

デジタルカメラを用いた軌道狂いの自動計測システム

*ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社 正会員 生 駒 昇

**株式会社 横河ブリッジ 正会員 横 尾 正 幸

***総合計測 株式会社 非会員 稲 垣 順 也

鉄道線路下を横断して工事を施工する場合に、軌道や路盤面が沈下・隆起、水平移動を起こすことが多い。それらの挙動をデジタルカメラにより自動計測する方法を研究開発し、線路下横断工事等の現場に適用したので、基本的な原理や成果の一部を発表する。

1. 目的

鉄道近接の工事施行では、線路の変位(軌道狂い)を測定し、列車運転の安全を確認することが重要である。軌道狂い測定はレールに添って10mの糸を当て、中間点の垂直水平方向の離れを計る方法により行う。この作業は、軌道技術者と列車見張員の編成で行われるが、列車と触車の危険性を孕んだ作業となっている。デジタルカメラ計測の目的は、自動計測を線路外から実施することにより安全作業で且つ連続した軌道狂いデータを取得することにある。

2. 計測原理

本計測方法においては、図-1の例で、基準点A、Bを不動点として各測点の移動量を求める絶対偏倚量計測と測点a、cを不動点みなし、測点bの移動量を求める相対偏倚量計測を行う。

デジタルカメラにより基準点及び測点の全体を視野内に入れて撮影し、基準点、測点それぞれのCCD面上の座標を求め、模式的に図-2、式(1)(2)で表されるCCD座標値 Y_c 、 X_c と現地位置座標 Y 、 X の関係から現地位置座標に換算して上記計算を行う。

$$X = \frac{X_c}{f} \times Z \quad \text{式(1)} \quad Y = \frac{Y_c}{f} \times Z \quad \text{式(2)}$$

3. 軌道計測への応用

軌道は、列車の安全性確保のため保守管理値が定められている。図-3は「通り」、「高低」という軌道狂い量の定義を示しており、点(K_{j-1})及び(K_{j+1})間に張った弦の中間点(K_m)と測点(K_j)の鉛直或いは水平方向の離れで表される。前述の相対移動量と同じ概念である。この外に「水準狂い」、「軌間狂い」、「平面性狂い」の管理値があり、保守状態を管理している。

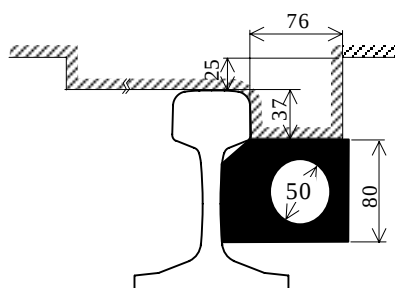


図-4 ターゲットの形状

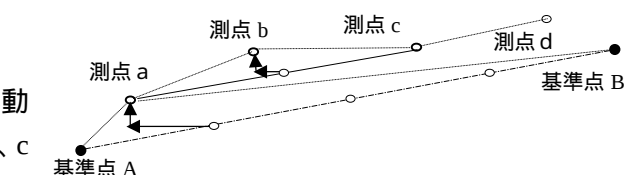


図-1 基準点と測点の相対的位置関係

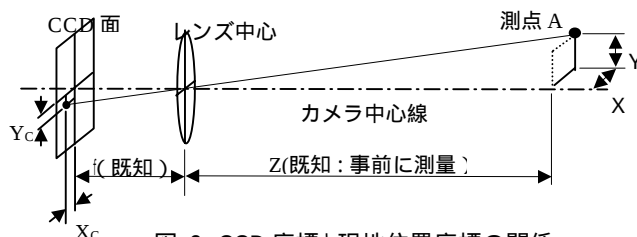


図-2 CCD座標と現地位置座標の関係

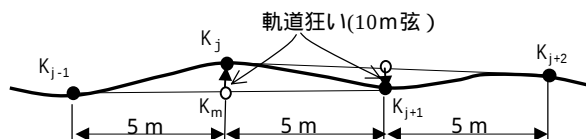


図-3 軌道の通り狂いと高低狂い



写真-1 計測写真の例

軌道計測は、レールのウェブ部分に図-4に示すターゲットを取り付け、写真-1のように、1画面に全測点が入るよう撮影する。前記2.の方法で各測点の座標を求め、さらに絶対偏倚量、相対偏倚量を求め、さらに、この動作を継続的に行うことで、軌道計測を自動化した。

キーワード デジタルカメラ、ターゲット、CCD座標、軌道自動計測、相対偏倚量、絶対偏倚量

連絡先

*〒532-0011	大阪市淀川区西中島 5-4-20	ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)	06-6303-1454
**〒273-0026	舟橋市山野町 27 番地横河ブリッジ	株式会社横河ブリッジ	047-435-6203
***〒564-0036	吹田市寿町 2-26-5	総合計測株式会社	06-6381-1221

4．精度の確保

デジタルカメラによる測量では、カメラ位置の変位、レンズ収差等の問題があり、精度面で難点があったが、本計測方法は カメラから視準方向の距離（*z*）を一定とみなし、*x*、*y* 成分を算出することに特化したこと、計測する全点を一画像内に収めたこと、絶対座標でなく、3 点間の相対偏倚位置を求めるものであること、等からカメラ基礎を堅固に固定するという問題と精度を得るための収差補正作業等が大幅に緩和された。

例えば、カメラの架台はH鋼の一本柱を採用しており、日照の変化等により 10 数画素程の視準方位のずれを観測しているが、画像全体が同じ量だけずれるため、測点相互の位置関係には影響を与えてない。

したがって、本計測法の精度は、CCD 座標上のターゲット中心位置算出時に誤差が特化され、画像の分解能を確保することで任意に想定できる。

ターゲットの CCD 座標上の中心位置は図-2、5 より、

$$n_2 \cdot e = \pi \left(\frac{\phi \cdot f}{2 \cdot Z} \right)^2$$

の関係から、ターゲットの像と認識する個々の素子の分散値を素子の辺長と仮定すると、

$$\sigma^2 = \frac{e^2}{n} \qquad \sigma = \sqrt{\frac{e^3}{\pi} \cdot \frac{2Z}{\phi \cdot f}}$$

によって標準偏差値を推定することが出来、現場の状況に合わせた計画を立てる。

5．現場への適用結果

本計測方法を、軌道計測 8 現場に適用したのでその一部を紹介する。

1 例目は、線路に近接した根掘の事例であり、軌道(高低、通りを 2 レール×9 点)18 点に適用して自動計測した。

2 例目は在来線線路下の横断工事の事例であり、軌道(高低、通り、軌間、水準を 8 レール×7 点)、路盤(軌道敷内の路盤沈下を 8 断面×10 測線)、ホーム(高さ・離れを上下線各 3 点)の 142 測点について適用して自動計測した。

計測精度については、前式による標準偏差で推定した。2 つのカメラの誤差推定値と実際のデータを標準偏差値で比較した。実測値は推定値を下回る結果を得た。

昼間と夜間とでは 1.5～2 倍の誤差の幅があり、カゲロウの影響が出ているものと考えている。

実測値は、昼間でも概ねの±1mm の範囲で計測している。軌道の糸張り測定では、±1mm を許容していることから、軌道計測精度としては、採用レベルと考えている。

5．おわりに

本計測方法は、軌道計測に適した方法であり、精度も満足する結果が得られたと考えている。

長大橋梁の河川部橋脚の変位等にも適用を始めたが、さらに精度や安定化の研究を進め適用できる範囲の拡大を図って生きたい。

これまでに経験のない方法でありながら、本計測方法を採用し、協力いただきました皆様に改めて御礼申し上げます。

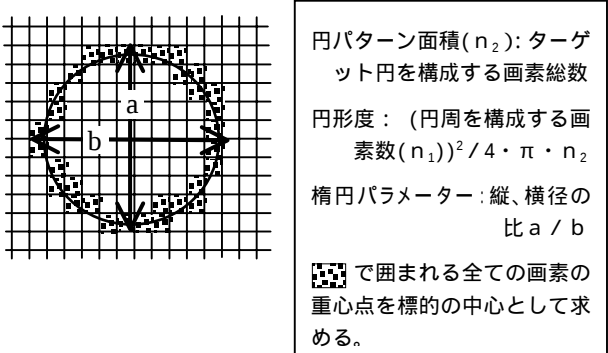


図-5 CCD 面でのターゲットの認識と映像重心位置

事例 1 線路に近接した根掘

単位：mm

測点 番号	物体距離 (m)	推定誤差 (mm)	実績誤差 (夜間)	実績誤差 (昼間)	分解能 (mm)
1	30	0.23	0.10	0.17	1.59
2	35	0.29	0.09	0.19	1.85
3	40	0.36	0.10	0.19	2.11
4	45	0.44	0.16	0.21	2.38
5	50	0.53	0.20	0.27	2.64
6	55	0.61	0.16	0.30	2.91
7	60	0.68	0.20	0.34	3.17

事例 2 線路下横断工事

単位：mm

測点 番号	物体距離 (m)	推定誤差 (mm)	実績誤差 (夜間)	実績誤差 (昼間)	分解能 (mm)
1	63	0.59	0.33	0.42	3.06
2	68	0.66	0.35	0.39	3.30
3	73	0.73	0.28	0.43	3.55
4	78	0.81	0.31	0.45	3.79
5	83	0.89	0.37	0.43	4.03



写真-2 計測写真の例（線路下横断工事）