

CCD カメラを利用したトンネル内空変位計測における測定精度

(株)大林組 技術研究所 正会員 畑 浩二
 早稲田大学 理工学部 橋本周司
 早稲田大学 理工学部 青木義満

1. はじめに

従来、トンネル内空変位計測ではスチールテープを利用したコンバージェンス計測が主流であったが、計測の効率化を図るため光波測距儀を利用した方法に置きかわりつつある。また、自動・無人化計測を目的にレーザを利用した変位計測法も開発されているが、地下空洞という低照度・狭空間ではより簡単な方法の出現が望まれている。

著者ら¹⁾は従来の方法に比較して取扱いが容易な方法として CCD カメラと画像処理を組み合わせた変位計測システムの開発を行っている。その中で、画像処理に関する基礎的検討として歪曲収差の影響と補正方法については既に述べた。ここでは、CCD カメラと画像処理を組み合わせた方法でどの程度の精度が期待できるのかについて述べる。

2. 微小変位測定実験

CCD カメラは、銀塩フィルム使用のカメラと異なり電子の眼ともいえるべき CCD (電荷結合素子) によって光の強度から色情報を取得している。一般的には、CCD の総数が多ければ多いほど高解像の画像を取得することができる。また、画像処理技術の発展によりサブピクセルオーダーでの認識が可能になりつつある。しかし、現実には CCD の構成、感度、S/N 比、画素間配線構造、さらには画像処理アルゴリズムの適用性等によって解像度は大きく影響を受けることになる。そこで、CCD カメラと画像処理を組み合わせた変位計測システムにおいて、実際上の精度検証を行う目的で微小変位測定実験を実施した。

本実験では微小変位を正確に認識できることが必要になる。そこで、形状や寸法を測定するために通常利用されているデジタル式ノギスに直径 50mm の黒丸を印刷した板を固定側と可動側に取り付け利用することを考えた。使用したデジタル式ノギスの精度は 0.01mm である。この装置を 2 車線道路トンネル断面を想定した幅約 13m の建物壁面の 3 箇所 (左端、中央、右端) に固定設置して使用した。設置高さは、CCD カメラの視準が水平になるよう約 160cm である。撮影距離は、3 箇所の測定装置を 1 枚の画角で撮影できることを念頭に置き、約 15m とした。測定装置と実験の概略を図 - 1 に示す。使用した CCD カメラは、有効撮像素子の

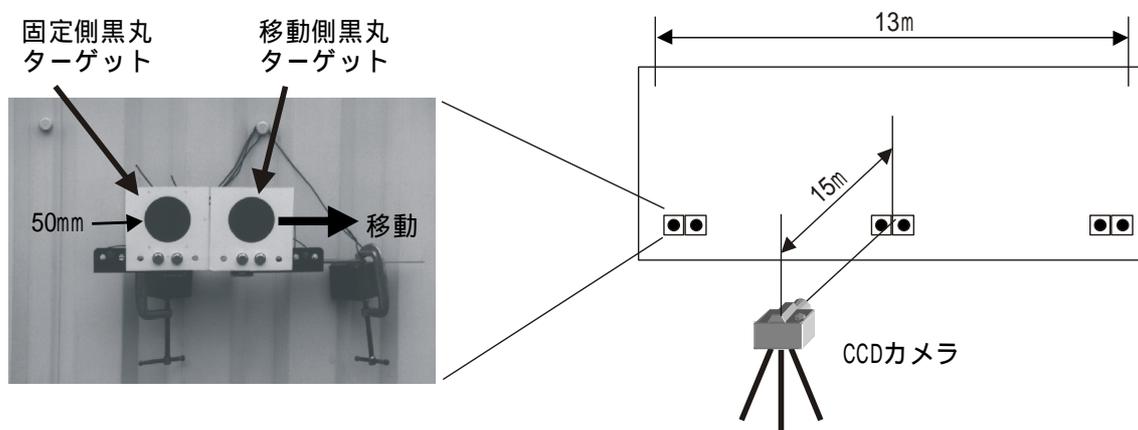


図 - 1 微小変位測定用治具と実験概要

キーワード：画像処理、CCD カメラ、トンネル内空変位計測

連絡先：〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 Tel:0424-95-1256 Fax:0424-95-0903

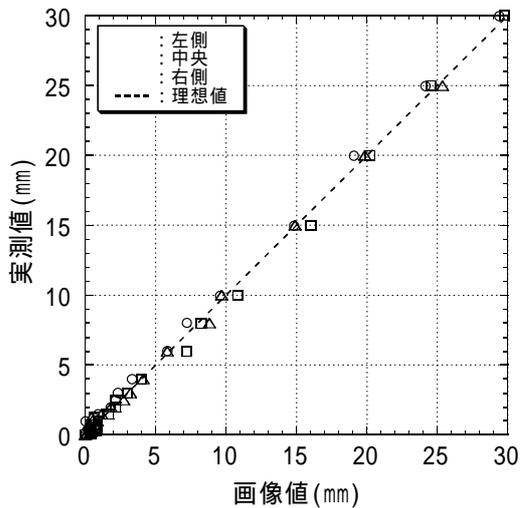


図 - 2 画像値と実測値の関係

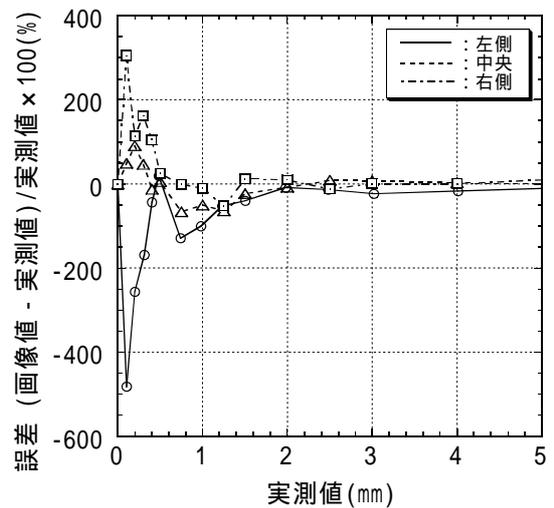


図 - 3 誤差

総数が 600 万で、レンズは焦点距離 28mm である。実験は、デジタル式ノギスの可動側を 0.1mm 刻みで 30mm まで移動させ、逐次 3 個所の測定装置を 1 枚の画角に入るように撮影した。

3. 実験結果と考察

撮影された画像を用いて、固定側および移動側の黒丸の重心座標を算定した。ここで利用した画像処理アルゴリズムは、重心座標をサブピクセル精度で算定するため輝度分布を考慮するとともに、メディアンフィルタと直線除去処理などを組み合わせたものとなっている。なお、取得画像には少なからずザイデルの 5 収差（球面収差、コマ収差、非点収差、像面湾曲および歪曲収差）²⁾ が発生している。これらの収差のうち、変位解析において最も影響の大きな歪曲収差は著者ら¹⁾ の提案した 5 次関数によって補正した。

画像解析から求めた画像値とデジタル式ノギスで求めた実測値の関係を図 - 2 に示す。図中、3 個所の測定結果を、 \circ 、 \square 、 \triangle で示した。画像値と実測値が同一であれば、図中点線で示す関係になるが、画像値と実測値の間には差異が認められた。特に、実測値が 0.5mm を下回る場合には、画像値のバラツキが大きくなる傾向にあることが判明した。実測値に対する画像値の誤差を $((\text{画像値} - \text{実測値}) / \text{実測値} \times 100\%)$ から算定し、実測値との関係で表わしたのが図 - 3 である。実測値が 5mm を越える場合の誤差は 10% を下回る（10mm を越える場合の誤差は 1% を下回る）ようになるため、実測値 5mm までの範囲で表わした。すると、0.5mm 程度を境にして実測値がそれより下回る場合には誤差が飛躍的に大きくなることが判明した。したがって、幅約 13m の測定画角に対して実測値 0.5mm 程度までは精度保証は可能であり、測定画角に対して 0.004% 程度までの変位はこのシステムによって測定することが可能と考えられる。

4. おわりに

CCD カメラと画像処理を組み合わせた方法で変位計測を行う場合、適切な画像処理アルゴリズムと歪曲収差補正を加味することによって測定画角に対して 0.004% 程度までの変位を測定することが可能であることが判明した。今後は画像処理アルゴリズムの改良と歪曲収差補正の高精度化を行い、精度向上を目指すとともに、現場適用を踏まえトンネル内空変位計測システムを確立する予定である。

参考文献

- 1) 畑 浩二、橋本周司、青木義満：CCD カメラを利用したトンネル内空変位計測における歪曲収差の影響、第 36 回地盤工学会研究発表会、2001.
- 2) 鈴木達朗：応用光学、pp.29 ~ 36、朝倉書店、1982.