

デジタル画像によるトンネル覆工コンクリートの変位計測技術の開発と適用

大成建設 正会員 ○谷 卓也 篠崎 哲明 高橋 聡尚

地層科学研究所 林 邦彦

中日本高速道路 正会員 今塩屋 勝

1. はじめに

東海北陸道の高鷲IC～ひるがの高原SA間に位置する上野第一トンネルにおいては、供用中の一期線トンネルに約5mまで近接して二期線のトンネル工事が行われる(図-1)。現在、従来からの計測に加え、地表からの地中変位計、二期線トンネル内からの先行変位計等を設置し、各計測値をモニタリング・評価しながら、慎重に二期線の掘削が進められている。また、二期線の切羽が掘削の進行とともに接近してくる一期線では、動画カメラや覆工コンクリートのひずみ計測、デジタル画像による覆工コンクリートの変位計測等による監視が行われ、更なる安全性を確保している。

本稿では、一期線の覆工コンクリート監視用に開発し、現在トンネル内の3箇所稼働しているデジタル画像による坑内変位観測システム(図-2)について、計測原理と計測システムの構成、計測結果および適用性について述べる。

2. 計測原理

開発したシステムは、写真測量の原理を応用したものであるが、ある横断面内に設置されたターゲット間の相対距離を、一箇所で撮影した画像を用いて評価するため、複数箇所で撮影した画像を用いる通常の写真測量とは異なる。しかし、計測対象点、撮影するカメラの中心、カメラの画像面に投影された計測対象点の3点が、図-3に示すように必ず同一の直線上にあり、図中に示した共線条件式が成り立つという点は、通常の写真測量と同じである。従来、共線条件式は、「撮影画像の枚数」×「計測対象となる点の数」存在し、これらを連立して解いて計測対象点の三次元座標を求めるが、トンネル内では撮影箇所が1計測断面当たり一箇所との制約があり、一つの画像で共線条件式を解いて計測対象点の座標を求めることになる。そのため、全計測対象点が同一平面上にあるという条件を加え、二点間距離を算出する。

3. 計測システム

トンネル覆工コンクリートの監視用に開発した計測システムは、先に述べた撮影位置(写真枚数)の制約や供用中トンネルで運用を行うための工夫がなされている。特に、メンテナンスが長期間行えないことから、カメラや機器類の防護、耐久性等が配慮されている。システムのカメらは、フルサイズの撮影素子が備わったデジタル一眼レ

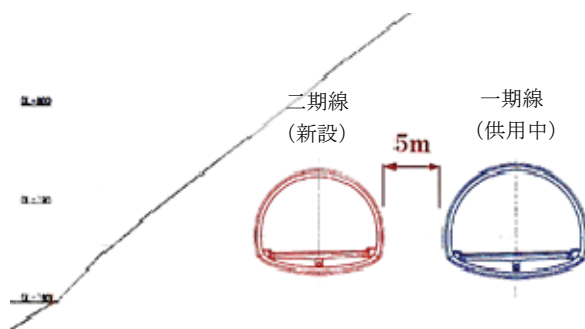


図-1 一期線と二期線の最接近区間の位置関係

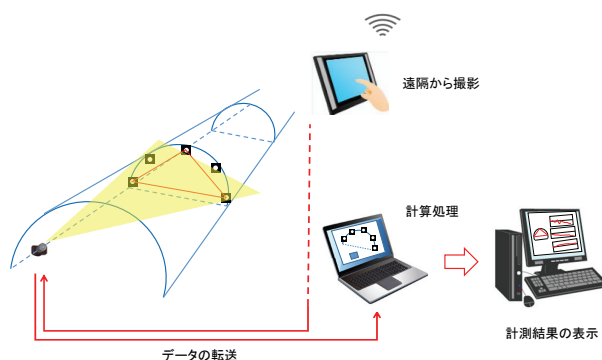


図-2 画像による変位計測システムの概要

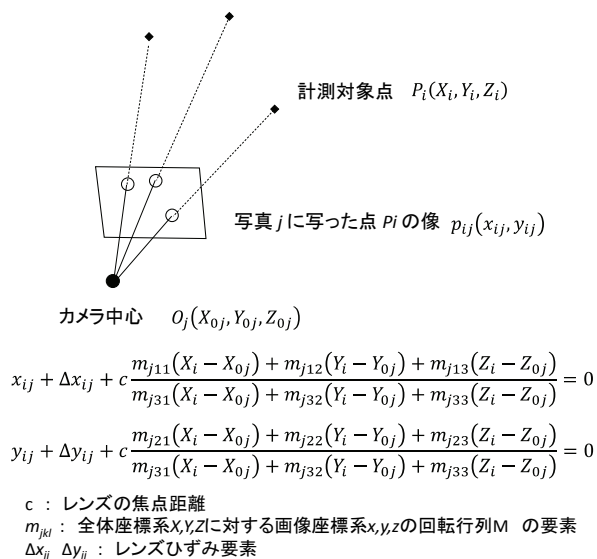


図-3 共線条件と共線条件式

キーワード 写真測量, 画像計測, 変位計測, 覆工コンクリート, 二期線, 監視システム

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社技術センター TEL045-814-7217

フカメラであるが、遠隔撮影やデータの転送が行えるように改造されている。レンズは単焦点レンズであり焦点距離が固定される。ターゲットは、図-5 に示すようなガラスビーズ製の円形反射材が黒色の板に貼付されており、撮影時にはストロボ発光により明確な円形輪郭を画像内に残す。また、計測精度を向上させるための基準尺は、温度変化の影響が少なく、かつ取り扱いが容易な軽量かつ剛性の高いカーボン素材を使用している。現場の変位計測においては、図-5 に示す様な直線上に 2 個の反射材を有する基準尺 (I 型) の他、7 つの反射材を有する H 型の基準尺を採用した。遠隔撮影された画像のデータは光回線で転送され、処理プログラムを使って変位量に換算、表示されるようになっている。

4. 精度確認試験

現場適用に先立ち、室内壁面を利用し、開発したシステムの精度確認試験を実施した。試験では 10m 離れた 2 つのターゲットを用い、片端のターゲットを 1mm ずつ最大 8mm まで順次移動させ 2 点間の距離を 20m 離れたデジタルカメラ画像で評価した。ターゲットの移動量はノギスで計測した。精度の検証結果を図-6 に示す。ノギスで計測した変位を真値とした場合、画像計測による変位の評価結果は 1mm ($\pm 0.5\text{mm}$) 以内であった。

5. 現場計測

変位計測は、同一平面上の天端と左右の両肩・両側壁の合計 5 点のターゲット間の相対変位を、1 台の固定したカメラから撮影した画像で求める。図-7 には、計測断面の状況を、図-8 には計測結果の一例を示す。この図-8 に示した計測結果は、ある計測断面における二期線とは反対側の側線の経時変化である。既にこの計測断面の横を二期線の切羽が通過しているが、変位の増加およびその傾向は見られない。また、一部期間にデータのばらつきが目立つが、ほぼ $\pm 1\text{mm}$ 以内で安定している。このばらつきは、撮影された写真の分析から、融雪剤によるターゲットとレンズの汚れや、トンネル内に発生する霧によるものと推察される。

6. まとめ

写真測量を応用したデジタル画像による覆工コンクリートの変形監視システムを開発し、その有効性を確認するとともに現場での運用を継続している。約 6 ヶ月を経過した現在、撮影条件の影響を受けた計測値のばらつきはあるものの、値は目標精度 ($\pm 1\text{mm}$) 内で安定しており、計測環境の厳しいトンネル内においても開発したシステムの適用性が実証された。今後は、撮影から評価までの完全自動化や、画像処理やデータ補正方法の改善による精度向上をはかり、施工の安全に寄与していきたい。

参考文献

- 1) 秋本圭一ら：画像計測法のトンネル内空形状計測への応用，土木学会論文集，No. 687/III-56，pp. 289-301，2001。

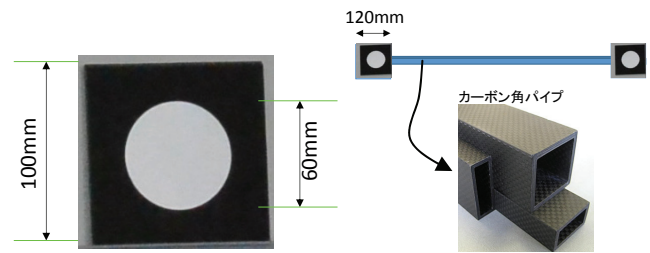


図-5 反射ターゲット (左) と基準尺 (右)

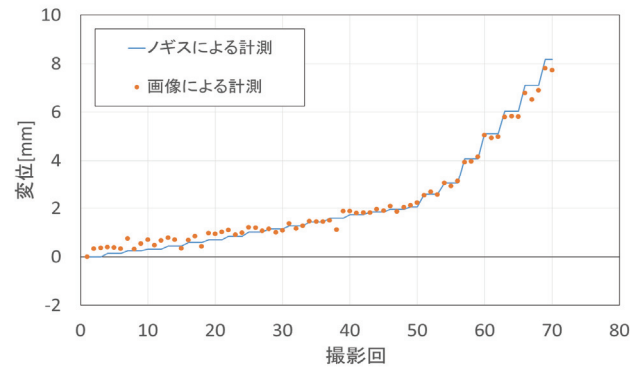


図-6 計測精度の確認試験結果

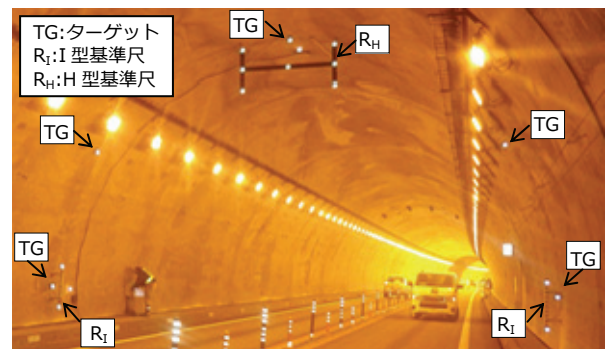


図-7 計測断面の状況 (設置時)

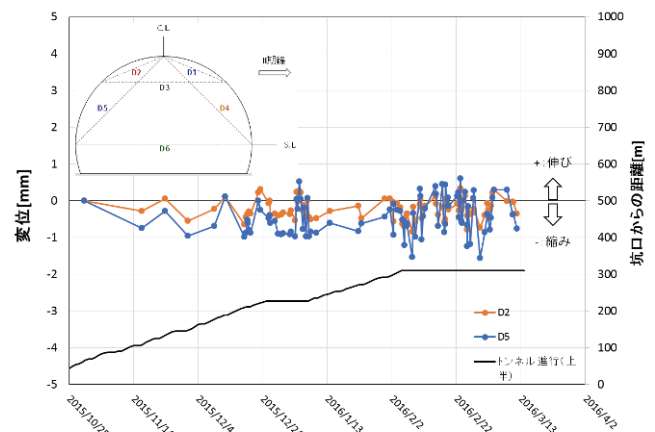


図-8 覆工コンクリートの変位の経時変化