

デジタル写真測量技術のトンネル断面変位計測への応用検討

鹿島建設 正会員 山本拓治、松山政雄、三浦悟、今井道男
京都大学 正会員 大西有三

1 はじめに

トンネル断面変位計測では従来、コンバージェンスメジャーや光波測距儀を用いた方法が一般的に行われている。しかし、前者はピンを設置してメジャーを緊張する作業が必要となり、トンネル坑内作業に支障を与えるばかりでなく、作業時間も長く高所作業を伴うため安全性にも問題がある。後者では切羽から離れて計測できるものの、測距機の設置や移動に手間がかかるうえ数 mm 程度の精度が限界である。また、ともにピンやターゲットを設置した位置だけしか計測することができず、手間や時間がかかるために計測は 1 断面あたり数点程度にとどまっていた。

一方、近年の山岳トンネルを取り巻く施工環境には急激な変化がみられ、都市化、大断面化がすすみ、これまでもまして信頼性の高い計測データを迅速に入手し、施工にフィードバックすることが重要となっている。そこで筆者らは、機械の精密な形状測定などのおもに工業計測用に利用されているデジタルカメラによる写真測量技術の、トンネル断面変位計測への適用可能性を検討した。

2 計測原理の概要

カメラとコンピュータの発達により、画像の取得から処理に至るまでのデータを完全にデジタル情報で取り扱うことが可能になり、デジタルカメラで撮影した写真情報をコンピュータで処理、解析することが研究されている。図 - 1 に写真測量の基本原則を示す。対象点 P を撮影した複数枚の写真を用いて、撮影点 O と画像点 p の延長線上に対象点 P が存在するという条件式から対象点座標値を決定するものである。

トンネル断面変位を計測するためには、基準となる既知点とトンネル壁面にいくつかの計測点を設け、そこにターゲットを貼る必要がある。計測点数が多くても計測時間に影響はないため、より詳細なデータが必要ならば計測点を多く設置する。

計測の手順はまず、設置したターゲットをデジタルカメラで任意の場所から複数枚撮影し、次に写真データをパソコンに取り込みターゲットの番号をパソコンの画面上で認識する。そして繰り返し計算により計測点間の相対変位や既知点からの変位分布を解析する。本原理のメリットは、多点を迅速かつ簡単に計測できるために面的な変位計測が実現できることである。

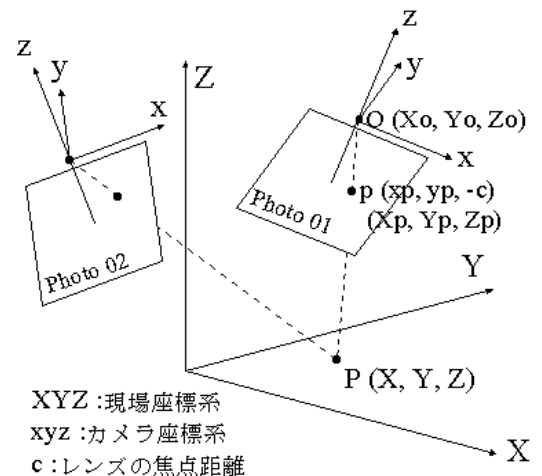


図 - 1 計測原理図

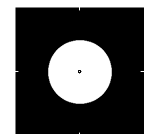


図 - 2 ターゲット

3 検討項目

本技術を土木分野で適用する際には、ターゲットの種類や数量、配置の方法から、撮影枚数、撮影位置、デジタルカメラやレンズの選択など数多くの項目を検討する必要がある。ここではその第一歩として、土木特有の「計測対象が広範囲である」条件に対する適用可能性を確認するために、下記項目を検討した。項目 1) ~ 2) についてはトンネルを想定した地下通路で撮影した。

- 1) 重ね合わせの撮影・・・一枚の写真ではすべてのターゲットを撮影することが出来ない場合の検討
- 2) 奥行きのある撮影・・・奥行きが大きく異なるターゲットが同一写真内に存在する場合の検討
- 3) アーチカルバートの撮影・・・実サイズに近い計測対象への適用検討

キーワード ; 計測、トンネル、写真測量

4 検 討 結 果

1) 重ね合わせの撮影(図-3)・・・すべてのターゲットが1枚の写真に入りきらない場合を想定し、撮影するエリアを2つに分けて合計24枚の撮影を行った。ここでは重ね合わせるターゲットを3～5個と変化させて3Session(Session A: 3個、B: 4個、C: 5個)撮影した。光波測距儀での計測結果に対する全ターゲットの標準偏差をXYZ方向別に表-2に示す。重ね合わせるターゲットが多いほど精度良く解析できたが、カメラの光軸方向(X方向)の精度が悪かったことがわかった。

2) 奥行きのある撮影(図-4)・・・トンネル計測を想定し、L型治具に取付けたターゲットを配置して、長手方向(Y方向)から12枚撮影した。ターゲットの奥行きによる標準偏差の変化をXYZ方向及びXZ方向について図-6に示す。撮影位置から一定距離(5m)以上離れると、カメラの光軸方向に対してばらつきが大きくなった。しかし本実験範囲内においては、変位計測上重要である光軸に直行する方向(XZ方向)については目立った精度の劣化は見られなかった。

3) アーチカルバートの撮影(図-6～7)・・・計測対象は図-6～7に示す断面 9.5×5.8 m、延長約138mのアーチカルバートである。ターゲットはL型治具に取付けて下流方向に正対させて各断面7個、約10m間隔で13断面分設置した。撮影は下流から上流に向かって撮影位置を3箇所に分けて合計72枚撮影した。解析計算上の精度としては光軸と直交する方向については10mm前後で形状を表すことができた。しかし変位計測のためには、ターゲット数や撮影枚数を増やしたり基準点をバランス良く配置するなどの工夫で精度をさらに向上させる必要がある。



図-6 アーチ部材架設状況

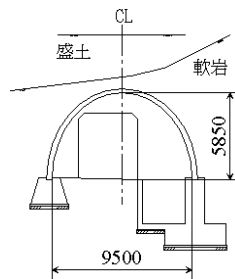


図-7 標準断面図

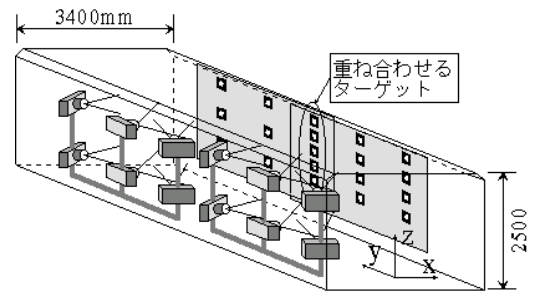


図-3 撮影状況図2

表-2 重ね合わせによる標準偏差の変化(mm)

	X	Y	Z
Session A	11.786	4.017	3.571
Session B	10.350	3.472	2.279
Session C	10.049	0.959	0.971

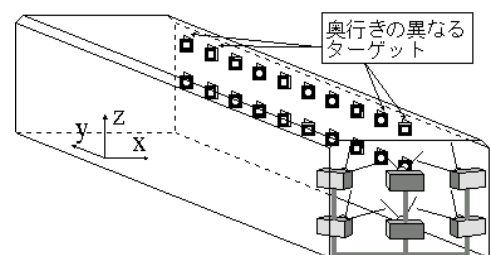


図-4 撮影状況図3

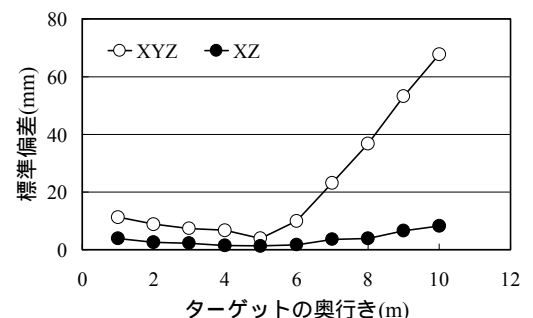


図-5 奥行きによる標準偏差の変化

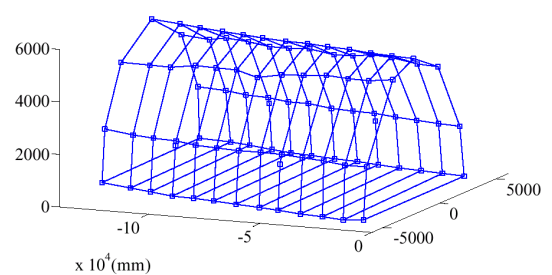


図-8 アーチカルバート解析結果

5 ま と め

本検討を通じて、デジタルカメラによる写真測量技術がトンネル断面変位計測に対して有効な解決方法であることを確認できた。今後は上記項目3)のような実サイズのトンネルに対する実験を繰り返し、精度検証に努めていきたい。またこのように多点の変位が容易に計測できれば、従来のB計測の代用として問題となるキープブロックの動きなどを視覚的に捉えることも可能である。現状ではターゲットの認識は手動で行っているが、今後バーコード付ターゲット等の研究が進めば自動化が実現し、人為誤差が排除されるうえ簡便、迅速、面情報の把握という利点で土木のあらゆる分野で広く採用されるであろう。