

第Ⅲ部門

先験情報を用いて高度化した精密写真測量システムによる斜面動態観測

京都大学工学部	学生員	○金川 真二
京都大学大学院工学研究科	正会員	大西 有三
京都大学大学院工学研究科	正会員	西山 哲
京都大学大学院工学研究科	正会員	矢野 隆夫
株式会社アーステック東洋	正会員	龍 明治

1.はじめに

わが国は世界でも有数の地殻変動帯に位置しており、地震や火山活動などの地学的現象が活発であるため斜面崩壊が発生しやすい環境にある。崩壊危険箇所は日本全国に数多く分布しており、このような斜面の安定性を評価し、崩壊を予測するシステムが必要となる。そこで、デジタルカメラによる精密写真測量システムを斜面動態観測に適用することが検討されてきた。しかし、実際の現場では撮影箇所の選定が困難で、適切な撮影箇所を確保できない場合も生じ、より少ない写真枚数での計測が求められている。そこで本研究ではカメラパラメータに着目し、従来は未知数であったカメラパラメータを先験情報として得た上で解析するという方法を提案した。本研究では、この方法をレンズひずみ固定バンドル調整と呼ぶことにする。本手法の有効性を検討するために屋外実験を行い、精度検証、変位検出により従来の方法との比較を行った。

2.解析手法

従来の精密写真測量において既知数として得られるのは、写真上の x, y 座標のみである。未知数は、対象点座標 (X, Y, Z) 、外部標定要素（カメラの撮影位置 (X_0, Y_0, Z_0) 、回転角 (θ, ϕ, κ) ）、カメラパラメータ（焦点距離やレンズひずみ係数など 8 個）（図-1 参照）である。すなわち、対象点の数を n 、画像枚数を m とすると、対象点座標は $3n$ 個、外部標定要素は $6m$ 個、カメラパラメータ（8 個）を合わせて $3n+6m+8$ の未知数が存在する。また、撮影位置、写真上の像、計測点が一直線上にあるという条件式（共線条件式）が写真上の像 1 点につき 2 つ得られ、方程式の個数は $2mn$ である。共線条件式は次のようになる。

$$\begin{aligned} x + \Delta x &= -c \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\ y + \Delta y &= -c \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta x, \Delta y$ は補正項でカメラパラメータを含み、 m_{ij} は回転行列 M の (i, j) 要素でカメラ回転角が含まれている。これは非線形なので未知数を初期値と補正量の和に置き換え、初期値のまわりでテーラー展開により線形化を行い連立方程式を作り、最小 2 乗法を用いて解く。これが、従来のセルフ・キャリブレーション付きバンドル調整である¹⁾。

これに対しレンズひずみ固定バンドル調整では、8 個のカメラパラメータを既知数として初期値で固定し、共線条件式を線形化する際にこの 8 個については解を更新せずに解析する。すなわち未知数の個数が $3n+6m+8$ から $3n+6m$ に減少する。以下の解法は従来と同様である。

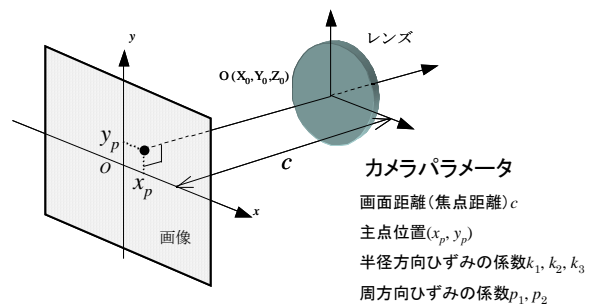


図-1 カメラ内部モデル

3.屋外実験

屋外実験の計測対象は、コンパネにターゲットを貼り付けたものである。使用カメラは Kodak pro 14n, 計測用ターゲットは 34 個 (3つは人為的に移動可能), 撮影枚数は 36 枚, 撮影距離は 20~50m, 撮影箇所は 9 箇所であった。ターゲットを各軸方向に 1つずつ, 計 3つ移動させて 2つの手法で解析し, 結果を比較した。図-2 に計測対象, 図-3 にフィールド概略図を示す。変位させた量は, 図-2 の 17 番を z 方向に 3.02mm, 20 番を x 方向に 2.94mm, 33 番を y 方向に 2.91mm であった。また, 精度の評価には 2種類の精度を用いた (図-4)。内的精度は未知数の推定値のばらつきを表し, 外的精度は未知数の推定値と真値との偏りを表す。以上の条件で実験を行い, 2つの手法で解析した。

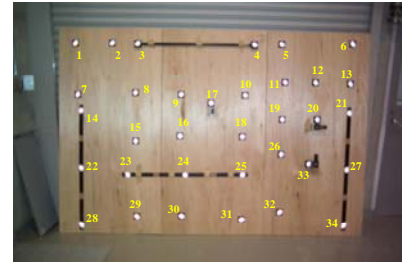


図-2 計測対象

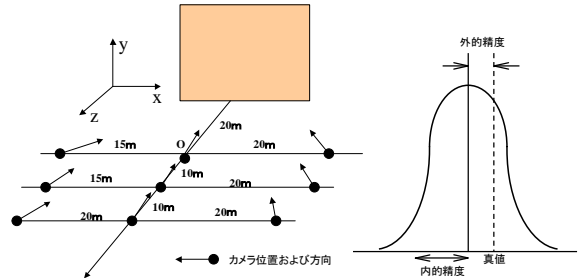


図-3 フィールド概略図 図-4 2種類の精度

4.調整計算結果

内的精度結果を表-1 に示す。レンズひずみ固定バンドル調整のほうが内的精度が大きく低下しているが, これは先験情報で得られたカメラパラメータの値で固定して解析したため, 本来カメラパラメータに伝播する分の誤差が対象点座標に伝播したことが原因であると考えられる。変位検出結果を図-5 に示す。変位検出結果には両者の間に大きな差は見られず, 両者とも変位を忠実に検出できている。そこで, 使用する写真を減らして解析してみた。外的精度と写真枚数の関係を図-6 に示す。セルフ・キャリブレーション付きバンドル調整で写真枚数 36 枚での外的精度は 0.2286mm であるのに対し, レンズひずみ固定バンドル調整で写真枚数を 32 枚に減らしても外的精度は 0.2280mm である。さらに減らして 28 枚にしても外的精度は大きく低下しない。これよりレンズひずみ固定バンドル調整で解析すれば写真枚数を削減できることが分かった。

表-1 内的精度結果

セルフ・キャリブレーション付きバンドル調整			レンズひずみ固定バンドル調整		
内的精度	移動前	移動後	内的精度	移動前	移動後
σ_x	0.1469	0.1354	σ_x	53.1643	58.6995
σ_y	0.1205	0.1106	σ_y	43.6147	47.9326
σ_z	0.2854	0.2590	σ_z	103.3001	112.2416
σ_{xyz}	0.1980	0.1804	σ_{xyz}	71.6463	78.1906

単位 mm

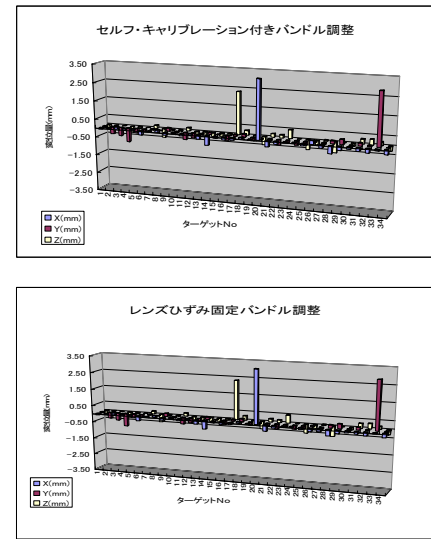


図-5 変位検出結果

5.まとめ

新たに提案したレンズひずみ固定バンドル調整で解析すれば, 写真枚数の削減により計測作業を省力化でき, 少ない写真枚数で変位を検出できた。これが, システムの高度化につながると考えられる。今回の実験では撮影条件が良かったので, 今後の課題として, 実際の斜面での計測においても同様の結果が得られるかどうかの検討が必要である。

参考文献

1)秋本圭一・服部進：画像計測の基礎, 岡山職業能力開発短期大学校紀要, Vol.11, pp.23-38, 1997

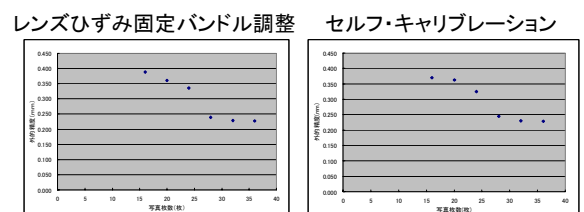


図-6 外的精度と写真枚数