

京都大学大学院 正会員 大西有三

京都大学大学院 岡本厚

京都大学大学院 張春

京都大学工学部 学生員○林訓裕

1. はじめに

岩盤挙動観測においては高精度が要求されるが、従来の計測手法では危険箇所へ近づく等問題がある。そこでステレオ写真解析を行い、岩盤面上の任意の点の3次元座標を得る、いわゆる地上近接写真測量の手法が考案されている。そこで本報告では写真解析問題にカメラのSelf Calibration手法を導入し、撮影時に画像情報として既知座標ではなく既知長さを与えて3次元相似変換を行って合同モデルを構築し、そこから標点の変位を求めその精度を検証する。

2. 写真解析手法の概要

一般的な写真解析手法にはDLT法(Direct Linear Transformation Method)があるが、この手法は地上基準点を用いる座標解析理論なので、実際に使うには問題と制約が多い。そこで地上基準点を用いないSelf Calibration手法を採用する。この手法では、同一カメラで撮影された重複写真ならば各写真の内部標定要素が全て等しいという拘束条件を導入でき、3枚以上の重複写真で写真の内部標定要素が求まるので、実物と相似のモデルを形成できる。このSelf Calibrationは4次元空間の射影幾何学の概念を利用した重複写真画像のポテンシャル理論(幾何学的潜在力解析理論)に深く関連している¹⁾。

3. 室内実験の概要と結果

実験に先駆けて、撮影条件を決定するためにシミュレーションを行った。空間として想定したのは3m×3mのトンネル断面である。シミュレーションより導出された撮影条件に従って写真撮影を行い、解析プログラムにAustralis²⁾を用いて画像上の標点の3次元座標を計算した。さらに、設定しておいた不動点の情報を用いて3次元相似変換を施し、すべて同一座標系上の座標値にすることで各回毎の比較を可能とした。

被写体空間のスケールはシミュレーション空間とほぼ同様(図-1)で、その天井及び壁面に反射ターゲットを設置しその数は47個である。うち10個はマイクロメーターを取り付け、変位を可能とした。また既知長さとして、あらかじめ座標を測定した2標点間の距離を用いた。カメラは3CCDデジタルカメラ(カラー)と自動同期のフラッシュを使用し、画面距離を一定

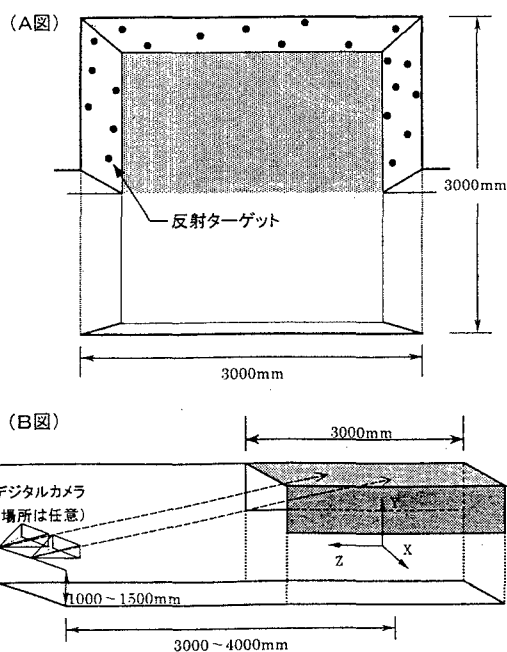


図-1 被写体空間概念図

にするためにマニュアルモードで撮影した。撮影枚数はシミュレーションでは30枚としたが、精度確保のために10枚程度追加した。

結果を表-1と図-2に示す。撮影は計3回実施し、そのうちの1回を基準として他の2回との変位を計算した。表-1において、 σ_0 は画像座標の標準誤差の推定量であるが、いずれの回も似た値であり、解析値のばらつきは小さい。また解析結果の信頼性を示す指標として平均内的誤差を用いるが、3回ともシミュレーションの結果よりも小さいことから、解析値には一定の信頼がおける。

次にシミュレーションにおける平均外的誤差から変位量の平均誤差を考えると、 $\sqrt{2} \times 0.29 \div 0.41\text{mm}$ 程度であると思われる。これと比較すると、2つの結果は0.602mmと0.872mmなので少々大きい。この値を計測精度とすると、平均計測距離は4106.33mmであるので、距離精度比(=計測精度/計測距離)ではそれぞれ 1.47×10^{-4} 、 2.12×10^{-4} となる。

表-1 解析結果(単位:mm)

	σ_0	平均内的誤差	平均外的誤差
基準回	0.001715	0.2524	—
比較回1	0.001599	0.1969	—
比較回2	0.001657	0.2416	—
Simulation	0.001969	0.5088	0.2917

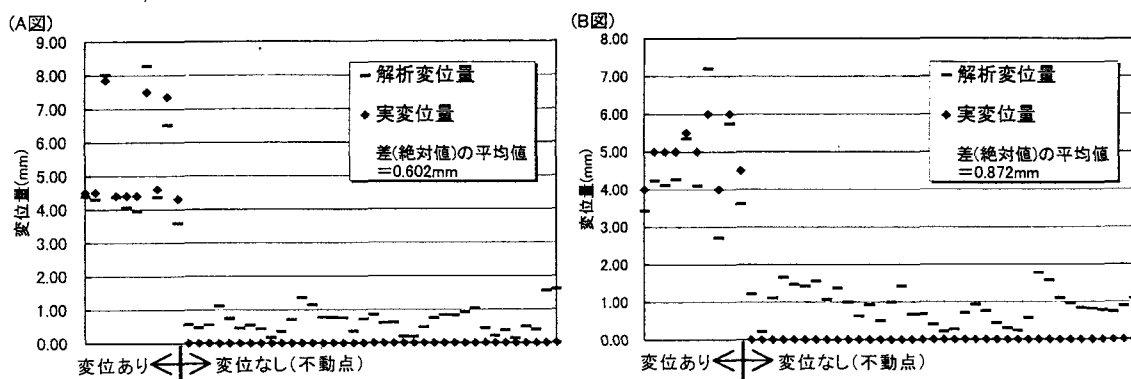


図-2 各ターゲットの変位量

4. おわりに

土木分野で必要とされる距離精度比 $1 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ に対して、この精度検証結果で得られた距離精度比は実用により近いものであった。本計測は精密写真測量の手法を用い、実際の活用にあたっての改良事項を検討するために、行われたものである。今回、Self Calibration手法を採用することで写真画像と寸法データしか与えられない状況下から、観測面の3次元合同モデルが形成できた。

このように、Self Calibration手法による座標解析は変位計測を目的とした場合、比較的精度良く計測が行えると言える。その上、詳細な被写体情報が不要なため、従来のDLT法を用いた場合よりも優れている。ただし、現時点で解析における計測精度はシミュレーション値よりも大きく、厳密に露頭面上の点の変位を求める場合には、その要求に応えることには少々難がある。しかし、今後カメラの性能が向上すること等により、シミュレーションを含めた解析の再検討をすることになるので、その精度をより高めることが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) Okamoto, A.: Potential Theory in Photogrammetry, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.26, Part 3/2, pp.543-563, 1986.
- 2) Fraser, C., et al.: Vision-Based Dimensional Inspection of Freeway Bridge Blocks, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.32, Part B5, pp.219-227, 1998.