

## 運用性に着目した橋梁のたわみ計測システムの開発

株式会社ビーエムシー	正会員	○岡本 陽介
株式会社ビーエムシー	正会員	杉崎 光一
株式会社ビーエムシー	正会員	阿部 雅人
東日本旅客鉄道(株)	正会員	高橋 天平

### 1. 目的

鉄道橋の変位計測は初回検査等ニーズが多い<sup>1)</sup>。一般的に利用されているものは、ひずみゲージを付けたリングと橋桁をピアノ線で結びつけて計測するリング式変位計である。ただし、変位方向と垂直になるような固定点を有するため、河川上や道路上等、計測環境によっては利用できない場合が多い。本研究では、数十メートル遠方からのターゲットを撮影して画像解析により変位を求める光学式変位計の改良と、加速度計を利用した変位推定結果について報告する。システム開発においては運用性に着目したので、合わせて検討結果を示す。

### 2. 運用性に着目した光学式変位計の改良

光学式変位計は、計測対象物にターゲットを設置し、数十メートル離れた遠方からカメラで撮影し画像解析により変位を求める方法である。既存のシステムに対して表-1のような改良を行っている。特に、設置の容易性、ターゲット探索速度の向上等の迅速性、計測結果をリアルタイムで確認できる等の確実性、計測ニーズによってアルゴリズムを簡易に変更できる拡張性など、運用性に着目した改良を行った。

### 3. 加速度計測によるたわみ推定

加速度応答から変位を推定する場合、2階積分を用いる方法が考えられるが、雑音や誤差によって推定値の信頼精度が大きく低下することが指摘されている。特に、低振動数の雑音は加速度センサの原理上大きくなることが知られている。本手法は、連行荷重の周期的な外力特性を利用した推定方法であり、加速度センサにより計測が可能な振動数帯の応答から推定する方法となっている<sup>2)</sup>。運用性に着目すれば、固定点を必要としない慣性計測のため、センサ設置が容易であり、変位換算することで判断基準が明確であることが挙げられる。また、センサを橋桁下フランジに設置すれば、軌道上の作業を必要としない。上フランジに設置する場合は、橋側歩道を利用して簡易に設置できるため、検査時に設置するなど可搬的な利用も可能である。また、列車支障や第三者への影響がなく設置できるため、長期的なモニタリング方法としても利用が期待される。

### 4. フィールド試験による検証

上路プレートガーダー橋で計測を行い、光学式変位計については既存のシステムとの比較、加速度計によるシステムは光学式変位計との比較や支点沈下対策前後で計測して妥当性を検討した。光学式の比較結果が図-2であるが、計測条件の制約から、光学式変位計のターゲットは桁ではなく、橋側歩道へ設置している。光学式変位計のサンプリング振動数は、既存 30Hz、新システム 50Hz と大きく違わないが、フレームレート等の違いにより振動数特性は相違する。新システムの波形にカットオフ 5Hz でローパスフィルタ処理を行った結果、類似した波形を得られた。図-3には加速度応答から橋桁のたわみを推定した結果であるが、最大で 7mm 程度で、図-2 に示した橋側歩道の最大沈下量と同程度である。推定結果は全ての列車で安定しており、支点変位量の変化において、たわみも 1mm 程度変わっており、推定精度は確保できていると考えられる。また、本手法は列車速度を推定でき(図-3 右)、データを蓄積すれば、たわみと荷重特性の関係を統計的に検討できる。

### 5. まとめ

たわみ計測システムについて、既存の光学式変位計の改良と加速度センサによる推定方法を提案し、現地計測データにより検証した。ニーズの大きい鉄道橋のたわみ計測に関して、運用性の高いシステムを構築できた。

キーワード 画像計測, 初回検査, たわみ, 鉄道橋, 慣性センサ, 運用性

連絡先 〒261-7125 千葉県美浜区中瀬 2-6-1 株式会社 BMC TEL 043-297-0207



図-1 左：光学式変位計システム概要 右：現地計測設置状況とターゲット例

表-1 運用性に着目した光学式変位計の改良点

項目	内容
簡易性	パソコンを LAN ケーブルでカメラに接続するだけの簡易な配線仕様
多機能性	デジタルカメラの採用で、フレームレートとサンプリング振動数が連携するため、対象物の振動成分にナイキスト振動数以上の応答がなければ振動解析が可能である。
確実性	リアルタイムでデータ確認ができるように、解析のリアルタイム性を重視してモノクロカメラを採用した。また、撮影時に画像解析の探索状況を確認できるように、システムの画面に表示するようにした。
迅速性	ターゲットの探索においては視野が広い方がよく、分解能を確保するためには実距離/焦点距離を短くする必要がある。このため、焦点距離を変化できるズームレンズを採用し、既存システムの分解能を下げずにターゲットの探索速度を向上した。また、探索をより容易にするために、微調整が可能な雲台やズームレンズの絞りを変更できるようなものを採用した。
環境性	計測の良し悪しとして重要となるのが、撮影時のカメラ固定であるが、高性能な三脚を採用することで、固定を確実にし、また傾斜した場所や凹凸のある場所等でも設置可能とした。また、既存のターゲットは視認できない赤外線を利用していたが、背景とのコントラストを向上することや、視認性を高め、夜間時などでも探索が容易になるように LED を採用した。
拡張性	既存のシステムの計測では 1 点を追跡して変位を出していたが、本システムでは 3 点を追うような仕様とした。これにより、ニーズに応じて対象物の回転等も計算することが可能となった。

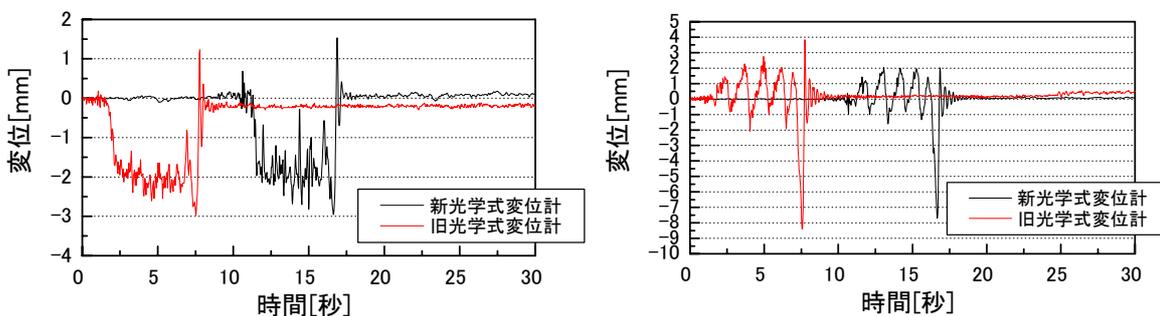


図-2 変位計測結果 (左：X橋軸直角方向 右：Y鉛直方向)

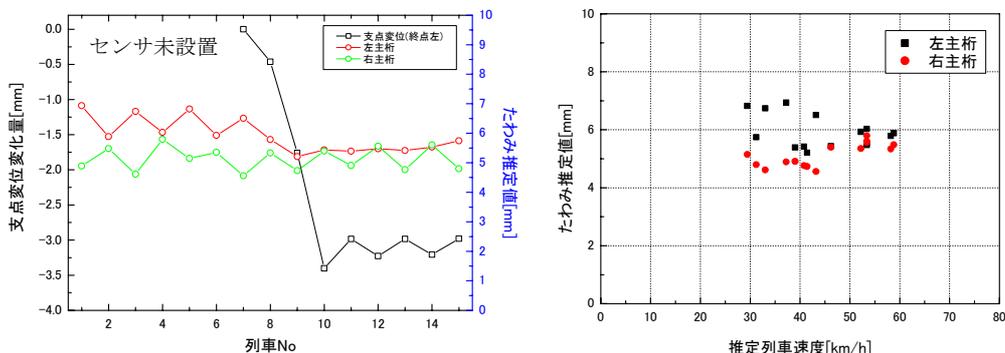


図-3 加速度センサによる変位推定結果 (左：支点変位変化量との関係 右：推定速度との関係)

参考文献

- 1) 高橋康将, 坂本保彦, 御崎哲一, 内田修, 近藤健一, 小野徹: デジタルカメラを用いた非接触式たわみ測定手法の開発, 第 16 回鉄道工学シンポジウム, 2012.7
- 2) 阿部雅人, 藤野陽三: 不規則外力に対する加速度記録からの最大応答変位推定, 土木学会論文集 A, Vol. 66, No. 3, pp.477-490, 2010.