

II-13 デジタルビデオカメラを用いた軌道の動的変位計測

山田 徹¹

Toru Yamada

桑原 清¹

Kiyoshi Kuwabara

掛橋 孝夫²

Takao Kakehashi

【抄録】鉄道構造物の近接工事においては、列車の安全運行や既設構造物の健全性を確保する事が重要である。そのため、既設構造物の変位・変形等の変状監視計測を高い精度で行うことが要求される。今回は特に、軌道の変位計測手法に着目し、線路外からデジタルビデオカメラを用いて、列車が通過する際の軌道の挙動を撮影し、そのデジタル画像を解析することで軌道の変位を求める手法を開発したので、この手法及び計測結果について報告する。

1. はじめに

鉄道構造物の近接工事においては、列車の安全運行や既設構造物の健全性を確保することが重要である。特に線路下を掘削するような工事を行う際には軌道に与える影響が大きくなるため、軌道の変位計測を高い精度で行う必要がある。

軌道の変位には、列車が通過する際の変位（以下、軌道動的変位）と列車が上に載っていない状態での軌道の変位（軌道静的変位）があるが、本稿では特に軌道動的変位に着目し、今回新たに開発した計測手法について述べる。

2. デジタルビデオカメラを用いた軌道動的変位計測

2.1 従来の計測手法に見られる問題点

当社では、高速軌道検測車（図-1）という検測専用車両を走行させて、軌道の動的変位の計測を行っている。しかし、車両の運用の関係などによりこの車両による計測は四半期に1回程度であり、現場において日常的に軌道の管理を行うには適していない。

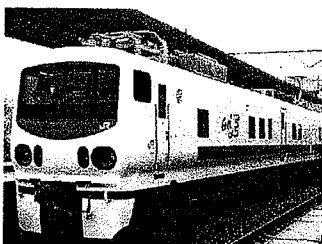


図-1 高速軌道検測車

また、線路下を掘削するような工事を行った際の軌道への影響を検討する際、施工箇所周辺の特定制所の軌道の状態を把握する必要があるが、高速軌道検測車を用いて計測を行った際には、計測箇所の特定制が困難であるという問題もある。

2.2 新たな計測手法の開発概要

今回新たに、線路外から列車が通過する際の軌道の挙動をデジタルビデオカメラで撮影し、得られた画像を変換・解析することで軌道の動的変位を求めるような計測手法を開発した。図-2に開発概要を示す。

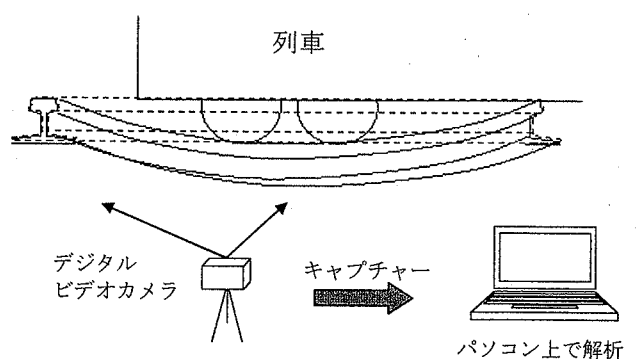


図-2 開発概要図

今回、軌道の動的変位のうち高低変位に着目し、線路外からデジタルビデオカメラで撮影した、列車通過時の軌道の画像をコンピュータに取り込み、手動で画像処理を行う。処理された画像を解析すること

1 : J R 東日本 東京工事事務所 〒151-8512 渋谷区代々木 2-2-6 TEL03-3379-4353

2 : (株)テクノバンガード 〒111-0053 台東区浅草橋 3-1-1 TEL03-5821-8541

で、軌道の上下方向の変位を求める。

計測精度の検討として、画像解析によって求めた値と、従来の高速軌道検測車による軌道の高低変位値との比較を行い、同定の可能性について検討を行う。

このような流れで実線区における試験を進めていくが、実線区試験の前に基本試験を行い、デジタルビデオカメラの計測性能を把握し、その結果をもとに実線区試験を行うこととした。次節より試験の細かい内容について述べていく。

2.3 基本試験

2.3.1 データの収集

基本試験では、軌道に模した塩ビ管に人力で载荷を行い、その挙動をデジタルビデオカメラで撮影し、その画像を解析し、塩ビ管の高低変位量を求めた。図-3に基本試験の状況を示す。

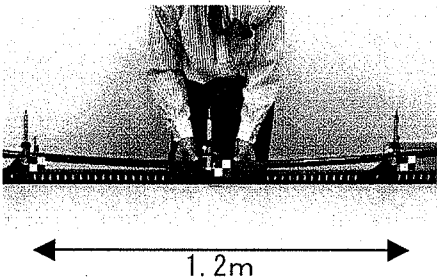


図-3 基本試験状況

塩ビ管の長さはおよそ1.2mとなっており、その中央部及び両端部の3箇所にて、計測点として50mm×50mmのマーカを取り付けた。また、マーカ取り付け箇所にはそれぞれノギスを取り付け、塩ビ管に载荷した際のその箇所での塩ビ管の鉛直方向の沈下量を計測する。図-4にマーカ及びノギスの取り付け状況を示す。

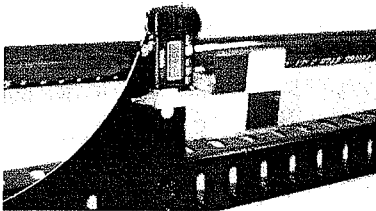


図-4 マーカ及びノギス取り付け状況

試験では、デジタルビデオカメラの撮影位置を、図-5に示すように塩ビ管から90°（真正面）、65°，

40°の3つ用意し、それぞれについて計測を行い、撮影角度による精度の違いについて確認した。

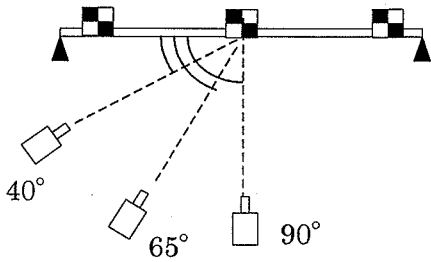


図-5 データ集集方法

2.3.2 データの解析

デジタルビデオカメラによって撮影された画像は、毎秒30コマの静止画として記録されている。この静止画を用いて解析を行うが、斜めから撮影を行ったものに関しては、解析を行う前に射影変換を用いて斜めから撮影した画像を正面画像に変換する必要がある。画像変換には、2次元写真解析システム“Techno Viewer”を使用する。図-6に射影変換（2次元）の手法略図を、図-7に実際の画像変換の例を示す。

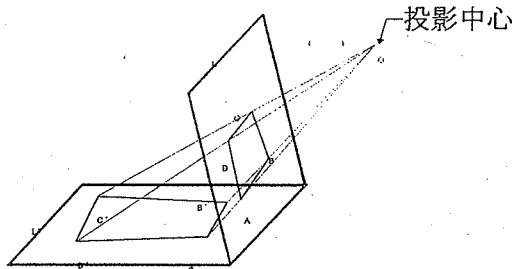


図-6 射影変換手法

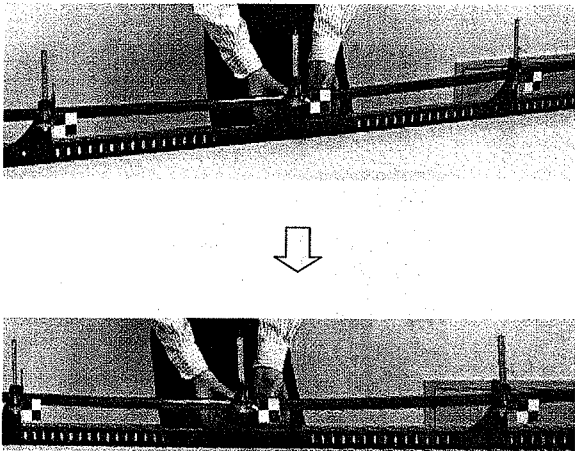


図-7 画像変換例

2. 3. 3 試験結果

ノギスが出した値を真値とし、各マーカーについて画像解析によって求めた鉛直方向の変位との差を求め、計測精度についての検討を行う。

表-1に、各マーカーについての、撮影角度の違いによる計測誤差の標準偏差についてまとめる。ここでいう「マーカー右」とは、カメラから遠い位置のマーカーのことを指している。

表-1 各マーカーにおける計測誤差

	撮影角度		
	90°	65°	40°
マーカー左	0.26	0.26	0.21
マーカー中	0.25	0.27	0.31
マーカー右	0.26	0.29	0.83

(単位：mm)

この結果を見ても分かるように、撮影角度が 40° 以内であれば、1.2m 程度の計測対象物（今回の実験の場合は左右の計測点間距離）を捉えた場合で、計測誤差はおよそ 0.30 mm 程度に収まるが、撮影角度がそれ以上になった場合には、急激に計測誤差が大きくなっている。このことから、実線区試験においても撮影角度を考慮してデータ収集を行う必要がある。

2. 4 実線区試験

2. 4. 1 データの収集

計測する地点の軌道の外側面に、図-8に示すようなマーカーを取り付け、これを計測点とする。マーカーは大きさ 50×250 mm のものを用意し、これを 2.5 m 間隔で 10m の範囲に取り付け、その範囲を列車が通過する際の軌道の挙動を線路外からデジタルビデオカメラで撮影し、データの収集を行う。その際、デジタルビデオカメラの位置は固定とし、マーカーを設置した 10m の範囲について定点撮影を行った。図-9に、撮影状況を示す。

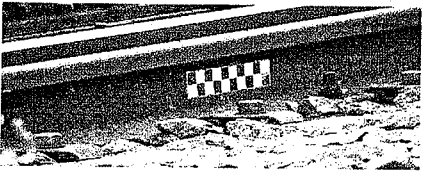


図-8 マーカー取り付け図



図-9 撮影状況

実線区での試験を、JR常磐線三河島～南千住間上り線において行った。試験は、当線区を高速軌道検測車が通過する時期に合わせて行った。データ収集の方法としては、図-10に示すように左右のレールそれぞれについておよそ 10m の範囲を 2 箇所、計 4 地点を撮影するようにビデオカメラを一台ずつ設置し、データの収集を行った。計測点④については地形上の制約があったために、斜めからの撮影を行った。撮影角度は、基本試験で得られた結果を考慮して、図のように軌道からおよそ 40° となるように設定した。

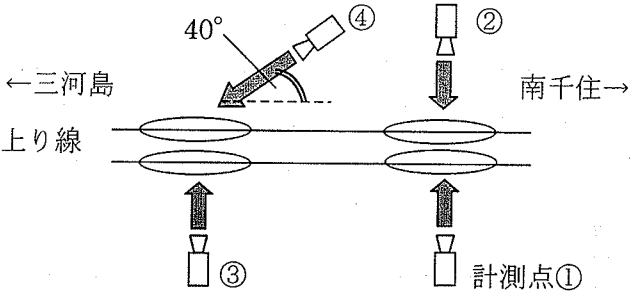


図-10 データ収集方法

2. 4. 2 データの解析

データの解析方法及び、斜めから撮影を行った際の画像変換方法については、基本試験で用いた方法に準ずる。図-11に、画像変換例を示す。変換後の画像を用いることで、各マーカーの高低変位を求めることができる。

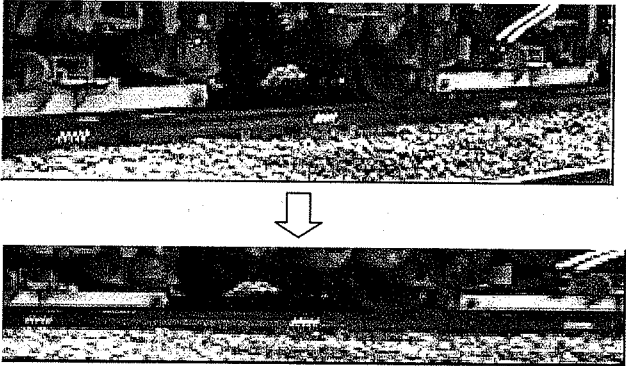


図-11 画像変換例

2. 4. 3 試験結果

画像変換後の画像では、1画素当たりおよそ1mm相当となった。そこで今回軌道の鉛直方向の変位についても、およそ1mmの精度で求めることができた。

図-12は当社における軌道整備基準値のひとつである、軌道の高低狂いの概念図である。今回得られた複数のマーカーの垂直方向の変位データを用いて、データ収集範囲の中心地点における軌道の高低狂いを求めることができる。

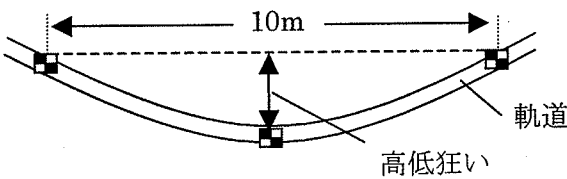


図-12 高低狂い

今回開発した手法の妥当性を確認するために、本手法によって計測された高低狂いと、軌道検測車によって計測された高低狂いとの比較を行う。表-2で、図-10に示したような4つの計測点に設置したビデオカメラの画像を解析して求めた高低狂いと、各地点における軌道検測車による値及びそれらの差を示す。

表-2 軌道検測車データとの計測値の比較

計測点	軌道検測車データ (mm)	画像解析データ (mm)	計測値の差 (mm)
①	5.6	3.6	2.0
②	6.3	5.6	0.7
③	-6.2	-5.4	-0.8
④	-4.0	-3.6	-0.4

※+：軌道が上に凸の状態

計測値の差について見てみると、計測点②～④では1.0mm以内の差となっており、軌道検測車データとの高い一致を示した。高速軌道検測車による値が真値であるとは限らないが、今回開発した手法が、現在の高速軌道検測車を用いた計測に代用できる可能性があるということが言える。

なお、表-2に示したような計測値の差が生じる原因としては、下記のようなものが考えられる。

a) 軌道検測車データに示されているキロ程と、実

際のキロ程が一致していない。

b) デジタルビデオカメラによって撮影された画像は、毎秒30コマの静止画として記録されているため、画像解析の際に、列車の車軸がちょうど計測点上に載った時の画像をキャプチャーできていない。

このうちb)の点については、今後より高性能なデジタルビデオカメラの市場に出回る可能性があるため、解決可能であると考ええる。

また、各計測地点における計測値の差について比較してみると、計測点①における値が他のものよりも大きく出ている。この点については、計測点①の足場が不安定であったためにこの地点のデジタルビデオカメラが列車振動の影響を大きく受けており、そのため計測誤差が大きくなり、計測値の差が2.0mmと他に比べて大きくなった可能性があると推測されるが、他の計測点を見る限りは、列車振動の影響さえ受けなければ計測精度には問題ないということが言える。列車振動の影響を大きく受けるような場合には、軌道から距離が離れたところにデジタルビデオカメラを設置し、ズーム撮影を行うことで、列車振動の影響が少なくなるものと考ええる。

3. おわりに

本稿で述べた新たな計測手法により、軌道の動的な高低変位について実用可能な精度で簡便に求められることを確認した。

この計測手法について、今後データの収集・解析などを自動的に行うようなシステムとすることで、現場において自動的に軌道の動的な高低変位を求めることができるよう検討する。

<参考文献>

- 1) 山田徹，桑原清，渡辺泰孝：鉄道近接工事における軌道変位計測，第30回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，2003.3.
- 2) 桑原 他：近接工事における軌道・構造物の計測管理手法，平成14年鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，2002.11.
- 3) 東日本旅客鉄道(株)：無徐行(徐行速度向上)のための構造物の設計・施工の手引，1997.4.