

デジタル画像計測法のトンネル内空変位計測への応用

鹿島建設 正会員 三浦 悟、正会員 山本拓治
 四国職業能力開発大学校 正会員 秋本圭一
 福山大学 正会員 服部 進
 京都大学 正会員 大西有三

1 はじめに

トンネル内空変位計測には、コンバージェンスメジャーやトータルステーション(以下TS)を用いた方法が一般的に行われている。前者は壁面上でのピンの設置、メジャーの緊張作業が必要で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。後者はTS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間の距離を計測するもので、トンネル内の形状を三次元的に求めることは出来ない。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、大断面化が進み、高精度・高密度の変状把握など、これまでも増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。これに対し、最近のデジタルカメラの高解像度化、低価格化や画像データを処理するパソコンの高速・大容量化、低価格化によってデジタルカメラを用いた画像計測法の適用環境が整いつつある。著者らは、従来船舶、航空機、大型パラボラアンテナ等の精密形状計測などの、主に工業計測用に利用されている、デジタル画像計測法のトンネル内空変位計測への応用に関する検討を実施した。

2 計測原理の概要

図-1に画像計測法の基本原理を示す。計測点に反射ターゲットを貼り、いろいろな位置・方向から撮影する。撮影画像において、ターゲット P_i とカメラのレンズ中心 O_j と画像点 p が一直線上に存在するという画像計測法の基本条件(共線条件)を撮影画像上に写った全てのターゲットに適用する。共線条件から観測方程式を立て、計測目的であるターゲットの空間座標の他、カメラパラメータ、撮影位置・姿勢データを未知のパラメータとする観測式を最小二乗法で解くものである。

図-2にトンネル計測の流れを示す。長さの基準となる点を含んだ箇所に反射ターゲットをあらかじめ設置し、複数の位置、姿勢からの撮影画像を解析して測定点の座標を計算する。

多点を迅速かつ簡単に計測できるために面的な形状が容易に計測できる。

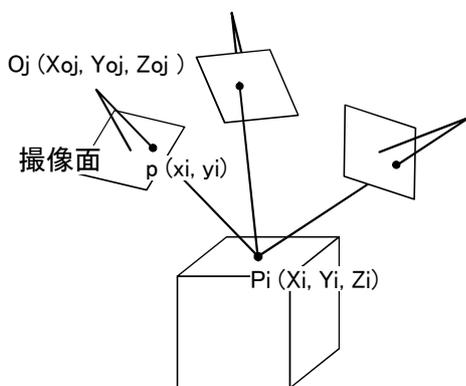


図-1 画像計測法の原理

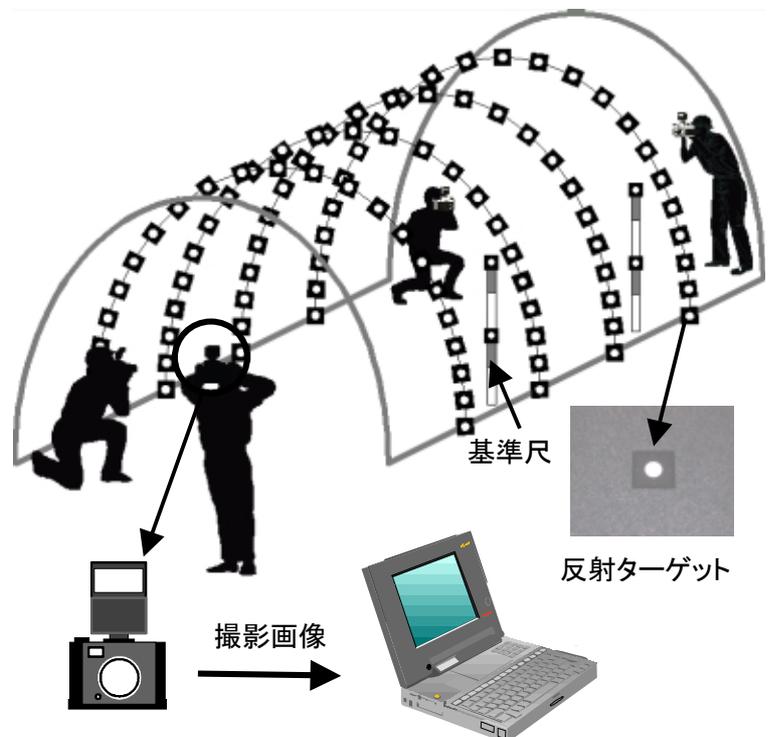


図-2 トンネル計測のイメージ

キーワード ; 計測、トンネル内空変位、デジタルカメラ、画像計測法

〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 TEL 0424-89-7456 FAX 0424-89-7184

3 現場実験

(1)実験概要

実際のトンネル2箇所にて計測実験を実施した。実験概要を表-1に、実験機材を表-2に示す。

表-1 実験概要

	実験 1	実験 2
計測範囲	トンネル断面約半径 5m、長さ 20m	トンネル断面約半径 3.5m、長さ 15m
反射ターゲット配置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1断面につき 7点 (約 2.5m間隔) ・ 長手方向に約 2.5m毎の 9断面 ・ 合計 63点 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1断面につき 13点 (約 1.0m間隔) ・ 長手方向に約 1.0m毎の 16断面 ・ 合計 208点 (図-3)
基準尺	9本測定箇所にて均等に配置	同 左
撮影形態	各ターゲットが 5枚以上の写真に写ること	15mの対象範囲を仮想的に 3つの領域に分け、1つの領域を 5つの区域に分割(図-4)。区域毎に左右から 2枚ずつ計 4枚+正面から 2枚の 22枚
撮影枚数	180枚	66枚

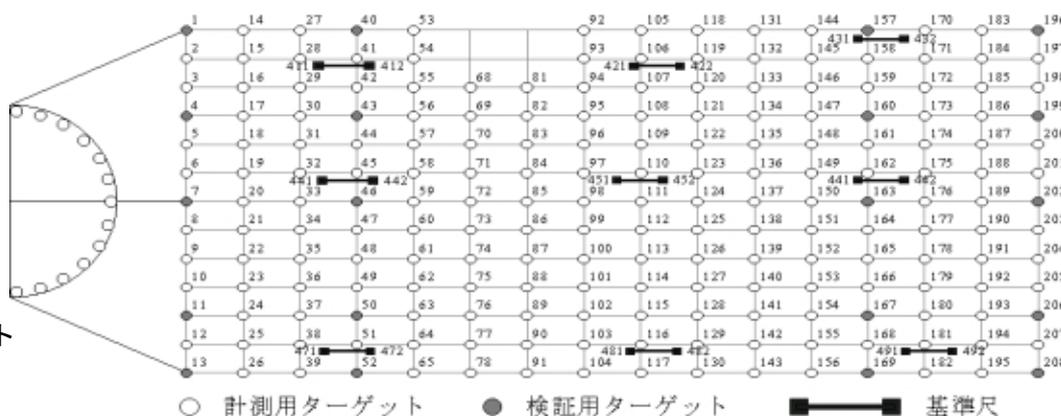


図-3 反射ターゲットの配置例 (実験 2)

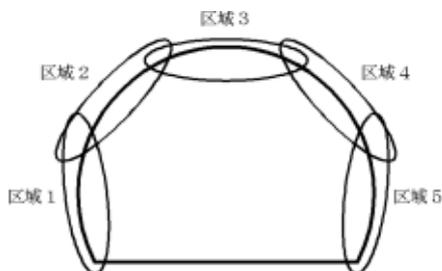


図-4 撮影区域の分割状況

表-2 実験機材仕様

機材	メーカー・型式	仕様
デジタルカメラ	コダック DC S660	画素数 3040×2008
レンズ	ニコン	焦点距離 20mm
反射ターゲット		φ 30mm, 20mm
トータルステーション	ソキア MONMOS	測角精度：2秒 測距精度： ± (1mm+2ppm)

(2)実験結果

精度検証として画像計測による反射ターゲットのうち数枚のターゲットをTSによって測定し、その差を比較した(表-3)。この結果から、いずれの方法でも測定精度は 1mm程度以下であったが実験 2の方が倍程度の精度が得られた。その要因には次のことが考えられる。

- ①ターゲット密度を上げ 1枚の写真により多くのターゲットを撮影した。
- ②標準的撮影によって全ての測定点が均等に撮影された。

表-3 実験結果 (TSとの差の標準偏差)

	実験 1	実験 2
X軸	1.0775mm	0.7789mm
Y軸	0.8281mm	0.3434mm
Z軸	0.9454mm	0.5462mm
3次元座標	0.9450mm	0.5839mm

4 まとめ

従来の画像計測法では、対象物をその外側から全体を収めるようにして撮影することにより高精度を得ているが、トンネルの場合には内側から外側に向かって放射状に撮影することになること、細長い形状のために撮影場所が限られ、また長手方向に写真を繋いでいく必要があることなど、他の土木分野の変位・形状計測に比べても画像計測には不向きな条件があった。しかし今回 1mm以下の計測精度が得られ、適用性が確認できた。今後は、ターゲット数や撮影手順といった撮影形態の標準化など、実用性向上の検討を進めたい。