

トンネル工事へのデジタル写真測量技術の適用（その2：内空変位）

鹿島建設 正会員 ○ 今井 道男*
鹿島建設 田村 和彦**

池田市

久保 賢二

1. はじめに

大阪府池田市で施工中の配水池用トンネル工事において坑口部法面の動態観測およびトンネル（延長 201m，断面積 100m^2 ）内空変位計測に，デジタルカメラによる写真測量技術を適用した．本稿では，このうちの内空変位計測について報告する．図1に配水池トンネル縦断面図，図2に坑口付近の現場外観を示す．

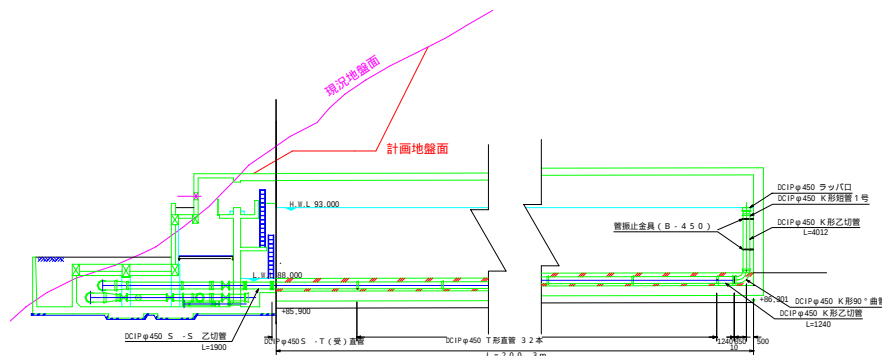


図1 配水池トンネル縦断面図



図2 現場外観（2003年8月）

2. デジタル写真測量

2.1 計測目的

形状計測技術として多くの利点をもったデジタル写真測量のトンネルへの適用が取組まれている¹⁾²⁾．従来までの光波あるいはコンバージェンスメジャーによる内空変位の計測方法と比較しても，現地作業量が少ない，計測結果が作業者の熟練度によらない，導入機器が少なく済む，などの特長がある．

本技術は，地下大空洞の挙動を面的に捉えるような多点計測には向いているが，一般的なトンネル工事における計測手段には至っていない．A計測のように10～20m程度の間隔で一断面あたり数点計測する場合でも，精度向上用の反射ターゲットを計測点以外に設置する必要があることが主な原因である．例えば，本トンネルにおける写真測量の精度を事前にシミュレーションしたところ，一断面あたり5点を計測するためにも，トンネル軸方向にターゲットを4m以下の間隔で設置しなくては目標精度（2mm程度）を達成できないことがわかった．

そこで，本工事において内空変位計測を実施したうえで課題抽出を図り，より簡易な方法を提案，実践し，その実用性を検討することとした．

2.2 計測準備

図3に示すように，一断面あたり5箇所，延長方向には約2m間隔で，両面から撮影可能な反射ターゲット（φ50mm）を吹付コンクリートにアンカーボルトとアングルを使用して，トンネル軸方向に向けて固定した．長さの基準（スケール）には，土圧のかからない坑口部の支保工に設置したターゲットを固定として，その間の距離を使用した．

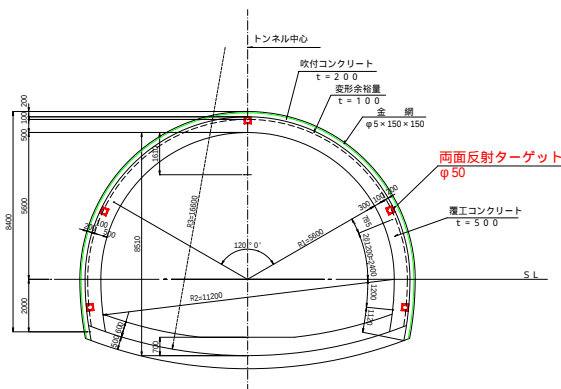


図3 ターゲットの配置

キーワード 写真測量，三次元画像計測，デジタルカメラ，内空変位

連絡先 *〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL0424-89-7923

**〒550-0011 大阪府大阪市西区阿波座 1-3-15 鹿島建設(株)関西支店 TEL06-6536-3311

2.3 計測方法

デジタルカメラはニコン製 D100 (3,008×2,000pixel, 撮像素子 24×16mm), レンズはニッコール製 18mm レンズを用いた。撮影位置は軸方向におよそ 8m 間隔で 2 枚ずつ, 撮影方向は坑口側と切羽側の両方から軸方向に向かって実施した。例えば, トンネル延長 50m 時点で 24 枚撮影した。合計 7 回の測量を行った結果, 内的誤差の平均は断面方向で約 1.6mm であり, 光波による A 計測と同程度の精度を確保することができた。

3. 計測結果

写真測量による計測結果の一例を, 近傍の光波による A 計測の結果とともに図 4 に示す。精度の面からは良好な結果を得ることができたが, ターゲットの設置に時間がかかる, 粉塵などからターゲットを養生する必要がある, 重機の接触でターゲットが破損するなど現場運用上支障となるいくつかの課題が明らかになった。

4. ターゲットなしでの計測

ターゲットの維持管理（汚れや破損の防止）の労力低減ならびに掘削直後の迅速な初期値取得を目的に, 反射ターゲットの代わりにアンカーボルト（ホールインアンカー $\phi 19 \times 100\text{mm}$ ）のみを利用した計測を試みた。

通常の反射ターゲットでは画像処理によりターゲット中心を自動的に抽出していたが, アンカーボルトとした場合, 中心位置抽出時の誤差が懸念された。しかし, 表 1 のように解析精度の劣化はターゲット使用時の約 2 倍に収まった。図 5 に示すようにアンカーボルトに正対するよう撮影方向を断面方向としたために, 同一画像内の計測点に距離のばらつきが少なかったこと, 周辺のロックボルトなど既設構造物の特徴点を精度向上用ターゲットの代わりとして解析時に利用したことなどが高い解析精度を確保できた理由であると考えられる。

今回は, 図 6 に示すように計測点の輝度が足りないために手動で中心位置を抽出したが, 何らかの特徴点を設け, 画像処理で自動抽出ができるようになれば, さらに写真測量の簡便化が期待できる。

5. まとめ

写真測量は多点計測に適している反面, 原理上, 少ないターゲットでは高精度が得られない。本工事でも設置したターゲットが風管や重機などで隠れてしまって精度が悪くなる場合があるなど, A 計測の代替方法としてはターゲットの設置および養生が課題となっていた。今回実践したアンカーボルトは設置も養生も簡便であり, 今後このような反射ターゲットなしでの計測の高度化が進めば, 計測点設置が大幅に簡略化できる（すなわち計測点を多く設置できる, 精度が上がる）, より早い段階で内空変位の正確な初期値を得られるなどの点で, 従来方法を大きく上回ることが可能であると思われる。

最後に, 写真測量の予想結果をシミュレーションするにあたりご指導戴いた四国職業能力開発大学校秋本先生に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 三浦悟, 大西有三ほか, デジタル画像計測法のトンネル内空変位計測への応用, 土木学会年次学術講演会 CS3-016, 2001.
- 2) 仲山亮史, 清水則一, 西川直志, デジタルカメラを用いた写真測量によるトンネル内空変位計測実験, 土木学会中国支部第 53 回研究発表会, pp.317-318, 2001.6.

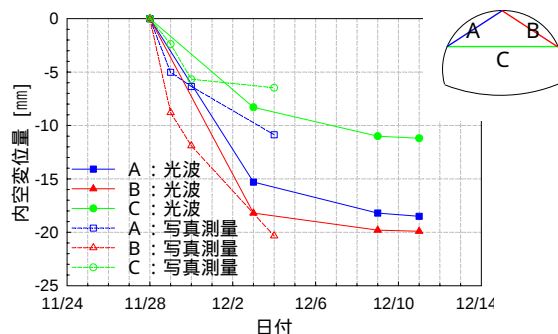


図4 内空変位計測結果の一例

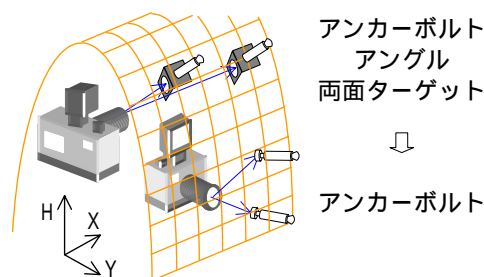


図5 ターゲットなしでの計測

表1 内的精度の比較

単位 mm	X 軸方向	Y 水平方向	H 高さ方向	YH 断面方向
ターゲット	1.26	2.06	0.84	1.57
アンカー	3.64	3.01	2.56	2.79

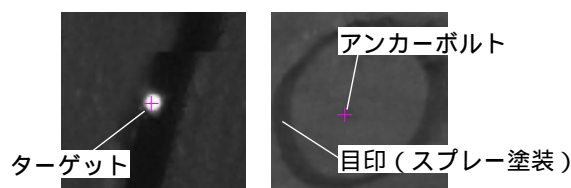


図6 計測点の中心位置状況