

## 写真測量を利用したトンネル内空変位計測

西松建設 正会員 木村 哲 堀場 夏峰  
秋山 演亮 永山 智之  
京都大学 正会員 大西 有三

### 1. はじめに

写真測量とは、写真を用いて、写されている被写体の物理量、位置や形状などを測定する技術であり、空中写真測量、地上写真測量など、土木分野においてもさまざまな方面で応用されてきた。写真測量は、従来、フィルムを使用するアナログカメラが主流であったが、近年のデジタルカメラの性能の向上とコンピュータの処理能力の向上に伴い、従来では実現し得なかった迅速かつ効率的な写真測量が可能となってきた。一方、トンネルの内空変位において、内空変位の変状をいち早く察知することは、施工上にも安全上にも非常に重要である。現在、トンネル内空変位計測において、コンバージェンスメジャーや光波測距儀による計測が行われている。しかし、両者の計測は、坑道の使用状況によっては、計測がスムーズに行えない場合も生じることがある。それに対し、写真測量はカメラ一台で行えるため、作業状況に影響されず、かつ迅速な計測が期待される。本計測では、写真測量をトンネル内空変位の計測に適用し、トンネル掘削の前後において行った計測結果について報告する。

### 2. 写真測量方法

本計測では、トンネル壁面位置を識別するために反射ターゲットを用いる。反射ターゲットは、トンネル進行方向からターゲットを補足しやすくするためL字型のプレートに貼付する。壁面にはターゲットの識別を容易にするナンバープレートと絶対測量をするための基準尺（精度0.005mm）をそれぞれ適宜設置する。今回の計測では、トンネル1断面につき11点、トンネル軸1.5m間隔に10断面の計110個のターゲットを設置した。また、路上には仮設ターゲットを任意に配置した。

写真撮影は、トンネル下半掘削前後に行った。図2に写真撮影を行った位置を示す。写真撮影は、下半掘削前に76枚、下半掘削後に103枚の画像を撮影した。撮影方向は、写真撮影箇所は、トンネルセンターから軸方向に1方向、トンネル両側から反対の坑壁に向かって2方向、また、高所作業車を使用して上方から左右の壁面を撮影した計5方向において撮影した。下半掘削後



図1 ターゲットを設置したトンネル

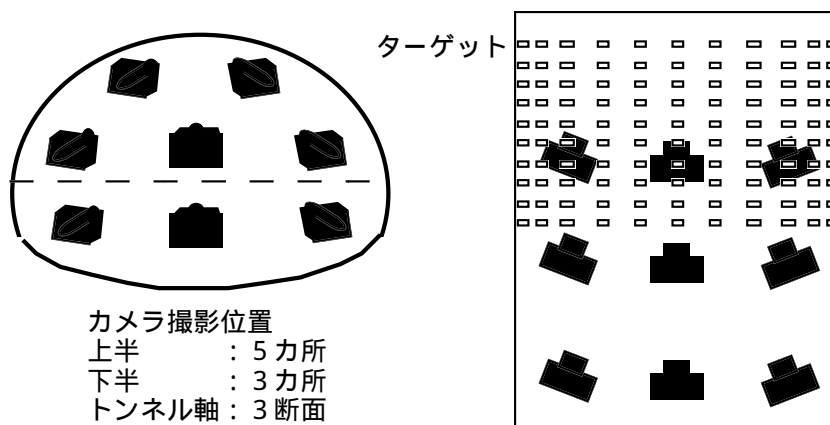


図2 写真撮影箇所

キーワード：写真測量 内空変位 セルフキャリブレーション法

連絡先：〒242-8520 神奈川県大和市下鶴間 2570-4

Tel : 046-275-0055 Fax : 046-275-6796

には、路床とスライサインと上方の3断面において撮影した。このセットを計3断面で行った。撮影時には、カメラに起因する誤差、例えば、レンズの歪みなどを取り除くため、一箇所につきカメラを90度ずつ回転させて撮影を行った。これは、あらかじめレンズの歪みを考慮したセルフキャリブレーション法と呼ばれる手法である。なお、使用したデジタルカメラは、610万画素のものである。

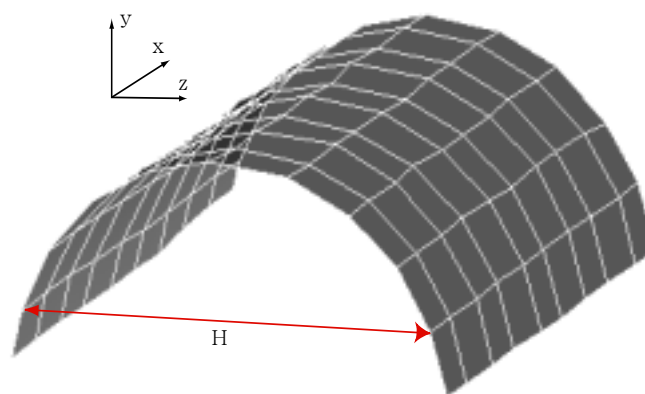


図3 写真撮影で得られたトンネル形状

#### 4. 解析結果

本計測において、下半掘削前後における写真測量結果を以下に示す。座標軸は図3に示すように、トンネル軸方向をX軸、鉛直方向をY軸、断面方向をZ軸とする。なお、図3は、下半掘削前の写真測量によって得られたトンネル断面形状である。

本計測の分解能は、各座標の標準偏差で表される。単位はmmである。表1に下半掘削前後に計測した結果を示す。

図4は、本計測で使用したターゲット全点における掘削前後の変位量をX,Y,Z座標別に表示したものである。X軸方向にややばらつきが見られるものの、Y軸、Z軸の変位量はターゲットの設置位置に追従した変化を示し、ターゲット全線に渡ってほぼ均一な測量結果が得られたことが分かる。

図3のH方向に関して、写真測量と光波測距儀を比較した結果を表2に示す。両者の差を平均した結果を比較すると-1.3249mmであった。この結果から、写真測量の測位精度は光波測距儀の精度と同等の精度を確保することが可能だと評価される。

#### 5. おわりに

本計測において、写真測量を用いることでトンネルの掘削前後の内空変位を精度よく計測することが可能であることが分かった。今後は、より簡便な内空変位計測技術の開発を行う予定である。

最後に本計測に当たり、御協力いただいた、福山大学服部教授、四国職業能力開発大学校秋本講師に感謝の意を表す。

表1 トンネル掘削前後の写真測量における内的精度

	X座標	Y座標	Z座標	全体
掘削前	0.5704	1.6070	0.7912	1.0853
掘削後	0.5819	1.2147	0.6842	0.8722

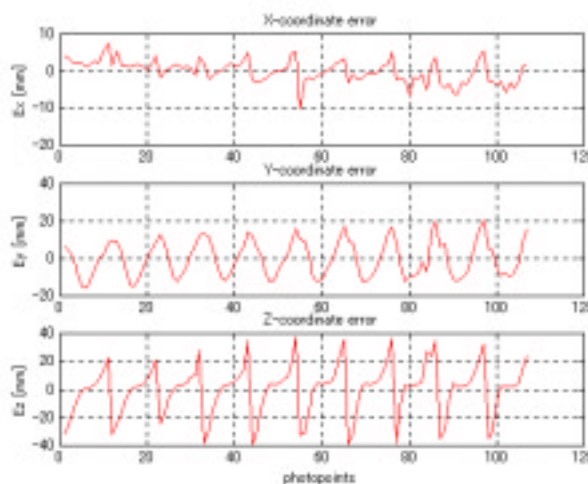


図4 写真測量による掘削前後のターゲットの変位

表2 写真測量と光波測距儀による測量の差

	H (写真測量)	H (光波測距儀)	差
1	-42.1061	-44.4758	2.3697
2	-55.1042	-52.3390	-2.7652
3	-55.6665	-54.0510	-1.6155
4	-49.1598	-46.9976	-2.1622
5	-54.7488	-52.2974	-2.4513
平均			-1.3249