

中低層ビルの保守管理を想定したフォトセオドライトによる三次元計測

京都大学大学院 学生員○大谷 崇裕
 (有)画像計測研究所 正会員 小野 徹
 京都大学大学院 赤松 慎市

1.研究の背景と目的 近年、構造物の老朽化が進んでおり保守管理の必要性が増大してきた。しかし、実際には管理者が老朽化の深刻さに気がついていなかったり、予算が無いといった理由で検査すら行なわれていないものが大半である。そこで、専門家に頼らず安価で迅速な検査方法を考案すれば、手軽に検査が行なわれ管理者が構造物の老朽化の程度を知ることができ、その程度により改めて専門家に詳細な検査を依頼するかしないかは管理者が決定すればよい。さて、考えられる簡便な検査方法として写真撮影が挙げられる。方法としては、クラックや剥離の状態が確認できる程度にズームアップして、建物全体を何十～何百枚と撮影してパノラマ写真のように接合するという方法が考えられるが、地上からの撮影の場合、1点から放射状に撮影したものをただ接合しただけでは、魚眼レンズで撮ったような歪んだ形状になってしまうので、クラックなどの位置を特定することができない。そこで、位置を特定するためには、建物のある程度正確に三次元計測することが必要となる。しかしながら、従来の三次元計測手法の一つであるレーザースキャナーを用いた方法は、機器自体が非常に高価なので一般のユーザーが持つことは難しい。そこで、本研究ではセオドライトの上にデジタルカメラを搭載したフォトセオドライトを用いて三次元計測を行なう。これは、セオドライトとカメラを同機して、セオドライトを回転させながら重複撮影することにより、対象全体を系統だって写真に収めることができる。さらに、セオドライトから三次元計測に必要な角度情報が得られる。つまり、フォトセオドライトを器械点に設置し、整準・求心さえすれば、あとは建物全体を撮影するだけで現場での作業が終わり非常に迅速に行えるのである。また機器もセオドライトとカメラを合わせて40万円もあれば揃うので非常に安価である。さて、搭載するカメラとして、建物の上部を撮影する際にセオドライトが高角度になりカメラの重量が測角機能に与える悪影響を少なくするためと、器械点ごとに最適な焦点距離で撮影を行なうために、本研究では軽量のコンパクトズームレンズカメラ(Canon Power Shot S2 IS)を搭載した。このカメラの問題点として、ズームレンズを使用しているためレンズ歪が大きいということと、焦点距離によりレンズ歪が変わるので器械点ごとのキャリブレーションが必要であるということである。一般に写真測量分野では、キャリブレーションボードを用いてレンズ歪を求めるが、焦点距離が大きくなるとボードも大きくしなければならず、野外での持ち運びには不便である。よって本研究の目的は、器械点ごとのキャリブレーション方法を考案することであり、さらに実験により建物の三次元計測を行ない、この手法が効率面などから見て保守管理に適用できるのか検証を行なうことである。

2.器械点ごとのキャリブレーション方法 今回用いた方法は、一箇所においたターゲットをセオドライトの角度を変えながら、画像の隅々にまで写るように多数枚撮影し、仮想的なキャリブレーション場(図2)を作ることによりレンズ歪を求めようというものである。この手法を用いれば器械点一箇所につきターゲットを一箇所設置して撮影するだけでキャリブレーションが可能となり、労力的な負担はほとんど無い。さらに、円形のターゲットであれば、画像点の取得は自動で点を取得するシステムを開発しているので¹⁾、画像処理の労力もほとんどかからない。方法としては、まず器械点に設置した

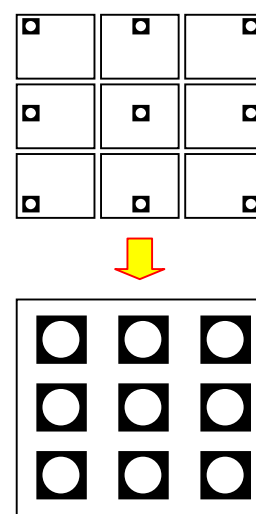


図 2: 仮想的なキャリブレーション場

ターゲットを望遠鏡で視準する。次に角度を変えてターゲットを撮影しそのときの望遠鏡の座標は次式となる。

$$\mathbf{X}_{tele} = \mathbf{H}^T(h, v) \mathbf{H}(h_0, v_0) (0, 0, -D)^T \quad (1)$$

ここに (h_0, v_0) はセオドライトの視準時の角度読み、 D は器械点間の距離である。これをさらにカメラ座標に変換してレンズ歪みを考慮すると次式となる。

$$\begin{aligned} x + \Delta x &= -c \frac{m'_{11}(X_{tele} - X_0) + m'_{12}(Y_{tele} - Y_0) + m'_{13}(Z_{tele} - Z_0)}{m'_{31}(X_{tele} - X_0) + m'_{32}(Y_{tele} - Y_0) + m'_{33}(Z_{tele} - Z_0)} \\ y + \Delta y &= -c \frac{m'_{21}(X_{tele} - X_0) + m'_{22}(Y_{tele} - Y_0) + m'_{23}(Z_{tele} - Z_0)}{m'_{31}(X_{tele} - X_0) + m'_{32}(Y_{tele} - Y_0) + m'_{33}(Z_{tele} - Z_0)} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで $m'_{11} \sim m'_{33}$ は望遠鏡とカメラの取り付け角の回転行列 $\mathbf{M}$ の成分で、 $(\Delta x, \Delta y)$ はレンズ歪、 c は焦点距離でこれらは未知である。 $(X_{tele}, Y_{tele}, Z_{tele})$ は式(1)により求められ、 (X_0, Y_0, Z_0) は望遠鏡とカメラの取り付け位置であり実際に測ることにより求め、 (x, y) は画像座標である。図2の上図のように撮影し上式を解くことにより、上記の未知パラメータを求める。

3. 中低層ビルの三次元計測 本研究で対象としたのは、高さ15m程の四階建ての校舎である。それを4つの器械点を設けて撮影を行なった(図3)。本実験では、隣り合う器械点にターゲットを設置して、レーザー距離計を用いることにより器械点間の距離を求め、さらにそのターゲットをセオドライトで視準することにより相互標定を行なった。一器械点につきキャリブレーション用と建物の撮影に平均して40枚程度の撮影(図4)を行い、撮影に要した時間は15～20分程度であった。

三次元計測をした結果、図5のように三次元図が得られ、誤差は1cm程度で、クラックの位置を特定するという目的を十分に果たす精度で計測できたと言える。

4. 結論 結果としては、維持管理という目的を十分に果たす精度で三次元計測を行なうことができた。この手法の特徴として、本実験は一人で行なったものであり、一人でも計測を行なえるという点、さらに、この手法はある程度基本的な作業は覚えなければならないが、特別な技術を要する作業ではないので、基本的に誰でも計測できるという点が挙げられる。本実験では、セオドライトの設置や撮影に一器械点につき30分程度かかったが、通常器械点は二点あれば十分計測できるので、1時間以内に計測を終えることができる。よって、迅速さという点から見ても十分に実用可能といえるだろう。

5. 今後の課題 本実験ではカメラと台座の重量の影響により、セオドライトを高角度に傾けて撮影することができなかった。本実験においては、建物の高さがそれほど高くなかったため、計測には問題が生じなかったが、今後、より高い建物の計測や、地理的な制約により比較的建物に近い距離にしか器械点が設置できない場合など、高角度に傾ける必要が生じるので、カメラと台座の軽量化が必要となる。効率面では、セオドライトにモーターを組み込むことによる撮影の自動化、焦点距離を変える必要が無いときには、2つ3つの器械点にまたがって焦点距離を変えないことによるキャリブレーションの省略などにより、さらなる簡便化が期待できる。

参考文献

- 1) 望遠鏡を用いたデジタル写真測量による遠方計測法：小野 徹

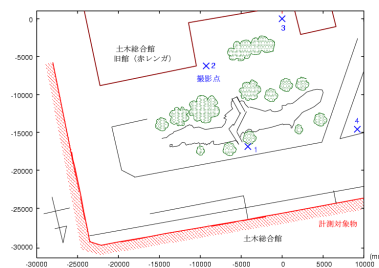


図3:実験場所

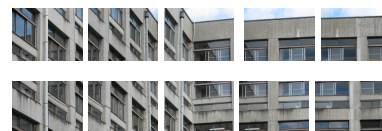


図4:建物の撮

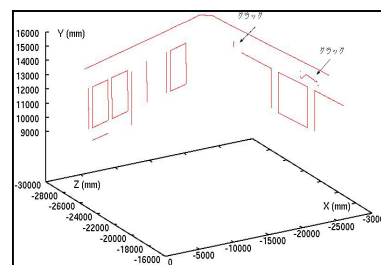


図5:三次元