

## デジタルカメラを用いた鉄道トンネル内空変位測定の検討

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 一條 健吾  
 西日本旅客鉄道株式会社 正会員 中瀬 理至  
 大成基礎設計株式会社 柏井 善夫

### 1. はじめに

現在、トンネル内空変位計測を行なう方法として、一般的にテープスケールが用いられている。このテープスケールによる計測は、電化区間ではき電停止が必要 高所作業のため労災の危険がある 線路閉鎖工事の手続が必要 検査者のみで4～5人必要 等、効率面及び安全面に課題があった。これに対し、デジタルカメラ計測によると、カメラ1台で迅速に計測を行うことができる上、3次元的な評価が可能であり変状原因を把握し易く、適切な対策の実施が可能となるため、近年関係機関により適用の検討が行なわれている。1) 2)今回、当社で維持管理している2つのトンネルに対し、デジタルカメラによる計測を実施したので、その結果について報告する。

### 2. デジタルカメラ計測の概要

デジタルカメラ計測は、トンネル覆工全周に貼った反射ターゲットをデジタルカメラにより撮影し、専用解析ソフトで各反射ターゲットの3次元座標を計算することにより、トンネル覆工の形を3次元的に捉えるものである。

#### (1) デジタルカメラ撮影方法

デジタルカメラの計測は、高精度の解析結果を得るために、様々な、角度、距離から撮影し、1枚に12個以上のターゲットが写っていることが条件となる。また、撮影時にEOデバイスと呼ばれる既知の3次元座標値をもつ器具を配置し、絶対座標系の基準とする。側壁には長さの基準となる数個のスケールバーを設置して撮影を行なった。仕様機材を表-1に示す。

表-1 使用機材

機材	仕様
デジタルカメラ	総画素数 325 万画素
EOデバイス	267mm × 267mm
反射ターゲット	20mm
スケールバー	L=960.3mm

#### (2) 解析方法

解析は、専用ソフトを用い、各写真についてターゲットとEOデバイスの中心座標の計算を行なう内部標定と、カメラ位置を決定する外部標定を行った後、図-1に示すようにターゲット、写真上の点、投影中心が一直線上にあるという共線条件と、それらのバンドル(光束)が投影中心で1点に集まるという条件で各ターゲットの3次元座標を求める。

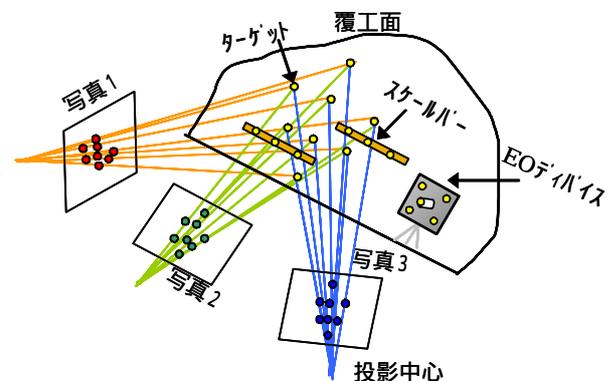


図-1 解析方法模式図

#### (3) 計測精度

現地計測前に、精度の検証を目的とした室内モデルによる実験を実施した。実験は、モデル内の127個中、5つのターゲットに任意の変位(0mm～9mm)を与え、計6回のデジタルカメラ計測を行なった。モデルはトンネル覆工を半径2m、線路方向0.6mで再現したものである。その結果、変位量と計測値の差は±0.1mmであった。

### 3. トンネル概要

今回、デジタルカメラ計測を実施したトンネルの概要を表-2に示す。

表-2 各トンネル概要

	Aトンネル	Bトンネル
構造	コンクリート造 複線交流型	コンクリート造 単線1号型
変状状況	山側からの偏圧的要素を含む塑性圧	山側からの地すべり土圧

キーワード：デジタルカメラ 写真計測 内空変位 画像解析

連絡先：〒920-0031 石川県金沢市元菊町 68-2 西日本旅客鉄道(株) 金沢土木技術センター Tel 076-223-3206

### 4. デジタルカメラ計測の概要

各トンネルにおける計測概要を表-3に示す。なお、レール面上、線間、施工基面等に精度向上を目的とした、ターゲットを閉合させるための仮設ターゲットをAトンネルのみに設置した。

表-3 計測概要

	Aトンネル	Bトンネル
計測範囲	半径約5m 線路方向約3m	半径約3m 線路方向約2m
ターゲット配置	1断面約35個 3断面 仮設ターゲット 有り	1断面約41個 2断面 仮設ターゲット 無し
ターゲット数	計110個	計83個

#### (1) 基準点の決定

本計測における変位置とは、図-2に示すように第1回計測に得られた3次元形状と第2回目計測以降に得られた3次元形状の差をいう。トンネル内では絶対的不動点を確保することが難しい。よって、各トンネルの変状原因を考慮して基準点を定め、相対的なトンネル形状変化により変位置を判定することとした。決定した基準点は以下の通りである。

- ) Aトンネル 海側側壁部 5点
- ) Bトンネル 谷側側壁部 4点

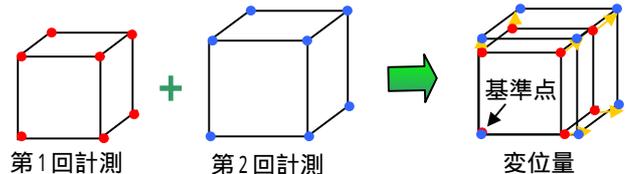


図-2 変位置の考え方模式図

#### (2) 計測の結果

計測結果を図-3 図-4に示す。なお、覆工形状はX軸、Y軸、Z軸で表され、変位置は各点ベクトルで示す。なお計測間隔は、Aトンネルは414日、Bトンネルは149日である。

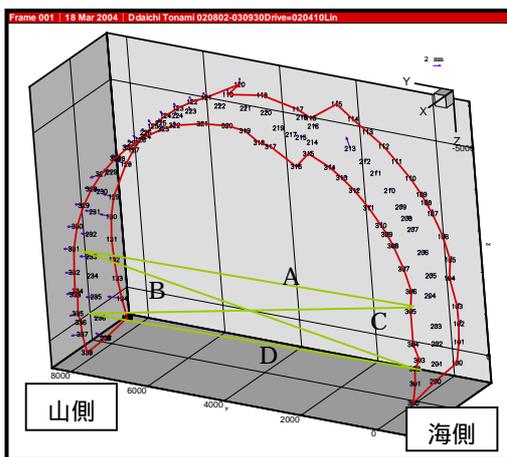


図-3 Aトンネル測定結果

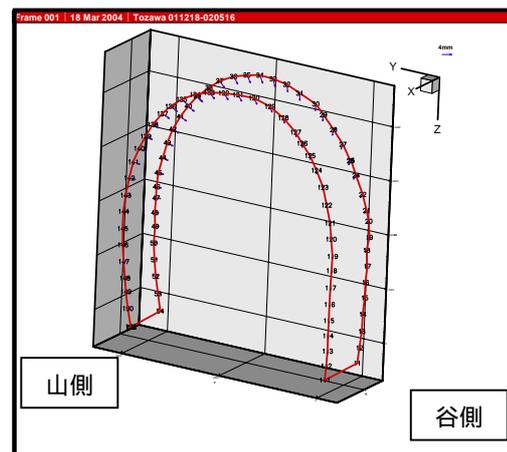


図-4 Bトンネル測定結果

#### (3) 計測結果 及び 考察

今回のデジタルカメラ計測結果の精度を検証するため、図-3に示す各測線において従来内空変位測定に用いられているテープスケールによる測定結果をもとに、年換算内空変位置量との比較を行った(表-4)。なお、テープスケール計測の誤差は約0.1mmである。

計測の結果、各トンネルとも前述した実験のような高い精度は得られなかったものの、Aトンネルでは1.09mmとある程度の精度は得られた。またAトンネルの方が平均で2倍以上の精度が得られた理由として、トンネル底部に仮設ターゲットを設置したことにあると思われる。覆工断面はBトンネルの方が小さいことから、仮設ターゲット設置により、大幅な精度向上が期待できる。

表-4 テープスケール計測との差

	Aトンネル	Bトンネル
測線A	0.51	5.04
測線B	0.51	2.73
測線C	1.68	2.09
測線D	1.67	0.83
平均	1.09	2.67

(単位 mm)

### 5. おわりに

本計測により、テープスケールには及ばないものの、仮設ターゲットを用いたデジタルカメラ計測により、ある程度の精度で計測できることが確認できた。今後、現場固定式EOデバイスの開発等、画像解析精度の向上に努め、本格的な導入を目指す予定である。

参考文献：1) 木村ら;写真測量を利用したトンネル内空変位計測、土木学会第56回年次学術講演会概要集2001.10

2) 三浦ら;デジタル画像計測法のトンネル内空変位計測への応用、土木学会第56回年次学術講演会概要集2001.10