

3次元写真計測に使用する写真の簡易歪補正方法について

独立行政法人土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○山崎 貴志
国島 英樹
岸 寛人

岩盤斜面災害などが発生した場合、災害箇所を迅速に把握することは、災害対策に資すると考えられる。このための計測方法の1つとして3次元写真計測がある。この計測を精度良く行うには、計測に使用する写真の歪み補正が必要である。通常、補正には撮影したカメラの校正データが必要であるが、災害時などではこの校正データを得られない場合もある。

そこで本稿では、撮影カメラの校正データが不明である写真について、写真の歪みを簡易に補正する方法を検討した。

キーワード：3次元写真計測、写真歪み、歪み補正、トータルステーション

1. はじめに

岩盤斜面災害などが発生した場合、ラジコンヘリコプターを用いた上空からの計測は、計測対象地に立ち入らずに計測を行えることや、上空より計測することにより計測の死角が生じにくいなどの理由で有用な計測方法と考えられる¹⁾。さらに、近年、小型で従来に比べ手軽に飛行、空撮を行うことができるラジコンヘリコプター²⁾が登場してきており、災害時の写真撮影等にも利用されていくと考えられる。

ここで、災害箇所の斜面形状を3次元的に把握することは、被災量の算出や災害対策に有用と考えられるが、このための計測方法の1つに、通常のデジタルカメラの写真を用いて行うことができる3次元形状計測方法である3次元写真計測がある。この3次元写真計測を精度良く行うには、計測に使用する写真の歪みを補正する必要がある。そして、写真の歪みはカメラ固有のレンズ特性により生じるため、補正には撮影したカメラの校正データが必要である。しかし、過去に撮影された写真など、写真データだけしか入手できない場合には校正データを得ることができない。

そこで、本稿では、撮影カメラの校正データが不明である写真について、ノンプリズム型のトータルステーションで現地計測を行うことにより簡易に歪みを補正する方法を検討した。また、本方法で歪みを補正した写真を用いてテスト計測を行い、計測精度についての確認を行った。

2. 写真歪みの補正

(1) 歪み補正の概要

本稿で行う写真歪み補正作業のフローを図-1に示す。計測対象を撮影した写真上の特徴点（岩の角など、位置を確定しやすい地点）の写真上の位置座標をピクセル数として計測するとともに、その特徴点に対応する現地の地点の3次元位置座標をトータルステーションにより現地計測を行い、これらの計測値から写真の歪み度合い等を算出する。この写真の歪み度合いを基に写真を変形することにより写真の歪み補正を行う。

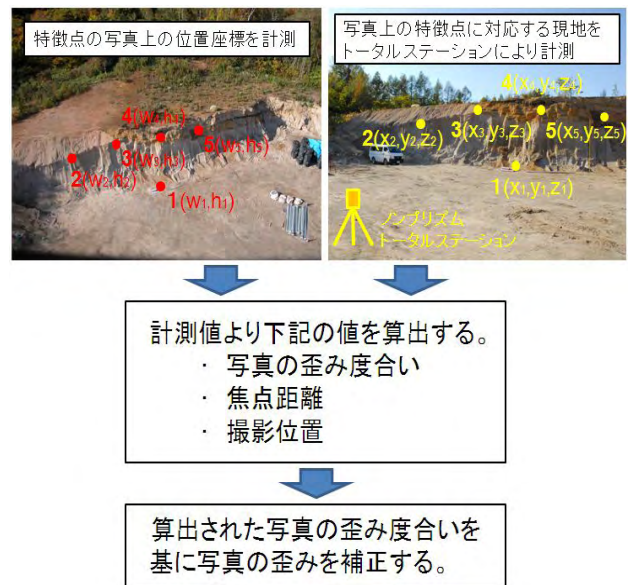


図-1 写真歪み補正作業フロー

(2) 写真の歪み

6機種のデジタルカメラ（カメラA～F）について、撮影した写真の歪み計測を行った。

写真-1に示すテストパターンを各デジタルカメラの最大画素・最大広角で撮影し、撮影した写真に写ったテストパターンについて、テストパターン最内円半径を基準長として、最内円半径の整数倍で描かれた各円の半径の写真上での歪み量を計測した。

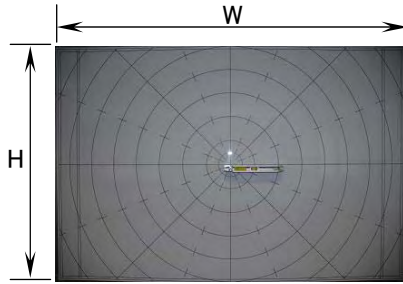


写真-1 テストパターン

カメラAについての計測結果を図-2、図-3に示す。図-2は写真中心からの距離 r に対する半径方向の歪み量 Δr （外向きを正とする。）を写真中心からの方向別に表しており、縦軸横軸ともに写真横幅 W により割り戻している。図-2より、歪み量はどの方向においても写真中心からの距離の3乗にほぼ比例していることがわかる。

図-3は写真中心からの距離 r に対する円周方向の歪み量 Δs を写真中心からの方向別に表しており、縦軸横軸ともに写真横幅 W により割り戻している。 Δs はテストパターン内側より3点目を基準とした方向からの円周方向のずれ量を表している。

図-2、図-3より、円周方向の歪みは半径方向の歪みと比較して小さいことがわかる。

なお、本計測は写真の歪みの傾向を調べることを主眼に簡易的な位置合わせにより行ったものであるため、本計測値は各カメラの性能を表すような厳密な意味でのレンズ歪みということではない。

他の5機種のカメラでも同様の傾向が見られるため、写真の歪みを円周方向歪みを無視し、式(1)で示す半径方向歪みのみにより近似した。各カメラについて、写真中心からの各方向における半径方向歪み量の平均値と、これらを式(1)で近似した曲線を図-4に示す。

$$\Delta r = a \times r^3 \quad (1)$$

Δr : 歪み量 (半径方向)
 a : 歪み係数
 r : 写真中心からの距離

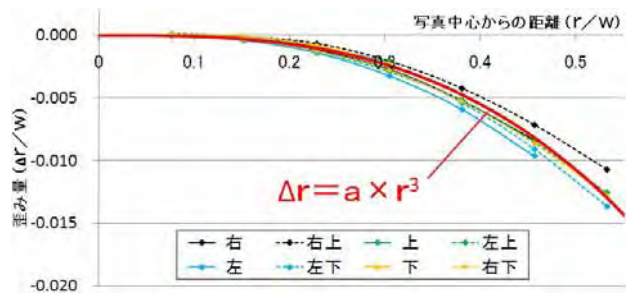


図-2 半径方向歪み量(カメラA)

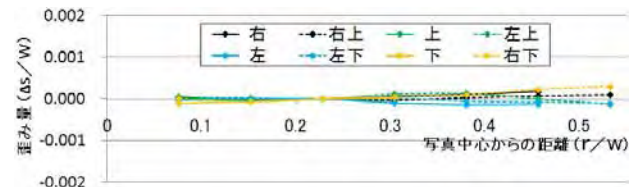


図-3 円周方向歪み量(カメラA)

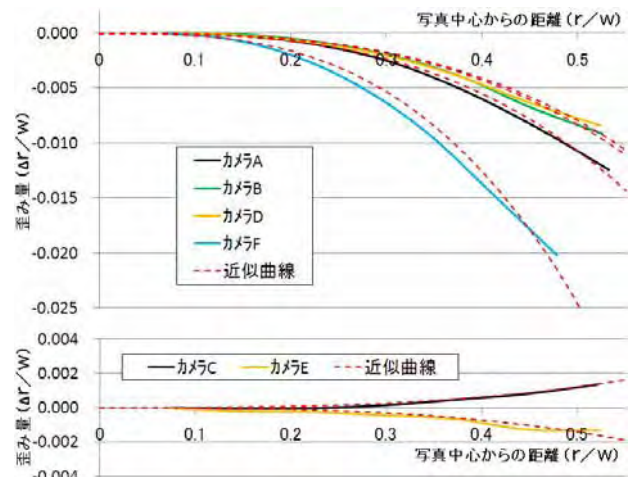


図-4 半径方向歪み量と近似曲線

(3) 歪み係数の算出

写真の歪みを式(1)により表現したときの比例係数である歪み係数 a を算出する。

a) 歪み係数の算出方法

図-5にカメラが撮影対象を撮影するときのイメージを示す。受像面に受けた信号が写真となるため、受像面での映像と写真は相似となる。図-5の受像面を写真に置き換え、レンズに対して撮影対象側に移動した図が図-6である。

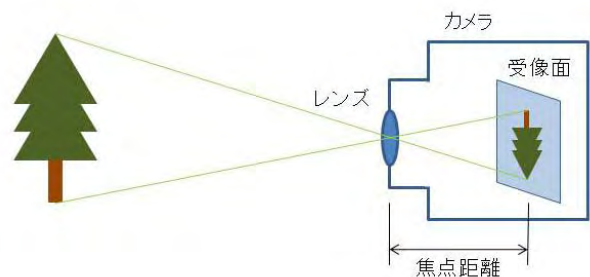


図-5 カメラ模式図

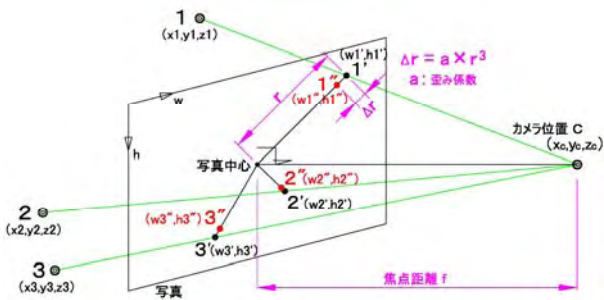


図-6 計算に使用する各点の位置関係

図-6において1'', 2'', 3''...は写真に写った特徴点、1', 2', 3'...はカメラに歪みが無い場合に1'', 2'', 3''...が写る点、1, 2, 3...は1', 2', 3'...に対応する現地箇所である。カメラの位置をCとする。

現地箇所1, 2, 3...についてはトータルステーションによる現地計測によりそれぞれの3次元位置座標(x_n, y_n, z_n)を得ることができ、1'', 2'', 3''...については写真上の位置座標(w_n, h_n)を得ることができる。1', 2', 3'...は、1'', 2'', 3''...と歪み係数aを用いて式(1)により表すことができるため、以下の式を立てることができる。

$$\left. \begin{aligned} \angle 1C2 &= \angle 1'C2' \\ \angle 2C3 &= \angle 2'C3' \\ &\dots \end{aligned} \right\} (2)$$

この式を解くことにより、カメラの3次元位置座標(x_c, y_c, z_c)、焦点距離f、歪み係数aを算出する。未知数がx, y, z, f, aの5つであるため上記方程式は5本必要であり、計測が必要な特徴点の数は理論的には6点となるが、写真の歪みを近似表現したときの誤差、トータルステーションでの計測誤差、写真上の位置座標の計測誤差が式に含まれるため、実際には、ある程度の精度で算出するために必要な特徴点は6点以上となることが予想される。

b) 歪み係数の算出結果

写真-2に示すように、特徴点としてテストターゲットを20点設置して計測を行い、歪み係数を算出した。算出に用いるターゲットの個数を、6点、10点、20点として算出を行った。算出結果を表-1に示す。

表-1には、2. (2)でテストパターン計測により求めた写真歪みの近似曲線(図-4)における歪み係数、各算出値についてのテストパターン計測値との差異、各条件ごとの差異の平均値・標準偏差を表示している。

表-1より、各条件ともにテストパターン計測での値に近い値が算出されているため、本方法により写真の歪みを概ね算出できることがわかる。使用するターゲット数の違いによる算出結果には明確な差異は見られないが、ターゲット6点使用の場合には他の場合に比べてテストパターン計測値との差異が若干大きい傾向がある。



写真-2 テストターゲット

表-1 歪み係数算出値 (×10⁻⁹)

ターゲット数	カメラA	カメラB	カメラC	カメラD	カメラE	カメラF	差異平均 標準偏差
6	-7.2 (-1.9)	-7.6 (2.0)	2.7 (1.8)	-5.9 (-2.1)	-1.0 (0.3)	-11.9 (-1.2)	-0.1 1.8
10	-8.6 (-0.5)	-5.9 (0.9)	0.7 (-0.2)	-6.4 (-1.6)	-1.0 (0.3)	-12.3 (-0.8)	-0.3 0.8
20	-7.7 (-1.4)	-6.3 (1.3)	0.1 (-0.8)	-6.8 (-1.2)	-1.1 (0.4)	-10.2 (-2.9)	-0.8 1.3
テストパターン計測	-9.1	-5.0	0.9	-8.0	-0.7	-13.1	-

() はテストパターン計測値との差異 (歪み増大方向を+)

(4) 写真歪みの補正

前項で算出した歪み係数(ターゲット10点使用)を用いて、2. (2)で撮影したテストパターンの写真を補正した。補正後の写真の歪み量を2. (2)での計測と同様に計測し、補正前の歪み量(図-4)との比較を図-7に示す。

図-7より、写真の歪みが補正前に比べて減少していることがわかる。もともと歪みの少ない写真については歪み量の減少はわずかであったが、補正によって歪み量が増大することはなかった。

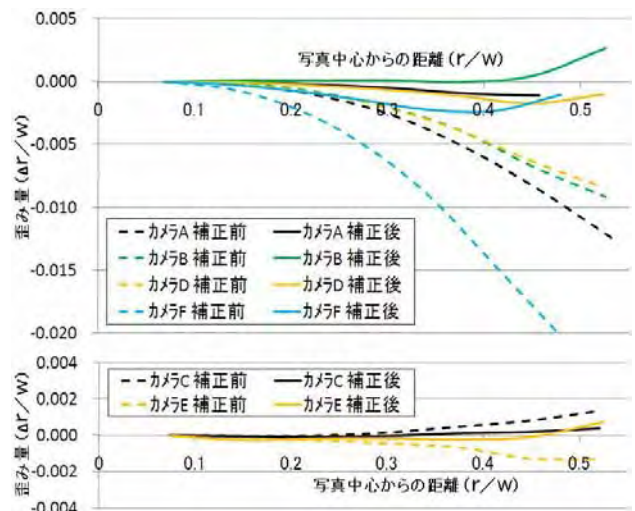


図-7 写真補正前後の半径方向歪み量

3. テスト計測

2. (4)の方法で補正した写真を使用して3次元写真計測を行った。計測対象は**写真-2**に示すテストターゲットとし、撮影角度を変えて撮影した2枚の写真を使用して3次元モデルを作成した(図-8)。この3次元モデル内の各ターゲット間の距離を計測し、トータルステーションで直接計測した値を真値として比較した。写真の補正については、2枚の写真の1方から算出した歪み係数(ターゲット10点(全体)使用値)を用いて2枚とも補正を行った。計測に用いたソフトウェアは倉敷紡績株式会社製 Kuraves³⁾とした。

また、比較のため、Kuraves 標準の写真補正(5方向から撮影した専用テストパターン写真を用いてカメラ校正データを取得)を行った写真を用いた場合と、写真補正を行わない写真を用いた場合についても上記と同様の計測を行った。

なお、3次元写真計測ではスケールの設定が必要であるが、各計測とも、作成された3次元モデル内のターゲット番号1-2間距離にトータルステーション計測値を与えた。

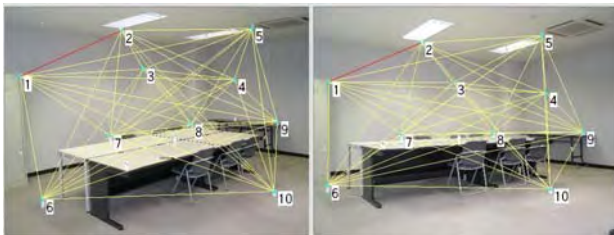


図-8 3次元モデル

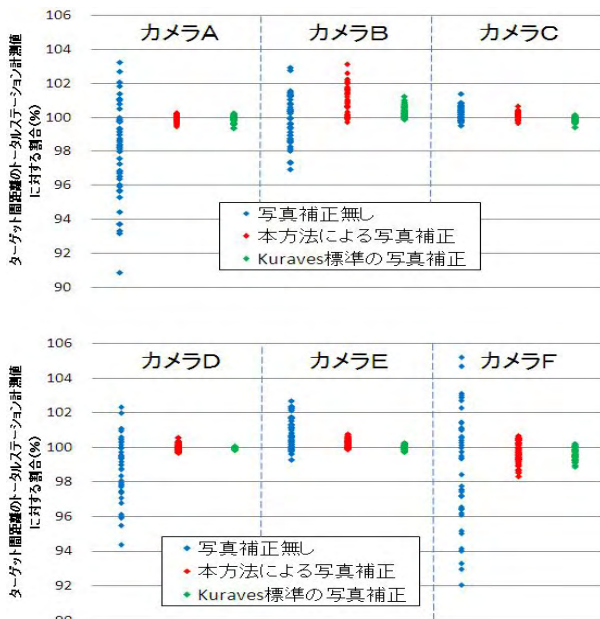


図-9 ターゲット間距離計測値分布

計測結果を図-9に示す。図-9は各カメラ、各計測条件ごとに計測したターゲット番号1~10のターゲット間距離(ターゲット間の数:45)についての、トータルステーション計測値に対する割合を示している。

図-9より、写真補正を行わない写真を用いた計測では、写真の歪みが大きいカメラほど計測値のばらつきが大きい傾向があり、トータルステーション計測値と比較して最大で10%近い誤差があるものもある。本方法で補正を行った写真を用いた計測では、すべてのカメラで写真補正無しの場合よりも計測値のばらつきが小さくなっている。また、Kuraves 標準の補正を行った写真を用いた計測では、本方法による計測よりも計測値のばらつきが少ない結果となっている。

4. おわりに

3次元写真計測を行う際に必要となる写真歪み補正を、撮影カメラの校正データが不明であっても、ノンプリズム型のトータルステーションを使用することにより現地において簡易に行える方法を検討し、本方法により写真の歪み補正を行えることを確認した。

また、本方法で歪みを補正した写真を用いてテスト計測を行い、計測精度についての確認を行った結果、カメラの校正データ作成から行う計測ソフトウェア標準の方法で計測を行った場合の精度には及ばないものの、写真補正無しで計測を行った場合の精度よりも良い精度で計測が行えることを確認した。

本方法によれば撮影したカメラが手元になくても写真の歪み補正を行うことができるため、防災点検などで過去に撮影した災害前の状況写真にも適用できる可能性がある。この場合、写真の条件にもよるが災害前の地形形状を把握することができるため、被災量の算出や災害対策に有益な情報を得ることが可能になると考えられる。

また、本稿では屋内実験における計測精度等の検討であるため、より計測条件の悪い屋外の現場などへの適用のために、屋外実験における本方法の適用性および計測精度の確認を行った。実験結果については現在解析中である。

参考文献

- 1) 山崎貴志、国島英樹、堀田歩：ラジコンヘリコプターからの地形形状計測の精度についての検討、第52回(平成20年度)、北海道開発技術研究発表会、安11、2009.2.
- 2) BIZWORKS 株式会社 Falcon-PARS : (URL) <http://www.bizworks.co.jp/UAV/Top.html>
- 3) 倉敷紡績株式会社 Kuraves-G2 : (URL) http://www.kurabo.co.jp/el/3d/kuraves_g2_01.html