

映像処理技術等を活用した橋りょう挙動把握の精度検証について

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○松尾 賢、小林泰一郎、八嶋 宏幸
 公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 松岡 弘大、上半 文昭
 パナソニック株式会社 日下 博也、今川 太郎、野田 晃浩

1. はじめに

橋りょうには、時にランドマークとなる象徴性を有した設計が求められる一方、経済性や施工性を重視し標準設計されたものまで多様な設計がある。近年は、使用環境に応じた解析により、その挙動を設計時に把握できる。しかしながら、供用中の橋りょうについて、特に構造全体としての実挙動を把握することは容易ではない。

近年の高画素・高速度映像撮影技術および映像処理技術により列車通過時の橋りょうの全体挙動把握に関する検討が進められている。本件では、このような光学式変位測定技術の信頼性に関する検討の一環として、列車通過時における橋りょうの変位測定精度の検証と課題把握を行った。

2. 目的

供用中の橋りょうの維持管理において、光学式変位測定技術をたわみ計測手法の一つとして活用できるか検証することを目的とした。

具体的には、ノンターゲットでの光学式変位計（以下、P システム）、ターゲット式の光学式変位計（以下、B システム）、非接触レーザー変位計¹⁾（以下、U ドップラー I）およびリング式変位計（以下、リング式）での同時測定を行い、P システムの測定精度確認及び、挙動把握における課題の洗い出しを行い、併せて各種測定機器の測定精度を比較した。



図-1 対象橋りょう

3. 計測内容

3-1. 対象橋りょう

対象橋りょう（図-1）は長野市内の河川に架かる在来線用の鋼デッキガータ橋（図-2）であり、4連目を測定した。

選定理由として、当該橋りょうの桁下は河原となっているとともに、高さも 3.2m 程度であり、桁下空間の必要なリング式変位計の設置が可能である。また、挙動が比較的単純な単線の単純桁形式であり、精度検証に適した橋りょうと考えた。

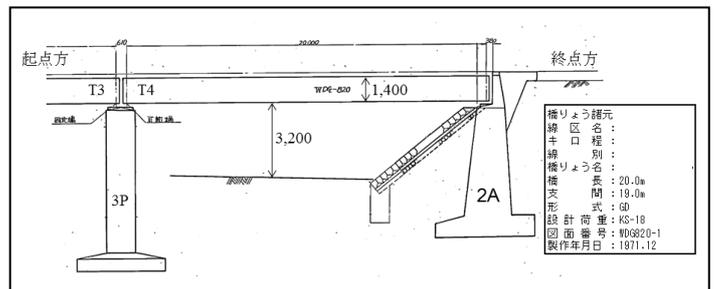


図-2 橋りょう緒元及び一般図抜粋

3-2. 測定方法

比較測定は、4種類の計測システムにて実施し、各変位計の概要を表-1に示し、設置状況を図-3に示す。Pシステム以外は、支間中央にて測定し、Pシステムは4連目全体の測定を実施した。

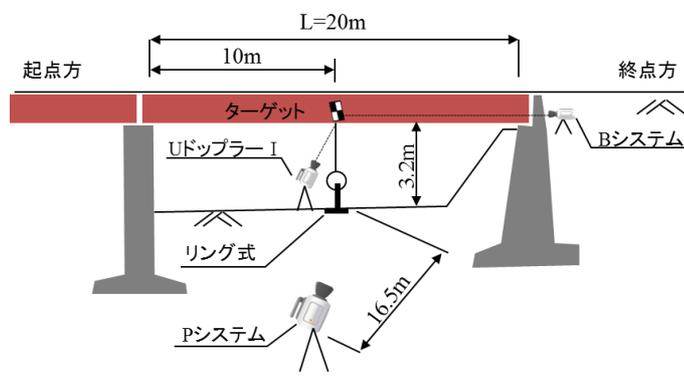


図-3 測定機器の設置状況

表-1 変位測定システムの概要

測定システム	変位測定原理	備考
リング式変位計	ピアノ線とリング式ゲージにより橋りょう変位を測定	接触式
Uドップラー I	レーザードップラー速度計の結果を積分し変位を算出	非接触 (反射シール有)
Bシステム【光学式】	橋りょうに設置したLED式ターゲットの画像を測定画像処理により変位を算出	非接触 (ターゲット有)
Pシステム【光学式】	撮影した映像内の空間的特徴量からノンターゲットで任意箇所の変位を算出	非接触 (ノンターゲット)

キーワード 映像処理技術、光学式変位計、非接触式変位計、リング式変位計

連絡先 〒380-0935 長野県長野市中御所 1-8-13 東日本旅客鉄道(株) 長野土木技術センター 026-224-3378

4. 現地計測結果の比較

4-1. 補正前の現地測定結果の比較

図-4 に各測定手法により得られた変位波形を示す。

通過列車は6両編成であるが、各車両通過時に増大する変位応答を概ね同様に測定できていることがわかる。

リング式の測定結果では、列車進入時と列車退出時に若干のノイズ成分が見られた。これらのノイズは変位計の固定や橋りょうへのピアノ線の固定に際して生じたものと推測される。

UドップラーIの測定結果では、リング式と比較したところ、補正を行わなくても精度よく一致することが確認できた。

Bシステムの測定結果では、列車通過後に変位が0に戻らなかった。これは、カメラ自体の揺れや傾きなどに起因した若干のドリフト成分の混入で生じたものと考えられる。

Pシステムの測定結果では、各車両通過時の変位波形が他の測定結果よりも若干大きい傾向を示している。Pシステムは、映像上の構造物寸法と画素の対応から校正値を算定しており、今回は補剛材間隔(水平方向)に基づき校正値を算出した。これにより、画像縦横の異方性に基づく誤差とともに、列車通過に伴う照度の変化に起因した見かけ上の変動成分の混入も誤差として混入しているものと考えられる。

4-2. 補正後の現地測定結果の比較

Bシステム及びPシステムを補正し、再度比較したところ、図-5 に示す通り、リング式及びUドップラーIの測定結果と精度よく一致することが確認できた。また、表-2 から補正することにより最大変位の誤差を低減できることが確認できた。このことより、各変位測定手法は、ドリフト成分や校正に留意が必要であるが、列車通過時の最大変位測定の実務に利用できるものと考えられる。

5. Pシステムによる桁全体挙動の把握

Pシステムでは、ノンターゲットで任意箇所の変位測定が可能であり、列車通過時の桁全体の動的挙動の把握に活用できる可能性がある。ここでは、桁長手方向に44点計測点を配置することで、列車走行時の桁全体挙動の可視化を行った。図-6 は各計測点の変位を画像上に変位形状として示す。同図には矢印で車軸の位置を示しており、車軸の位置に対応した桁のたわみ形状の変化を読み取ることができる。

ただし、得られた変形形状には隣接計測点で値が大きく変化する箇所が見られる。これらの箇所では桁構造の大きな変化は確認できていないことから、映像処理に際して何らかの誤差が混入したものと推察される。このような誤差の混入原因と低減手法、更には得られた多点変位データから構造性能を評価するための分析手法に関しては、今後更なる検討を進める必要がある。

6. おわりに

本検証より、Pシステムによる変位測定は、補正処理を行う事でリング式との測定誤差が最大変位で2%以内の精度で実施できることを確認した。今後の用途として、ノンターゲットで測定できるメリットを活かし、桁下への立ち入りが難しい橋りょうの変位測定や、列車載線位置に応じた桁全体の挙動を可視化することで、社員等の教育資料として即効性がある。また、更なる開発と検証を進めることで、構造物の状態評価等、維持管理の効率化に寄与できる可能性があると考えられる。

参考文献

1) 上半文昭：構造物診断用非接触振動測定システム「Uドップラー」の開発，鉄道総研報告，Vol.21, No.11, pp.17-22, 2017.

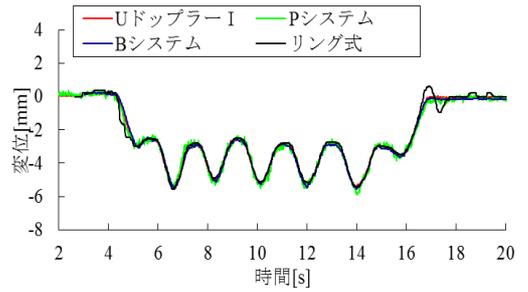


図-4 各手法による変位波形(補正前)

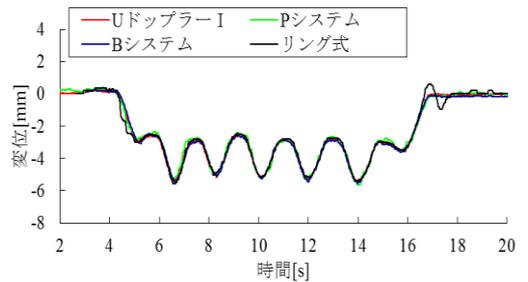


図-5 各手法による変位波形(補正後)

表-2 列車通過時の最大変位

測定手法	測定値 [mm]	誤差 [%]	補正後 [mm]	誤差 (補正) [%]
リング式	-5.548	0	—	—
UドップラーI	-5.466	-1.4	—	-1.4
Bシステム	-5.830	5.1	-5.629	1.5
Pシステム	-6.270	13.0	-5.643	1.7



図-6 桁全体挙動の表示