

第 部門

GPS・IMU システムを用いた画像計測法による岩盤斜面のモニタリング手法の研究

京都大学工学部	学生員	○寺川 真史
京都大学大学院	正会員	大西 有三
京都大学大学院	正会員	西山 哲
京都大学大学院	正会員	矢野 隆夫
京都大学大学院	学生員	奥田 友晴

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、地震や火山活動が活発であり、地殻変動によって形成された急峻な地形と脆弱な地質からなっている。このため震災や土砂災害などが発生しやすい環境にある。特に北海道豊浜トンネルや第二白糸トンネルの岩盤崩壊事故の発生以来、岩盤斜面の安定問題に社会の関心も集まるようになった。このような岩盤崩壊事故を未然に防ぐ手段として、画像計測法による岩盤斜面モニタリング手法がある。これは岩盤斜面を様々な位置から撮影し、その画像情報から岩盤斜面の寸法形状に関する情報を引き出し、その動態変位を計測する手法である。従来、現場に基準点を設置しなければならないという制約があり、それにより作業の簡便性が損なわれていた。また、海岸沿いの岩盤斜面等、基準点の設置が不可能な地域では、画像計測を実施できなかった。そこで、本研究では基準点の設置の負担を軽減させる為、カメラの位置と傾きを直接計測できる GPS(Global Positioning system)・IMU(Inertial Measurement Unit)システムを画像計測法に導入し、その実用化に対する検証をシミュレーションを交えて行なった。

2. 画像計測の基礎理論¹⁾

画像計測の基礎となる理論は被写体の岩盤斜面上の計測点、画像に写された計測点像、カメラのレンズ中心の3点が同一直線上にあるという共線条件である。この条件の概念図を図1に示す。

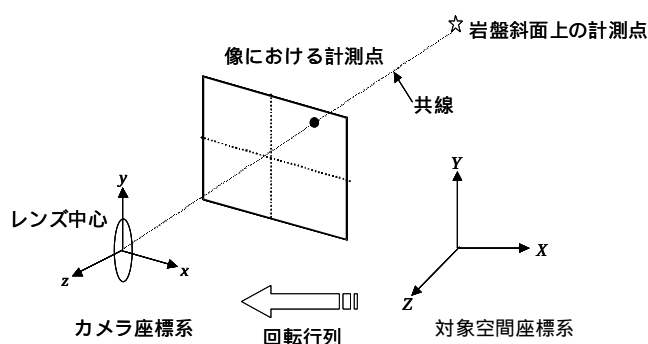


図1 共線条件

この関係を表す式は共線方程式と呼ばれる。この方程式を用いれば、画像に写された既知点から、撮影時のカメラの位置と傾きを求めたり（後方交会）、異なる位置で撮影された2枚以上の画像から、岩盤斜面上の任意の3次元座標を求める（前方交会）ことができる。

この共線方程式は非線形であるため、線形化が必要

となる。そこで未知数を初期値と補正量に分解し、初期値の周りでテーラー展開によって共線方程式を線形化する。そして、繰り返し計算による最小2乗法により未知数を求める（バンドル調整）。

3. システム導入のためのシミュレーション実験

本シミュレーション実験の目的は、後方交会における外部標定要素の初期概略値に繰り返し計算の段階で解が収束するのに必要な精度を検証することである。後方交会に必要な外部標定要素の初期概略値はあくまでも繰り返し計算のための入力初期値であり、それ自体は精密な値を必要としない。そこで本研究で導入を検討している GPS・IMU 同期撮影システムが繰り返し計算を収束させる為にどの程度の精度を必要とするのかを定量的に示し、GPS・IMU システム導入の可能性を判断する材料とする。

計測対象はトータルステーションにより予め初期値が求まっているターゲット約120点が設置してある擁壁であり、撮影距離約25m、約260万画素のデジタルカメラで実験を行った。計測結果を図2に示す。

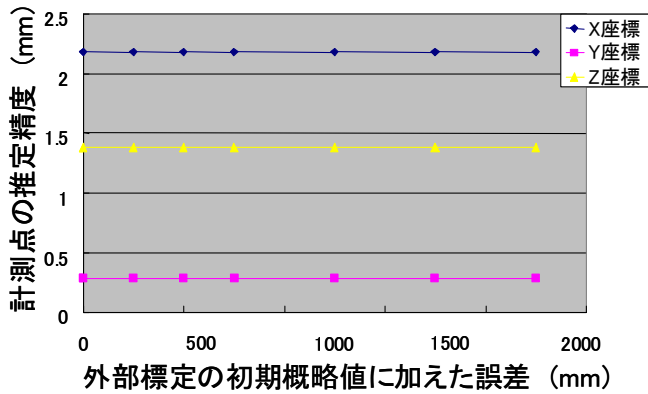


図2 計測結果

この結果、計測が収束する許容の誤算範囲は約 2 m であった。よって、本実験と同等のスケールであれば、GPS・IMU システムが約 2 m 以下の範囲内で外部標定要素を計測することができれば、本システム導入可能であることが分かった。また、岩盤斜面のように大きなスケールの現場ではこの許容誤差は更に大きくなることも予想できる。

4. GPS・IMU の導入を想定した現場実験

本実験では GPS・IMU システムにより得られた外部標定要素と後方交会とバンドル調整により求めた外部標定要素の比較を行うことで、その精度を検証した。実験現場は北海道余市町「アップルポート余市」であり、現場にある管理塔（表面上に座標既知のターゲットが数点設置してある）を岩盤斜面と想定して計測を行った。撮影は GPS・IMU を搭載しているヘリコプターにより上空から行った。計測結果を図3、4に示す。

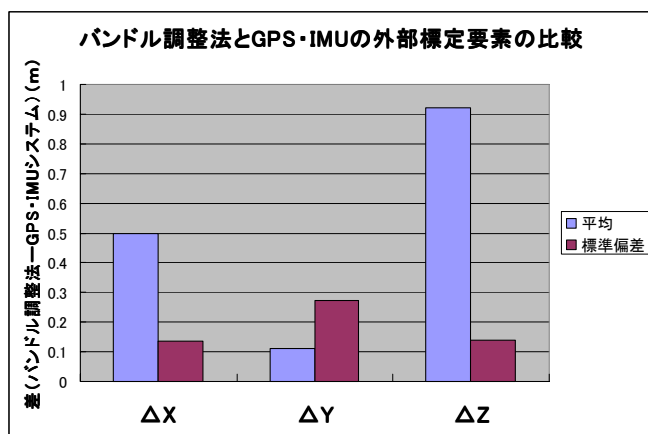


図3 計測結果（カメラの位置情報）

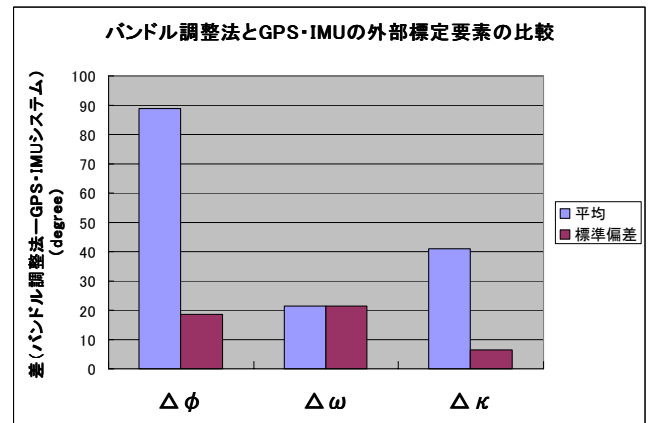


図4 計測結果（カメラの姿勢情報）

この結果から、バンドル調整法と GPS・IMU システムの外部標定要素の差を見るとカメラ位置に関しては最大でも 1 m 程度である。この値は先のシミュレーション実験の結果を考慮しても十分実用可能な範囲である。しかし、カメラの姿勢に関しては格段に悪くなっている。これは、IMU の精度に問題があったからではなく、GPS・IMU システムの設定上の問題に過ぎない。GPS・IMU システムは本来、垂直撮影に使用されており、斜め撮影で使える仕様になっていない。実際、垂直撮影では約 3～4 秒の誤差範囲で計測可能である。従って、斜め撮影の設定という課題はあるが、ハード面での問題はないため実用化に至っては支障はないと考えられる。

5. まとめ

本研究を通して、画像計測に GPS・IMU システムを導入することにより、撮影と同時に外部標定要素を取得することができ、精度に関しても実用化できる水準であることが分かった。この結果、GPS・IMU システムにより直接外部標定を取得することが可能になり、岩盤斜面上における基準点の設置の作業が短縮され、現場計測における簡便性が向上することが期待できる。

6. 参考文献

- 1) 村井俊治, 空間情報工学, P166～191, 社団法人日本測量協会, 2002