田 喜彦
長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 宮木 康幸
長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 鳥居 邦夫

1. はじめに

現在写真測量の技術が進歩する中、わが研究室の CCD (Charge-Coupled Device) ビデオカメラによる三次元測量は共線条件方程式を主とした単写真標定による測量となっている。このシステム¹⁾は、橋梁の工場における仮組立を省略する橋梁検査システム (CATS) の計測分野において実用され、多くの実績を残している。また、斜面監視システムとして過去から多くの実験、実用を繰り返してきた。

しかし、この方法は、カメラの内部標定要素および外部標定要素算出に多大な労力が必要とされる。また、その測量理論により各カメラにおける外部標定要素の関係を維持しなければならず、高精度測量においてその管理に細心の注意を払わなければ精度の良い三次元測量を行うことが出来ない。したがって、この計測方法による三次元測量は、屋内など比較的計測環境が整っている場合には適しているが、屋外などの悪条件下での計測には使用が難しい。また、システムの移動を行う場合、非常に大掛かりな作業を要するため、簡易的な屋外の三次元計測には不向きである。

このような背景から、本研究では持ち運びが容易な三次元測量システムの開発を試みた。この方法は、工事現場のような野外において簡単な実測とその測定物の写真をいくつかの方向から数枚撮影することにより三次元測量が可能なものとした。また、使用するカメラについては、一般に市販されているデジタルカメラを用い高精度の測量が可能なシステムとなるように、開発を行った。

2. 計測機器

使用機器として、システムを安価なものとするため市販のデジタルカメラ CANON PowerShot G1 (有効画素約 330 万) 図-1(1) および G2 (有効画素約 400 万) 図-1(2) を使用した。

また、ここでは測量精度を現行のシステム¹⁾と同程度とするため、撮影カメラには前に述べたデジタルカメラを用い、カメラの固定装置として図-2 に示す固定装置を用いた。

また、旧システム¹⁾において内部標定要素および外部標定要素算出時に使用されていた既知の座標を有した立体定規を図-3 に示す。この定規は各測点間距離を大型のノギスにより正確に測定し、さらに幾何補正を行い精密な三次元値を有している。



図-1(1)(2) 計測に使用したデジタルカメラ



図-2 カメラ固定装置



図-3 立体定規

3. システム概要

旧システム¹⁾は、前章(図-2)のカメラ旋回装置のように 2 台以上のカメラを固定した状態で、計測対象物の計測を行う。これは、単写真標定によりカメラの外部標定要素を求めているためである。すなわち、各カメラの位置、傾きの関係を維持することにより検定座標系における各カメラの位置三次元座標値 (X_c, Y_c, Z_c) と回転角 (α, β, γ) がそれぞれ固定される。固定カメラにおいては光軸が変化しないため計測物の三次元座標値を求めることが出来る。また、カメラの内部標定要素についても同じ方法から求めるため、外部標定要

Key Words : Analytical photogrammetry, Relative orientation, Digital CCD Camera

連絡先：〒273-0026 千葉県船橋市山野町 47 番地 1 TEL.047(437)7694 FAX : 047-435-6206

素算出および内部標定要素算出を同時に行えるような立体的な定規(図-3)が必要となる。

本研究で開発したシステムでは、従来のように単写真標定による外部標定要素の決定を行わず、相互標定により外部標定要素を決定する。相互標定では、2 箇所以上から撮影された画像に共通する任意の点（写真測量においては、パスポイントと呼ばれる。）を 5 点以上共有することによりその撮影された写真におけるカメラの位置、傾き、を表す外部標定要素を決定することが可能である。この方法で外部標定要素が決定することにより、写真内の任意点の三次元座標が算出される。つまり、単写真標定において必要であった立体定規などの既知点が不要となる。

4. 新システムによる実験

1) 新システムの精度

投影中心を結ぶモデルにより相互標定を行った場合には図-4 に示すように、標準偏差が 2.6mm と大変よい結果が得られた。相互標定として得られた今回の結果は十分信頼性のある結果と言える。

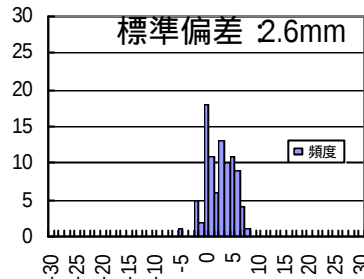


図-4 システムの測定値と実測値

2) パスポイントの数と収束回数

共面条件による相互標定では、5 つの面が形成されれば、幾何学的に外部標定要素が決定されることが明らかである。しかし、実際の計測においては、残差の影響により 5 点以上測点を設けることとなっている。そこで、最適なパスポイントの個数を検討する。実験は、立体定規を用い測点数（パスポイント数）を 4 点から 14 点まで変化させ、相互標定を行った。その結果を表-1 に示す。

表-1 パスポイントの数と収束値

測点数 〔パスポイント数〕	収束回数	標準偏差 〔mm〕
4 点	収束し	×
5 点	288 回	×
6 点	455 回	×
7 点	673 回	×
8 点	269 回	×
9 点	28 回	3.1
10 点	25 回	2.4
11 点	19 回	1.3
12 点	15 回	1.1
13 点	15 回	0.9
14 点	14 回	0.8

表-1 の結果を見ると、輪郭抽出により測点を取得した場合、10 点程度の測点数（パスポイント）があれば収束し、よい値が得られた。しかし、精度を考えるならば収束回数が 20 回以下で収束する測点数または、収束する測点の組み合わせを考えた方がよい。

3) オート(AE, AF)撮影による精度

一般に市販されているデジタルカメラはユーザーが撮影時にピンボケや光量の調整を気にすることなく撮影できる機能、つまり撮影技術を必要としない AF, AE 機能が多く用いられている。しかし、この機能は内部標定要素を変化させてしまうと考えられることから、その機能の使用による影響を検討した。

実験は、カメラをマニュアルモードとし、絞りを Auto, F8.0, F5.0, F8.0 と変化させ測量精度のばらつきを調べた。

図-5 に示すように、測量誤差がどの絞りに対しても均等にばらついていることから、Auto 撮影による測量精度への影響が無い事が分かる。

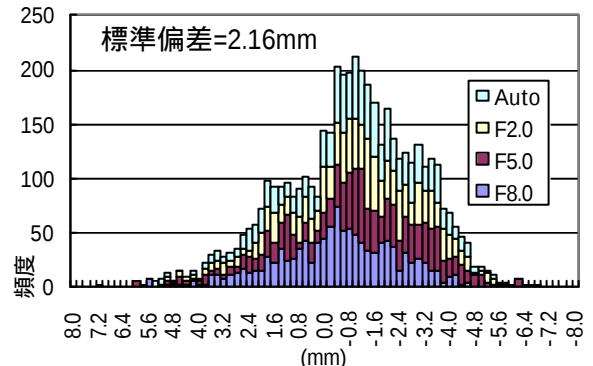


図-5 AUTO 撮影による精度への影響

またズーム機能による内部標定要素の変化を同様に実験したところ、2 ピクセル程度の誤差にとどまった。したがって、市販のデジタルカメラで Auto 機能を用いて撮影した場合の影響は、2 ピクセル程度であることが分かった。

5. 結論

相互標定のパスポイントの数については、実際の計測においてターゲットを用いた場合、10 点程度のパスポイントを設けることが必要でその位置も、カメラの画像に対し全体に配置することが望ましい事が確認された。

市販デジタルカメラは、ズーム機能、オートフォーカス機能などのユーザーが簡単に撮影を行うための機能が付属されている。そのため、計測において非常に不利な要素が多い。そこで、一般のデジタルカメラにおいてどの程度の撮影精度（測定精度）が得られるかについて実験を行った。その結果、ズーム、オートフォーカス等の影響が約 1 ピクセル程度と確認された。

したがって、その程度の影響を許容すれば、一般の市販デジタルカメラにおいても 2 ピクセル程度の誤差で十分に三次元計測が可能であることが分かった。