

デジタルカメラを用いた画像処理手法によるトンネル断面計測

西日本旅客鉄道（株） 正会員 藤原 申次
 西日本旅客鉄道（株） 正会員 鈴木 喜也
 西日本旅客鉄道（株） 一 條 健吾
 ジェイアール西日本コンサルタンツ（株）正会員 竹田 喜彦

1. はじめに

近年、デジタルカメラの高性能化とともに、それを活用した画像処理技術の各種測量業務への応用が試みられている。本稿では、鉄道トンネルの建築限界確認を行うことを目的に、デジタルカメラを用いた簡易な測定方法の開発について取り組み、検証試験を実施した結果について報告する。

2. 測定手法の概要

測定機器および配置状況を図1に示す。回転式レーザ発光器を測定位置に設置し、線路方向直角にトンネル断面を照射させ、その照射面と平行になるように標点（ターゲット）を3点配した基準定規（図2）を設置する。その基準定規の標点およびトンネル覆工面に映し出されたレーザ輝線をデジタルカメラで同時に写し込む。そして既知である基準定規の各標点間距離の関係をj用いて方程式を立て、未知であったカメラの位置情報（座標・傾き）を算出する。次に、カメラCCD面上に撮像されたレーザ輝線について画像処理を施し、求めたカメラ位置情報との関係から覆工面の座標化を行うものである。



図1 測定概要

その基準定規の標点およびトンネル覆工面に映し出されたレーザ輝線をデジタルカメラで同時に写し込む。そして既知である基準定規の各標点間距離の関係をj用いて方程式を立て、未知であったカメラの位置情報（座標・傾き）を算出する。次に、カメラCCD面上に撮像されたレーザ輝線について画像処理を施し、求めたカメラ位置情報との関係から覆工面の座標化を行うものである。

3. 測定試験による検証

3.1 測定誤差要因の検討結果と考察

本手法は、表1に示すような複数の測定誤差要素が含まれていると考えられる。そこで室内および廃線トンネルを用いた現地測定試験を実施し、各々の誤差要素が及ぼす影響について検証した結果を以下に述べる。



図2 基準定規

内部標定要素：レンズ収差等に起因

する誤差要素は無視できない。ただし、内部標定要素を考慮（カメラキャリブレーションの実施）することにより、測定誤差に及ぼす影響を大方取り除くことができた。

表1 推定される主な誤差要因

誤差要素	誤差を誘引すると考えられる内容
内部標定要素	カメラ，レンズ固有の歪み（レンズ収差等）
基準定規の設置精度	基準定規3点とレーザ平面との偏り
基準定規の大きさ	基準定規の大きさ（比率）の違い
画像認識の良否	レーザ輝線，基準定規標点の画像認識状況
外部標定要素	カメラ位置情報を決定するための要素全般

基準定規の設置精度：本手法では、基準定規に配置してある3点の標点が成す平面と、覆工面に照射されたレーザが成す平面とが平行であるという条件を用いている。したがって、本要素が測定誤差に与える影響は大きいものと推測される。その検証として、基準定規面をレーザ平面から微小に傾ける試験も実施したが、その傾きに対して比例的に誤差が増加した。

基準定規の大きさ（比率）：定規下部2点の標点間隔を1m，2mの二とおりを設定してそれぞれ測定した。その結果、測定精度に顕著な影響は認められなかった。理論的には標点間隔の大きな基準定規とすると測定精度が向上する傾向にあるものと推定されるが、あまり大きな基準定規を測定現場に持ち込むのは現実的ではなく、したがって今後は間隔が1mの場合のみで検討することとした。

キーワード トンネル，建築限界，簡易計測，デジタルカメラ，画像処理

連絡先 〒530-8341 大阪市北区芝田 2-4-24 西日本旅客鉄道(株) 鉄道本部技術部 TEL06-6376-8136

画像認識の良否：レーザ輝線は覆工面に映し出された時、2～3mmの幅を有した線として認識される（図3）。それに画像処理を施し、線の中心位置を取り出し座標化している。ただし、このときに生じる誤差は、全体の誤差に対しては些少であると考えられる。したがって、標点やレーザ輝線の認識に関する画像処理手法の詳細な検討は、影響が大きい他の誤差要因を検討した後に、必要に応じて今後考慮していくこととする。なお、漏水などにより覆工面が濡れた箇所におけるレーザ輝線の取得状況について心配されたが、特に問題なく認識可能であった。

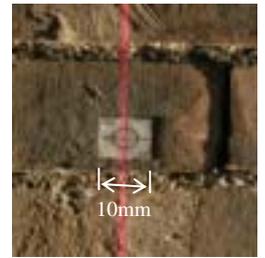


図3 レーザ輝線

外部標定要素：カメラ位置情報を未知、基準定規の標点の位置関係を既知として方程式を解き、外部標定要素（カメラの位置・傾き）を決定する。そしてこの得られたカメラ位置情報を用いてレーザ輝線部の座標を決定させるため、最終的な測定値の精度に影響を与える。なお、この要素に関する考察については後述する。

以上の評価試験を行った廃線トンネルは、高さ約4.5m、最大幅約4mの単線断面である。なお、測定精度を論じるために、覆工面に光波測量（トータルステーション）用の標点を設置し、この測量値との差を誤差として判定することとした。このときの結果を図4中に示した「標点：3点」に示す。これより、基準定規から最も離れた覆工天端付近において誤差が最大となり、およそ15mmとなった。また、5回測定を行った結果、カメラ外部標定要素



図4 基準定規の標点数と測定精度との関係

の値（カメラ座標値）の標準偏差は5～7mm程度となり、ばらつきが大きいことがわかった。したがって、このカメラ位置決定のばらつき、および前述した基準定規の設置精度が、最終的に目的とする覆工面の座標算出の精度に大きく影響を及ぼすものと考えられる。

なお、（カメラ）外部標定要素に関する誤差は、適用した基準定規の標点数が本手法で必要となる最低限の3個であり、与える位置情報を最小限としたこと、および基準定規3点の標点が成す平面と、覆工面に照射されたレーザが成す平面とが平行である条件を用いることにより、カメラ位置からこの平面までの距離を一定とみなすという条件設定をしていることで、誘因されているものと推測された。

3.2 測定精度向上に関する検討結果および考察

前項の検証内容の結果を鑑み、当初の標点3点に加えて線路方向に2点を追加し、標点を3次元配置とした基準定規（図5）を作成した。これにより、奥行き方向に既知の距離情報を与え、この条件を計算に含めて外部標定要素の算出精度を高めることとした。一方、標点前面3点が成す平面とレーザ平面との狂いを2mm/3m以内に設定して基準定規の設置精度を高め、再度精度検証試験を実施した。

そのときの結果が、図4中「標点：5点」の場合である。このときの誤差は最大5mm未満となった。また、5回測定したときのカメラ外部標定要素の標準偏差は1mm以下となり、カメラの位置決定に関する誤差についても大幅に減少させることができた。



図5 基準定規（5点）

4 おわりに

単線断面大のトンネルにおいて、本手法による測定誤差は最大5mm未満であり、建築限界余裕量の確認を、高所作業を伴わずに簡易に行うという目的において、おおよそ実用に適したレベルのものとなった。今後は測定精度の向上および検査・判定に活用できるシステムの開発を実施していく予定である。