

京都大学工学部	学生員	○瀧本	和宏
京都大学大学院	正会員	大西	有三
京都大学大学院		大津	宏康
京都大学大学院		矢野	隆夫
京都大学大学院		西山	哲

1. はじめに

わが国の地質構造は非常に複雑であるため古くから岩盤斜面に関する事故が絶えず、防災の観点から岩盤斜面の崩壊を事前にとらえることが重要となる。そのため、斜面の変状をモニタリングする技術の開発が必要となる。近年、高精度のデジタルカメラや大容量で高速のパソコンが低コストで入手できるといったデジタル技術の発展に伴い、精密写真測量が注目されている。この計測法は従来の計測法に比べて、ハードの経済的コスト及び計測作業に要する時間的コストの点で優れている部分もあるが、図1に示すように技術として未完成である。よって、斜面モニタリングに適用するためには、広範囲でリアルタイムな計測技術として確立する必要がある。

2. 精密写真測量の概要¹⁾

計測原理は図2に示すように、計測点とその写真上の画像点とレンズ中心位置とが一直線にあるという「共線条件」と呼ばれる幾何学的な関係に基づいている。そして、1計測点の像に付き1本の共線ができるが、その共線の方程式を解くことによって計測点の3次元座標を求めるのである。しかし、その方程式は未知数に関して非線形であるので、テーラー展開によって線形化し、逐次近似解法を用いる。そのため、未知数（計測点の3次元座標とレンズ中心位置）の初期値が必要となる。これは、あらかじめ計測点の3次元座標を計測する必要があることを意味し、リアルタイム計測の妨げとなっていた。そこで本研究では、次に述べる写真の接続技術を用いて、室内における解析段階で自動的に初期値を得る方法を開発する。

3. 自動計測手法の開発

共線上には3つの点が存在するが、そのうち2点が既知であれば共線は決定し、残りの1点を求めることができる。その求め方には3通りある。

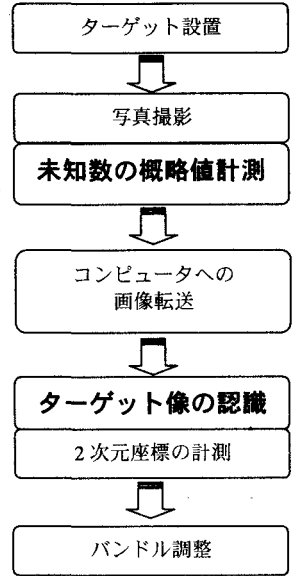


図1 測量作業の流れ

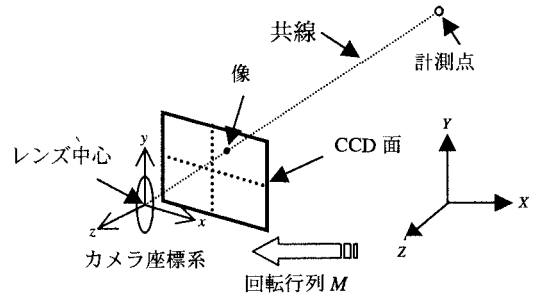


図2 共線条件

ターゲット3次元座標(未知)

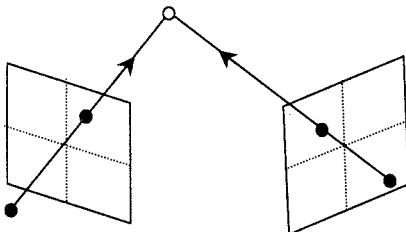


図3 前方交会

ターゲット像
2次元座標(未知)

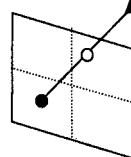


図4 後方投影

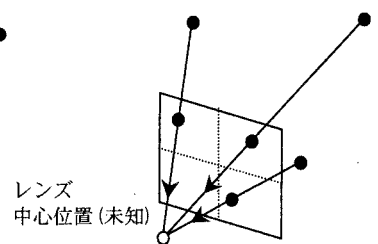


図5 後方交会

- ① 前方交会 (図3) …既知のカメラ位置と計測点の像とから、計測点の3次元座標を求めること。
- ② 後方投影 (図4) …既知のカメラ位置と計測点とから、画像上の2次元座標を求めること。
- ③ 後方交会 (図5) …数点の既知計測点とその像とから、カメラ位置を求めること。

以上3つのツールを用いれば、全ての写真と全てのターゲットが共線を介して関連付けられる。すなわち未知数の概略値を、現場での計測なしに求めることができるのである。この一連の作業を写真の接続と言う。

なお、後方交会法には「単写真標定」と「DLT法」の2種類あって、違いを表に示した。

4. 室内実験の概要

計測点として89個のターゲットを貼り付け、デジタルカメラで撮影する実験を行った(図6)。用いたカメラは、画素数2000*1312、CCDサイズ27.6*18.4mmのもので、18mmレンズを使用した。全12枚をフリーハンドで撮影し、結果として計測精度を示す標準偏差は0.1671mmを得た。

5. 解析及び結果

精密写真測量によって得たターゲットの3次元座標を用いて、単写真標定を実行し、カメラ位置座標の自動計測の可能性を検討した。初期値を変化させて、カメラの位置座標がどのように収束するかを調べた。ここで、単写真標定の精度は「平均二乗和」を用いて検討した(図7)。これは、手作業により像の認識を行いその重心位置の計算結果と、後方交会で得たカメラ位置を用いて、後方投影により仮の像位置を求めた結果との、画像面上での誤差をピクセル単位で求め、全ターゲットに関して二乗平均したものである。

初期値は、図6に示す座標系で $Z = 6000\text{mm}$ の平面状で変化させ、それぞれについて平均二乗和を計算したものの結果を図8に示した。

6. まとめ

単写真標定の収束範囲は上下左右共に2000mmと広い。これより、あらかじめ計測済みの基準尺を現場に設置し、他の計測点と共に撮影し、DLT法でカメラ位置座標を求め、それを初期値として単写真標定を実行することにより、初期値不要の後方交会、すなわちカメラ位置座標の自動取得が可能となる。よって、現場での概略値計測が不要になるため、現場での作業時間が減少させることができる。

しかし、後方交会の際に用いるターゲットや、初期値の設定などにより収束状況が不安定になるという事実も確かめられている。全自動でリアルタイムな測量システムを目指して、この点に関しては今後の課題とする。

参考文献

- 1) 林訓裕, 大西有三, 大津宏康, 西山哲, 矢野隆夫: 岩盤斜面モニタリング技術としての精密写真測量の可能性, 第2回 最近の地盤計測技術に関するシンポジウム発表論文集, 2000.12

表6 後方交会2種

単写真標定	DLT法
初期値必要	初期値不要
収束計算	連立方程式を1回で解く
安定	不安定

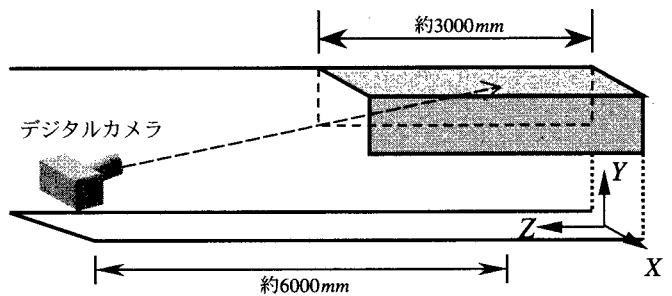


図6 ターゲット場の様子

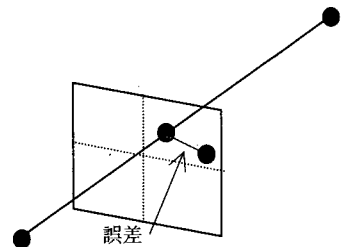


図7 誤差のイメージ

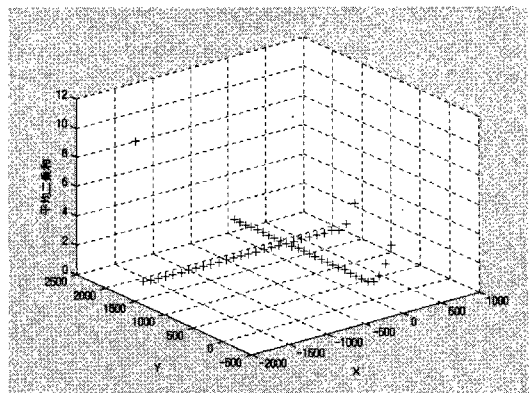


図8 収束状況