

奥行き方向に広がる長大切土法面の挙動監視への精密写真測量の適用

東エン 調査設計部 堺 道夫 谷 明
飛島建設 技術研究所 正○筒井 雅行 正 阿保 寿郎

1. はじめに

上信越自動車道の富岡から更埴に至る区間は、脆弱な地質で、多くの法面で対策を講じており、そのうちのいくつかの箇所で見測を継続している。一方、筆者らは、デジタルカメラとパソコンを利用した精密写真測量¹⁾の研究とシステム開発を進め、建設現場における測量や切土法面の挙動監視などに適用してきた²⁾。ここでは、上信越自動車道蓬平地区の法面の監視に精密写真測量を適用した計測方法と計測結果について述べる。

2. 計測方法

変状法面の面的な管理に写真測量を適用する上で、不動点（基準点）の確保が困難である場合が多い。したがって、このような条件下での取り扱いが容易である、バンドル調整法を利用した基準点を必要としない Self Calibration 法を用いることにした。レンズディストーションモデルは、(1)～(3)式を用いた。

$\Delta x = x(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_1(r^2 + 2x^2) + 2p_2 xy$ (1), $\Delta y = y(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + 2p_1 xy + p_2(r^2 + 2y^2)$ (2), $r^2 = x^2 + y^2$ (3).
ここに、 Δx , Δy は補正量、 x, y は写真座標、 k_1, k_2, k_3, p_1, p_2 はカメラレンズの歪曲収差の係数である。

座標既知である基準点を配置していないことから、実際の解析、特に第1回目の解析では、写真の標定要素と被写体座標の近似値の取得に注意を要する。ここでは、まず、内部標定要素を固定して、数少ない既設測点の情報を基に外部標定要素の初期近似解を取得した後、標点の被写体座標値を修正するという解析を繰返した後、最終的に内部標定要素も未知数として収束解を得るという手順で解析を行った。

対象法面は、長野県坂城町に位置する上信越自動車道蓬平地区上り線側の法面（勾配1:1.0、最大高さ約50m；7段、対象領域の延長は約270m）である。写真-1に対象法面の全景写真を示す。この法面に、画像解析時に写真座標を取得しやすいように周囲をマスキングした160個の標点（30cm×30cm）と50箇所の長さ既知の基準尺（長さ約3m）を設置した。標点配置図と標準断面図を図-1、図-2に、標点の設置状況を写真-2に示す。



写真-1 対象法面全景

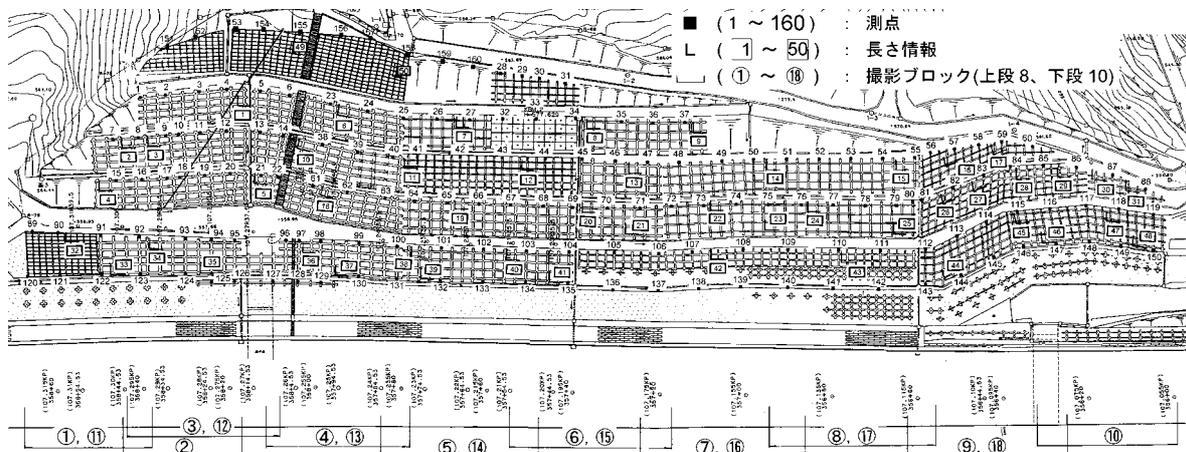


図-1 標点の配置と撮影ブロック

キーワード：写真測量，法面，現場計測，デジタルカメラ

連絡先：〒270-0222 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬 5472 TEL 04-7198-7572 FAX 04-7198-7586

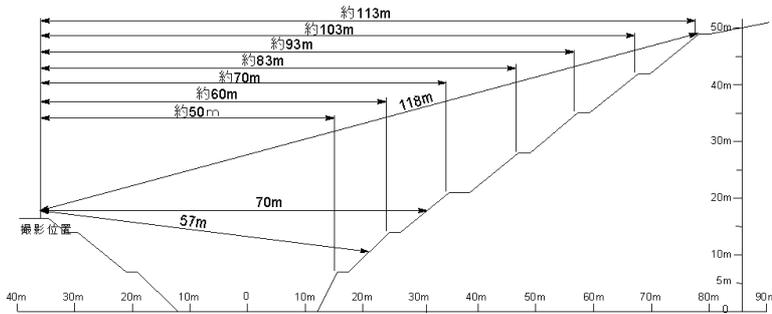


図-2 標準断面図（撮影位置と撮影距離）



写真-2 標点の設置状況

図-2に示すように、カメラの光軸方向と法面勾配の方向が平行に近くなり、撮影位置から標点までの撮影距離が60mから110mと幅が広いこと、対象法面が幅約270m、高さ約50mと広範囲であるため、写真撮影のブロックが多くなることが特徴である。撮影は、対象法面を18のブロックに分割し、ブロックごとに5ヶ所から撮影した。使用したデジタルカメラは約270万画素、焦点距離は35mm～50mmの範囲である。

3. 計測結果

撮影は、梅雨前の6月初旬に初回を、その後9月下旬に第2回を行った。表-1に代表2ブロック分の現場計測結果を示す。ブロックNO.2の撮影対象は下段2～6段（奥行き方向の幅約45m）、ブロックNO.12は上段4～7段（奥行き方向の幅約30m）である。また、図-3にブロックNO.12のひずみ分布図を示す。ひずみで評価したのは、法面上の標点に不動点あるいは座標既知の点を確保することが困難であるために、1回目と2回目の測量結果では必ずしも座標系が一致していないものの、長さ情報によりモデルの合同性は保たれていることから、相対変位で評価することが可能であり、実用的であるためである。

下段に比べて撮影距離が大きくなる上段の撮影では、カメラレンズの焦点距離を大きくすることによって写真スケールを下段と同等にしているため、測定精度が低下することはない。奥行き（Z）方向に関しては、標点カメラ光軸方向に広く分布する下段のブロックよりも、精度は良くなっていることがわかる。

表-1 計測結果

ブロック NO	標点数	画像数	撮影日	写真座標（単位重み） 取得推定誤差(μm)	平均内的誤差(mm)	
					平面(XY)方向	奥行き(Z)方向
2 (下段2～6段)	54	5	6/2	1.99	8.54	13.38
			9/27	2.00	8.55	13.66
12 (上段4～7段)	38	5	6/2	1.76	8.61	11.28
			9/27	1.79	8.97	11.48

4. おわりに

本報告では、デジタルカメラを用いた Self Calibration 法による精密写真測量の長大法面の挙動監視への適用について述べた。その結果、撮影距離が大きくなり、対象法面が奥行き方向に広範囲になる場合でも、写真スケールを同等にすることで平面方向の精度は保たれ、撮影法やブロック分割に留意すれば挙動監視に十分対応できることがわかった。

謝辞 本精密写真測量システムの開発では、京都大学大学院の大西有三教授にご指導を賜りました。また、現地では、日本道路公団長野管理事務所の皆様にご指導を賜りました。この紙面を借りて、あらためて、感謝申し上げます。

参考文献

1) Okamoto, A.: The Model Construction Problem Using the Collinearity Condition, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.50, No.6, pp.705-711, 1984. 2) 中原, 近久, 筒井, 熊谷, 藤井, 石橋: 法面の挙動監視における精密写真測量の評価について, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集III-A, pp. 206-207, 2001.

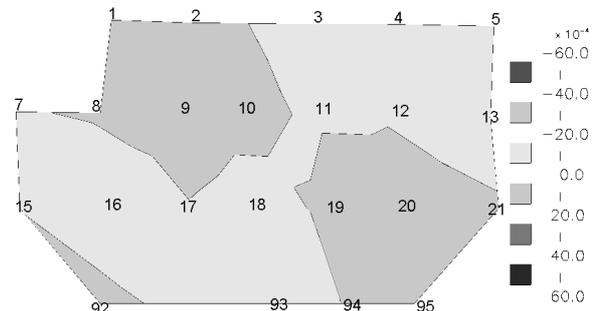


図-3 ひずみ分布図（ブロック NO.12）