

3602 鉄道鋼橋の異常検知手法の基礎検討

正 [土] ○栗林 健一 (東日本旅客鉄道株式会社) 正 [土] 露木 寿 (東日本旅客鉄道株式会社)

岡本 陽介 (株式会社ビーエムシー) 杉崎 光一 (株式会社ビーエムシー)

Fundamental Study for the monitoring of railway plate girder bridge

Kenichi KURIBAYASHI, East Japan Railway Company

Hisashi TUYUKI, East Japan Railway Company

Yosuke OKAMOTO, Bridge Management Consultant

Kouichi SUGISAKI, Bridge Management Consultant

Health monitoring is expected to improve efficiency and reliability of maintenance of infrastructure. Displacement is the key parameter because it's closely related to structural performance. In this paper, field test has been executed at a plate girder railway bridge to know the behavior of a bridge with measuring displacement of girder. And the affection of the displacement value depending on the bearing condition is suggested. Then to consider the practical monitoring method to compare result of displacement measurement with measurement data by accelerometer which can readily be done for wide variety of situations.

Keywords: 鋼鉄道橋, 下路桁, 変位, モニタリング, 加速度計
Steel railway bridge, Through girder, Displacement, Monitoring, accelerometer

1. はじめに

社会資本のストックの増加にともない、老朽化した構造物の維持管理が重要となってきた。構造物を維持管理する上で、検査の強化と効率化が必要となっており、ヘルスマニタリングが期待されている¹⁾²⁾。

性能評価を行うためには、構造物全体の挙動を把握する必要がある。例えば鋼橋では、指標の一つとして変位がよく利用されている。しかし、変位計による計測は鋼橋の性能の一つを表すたわみを直接測定できるというメリットがあるが、対象となる固定点が必要となる。例えば河川上にある橋りょうの主桁支間中央部で計測を行う場合は固定点の取り方が難しい。このように支間中央部で変位計を利用したモニタリングには課題がある。

本研究では、鋼橋のモニタリングとして、桁下に固定点が必要な慣性計測に着目した。また、これまでの鋼鉄道橋の慣性計測(加速度計等)に関する研究では、上路プレートガーダーに適用し計測を行っている³⁾。そこで、下路プレートガーダーを対象として、慣性計測によるモニタリング方法の検討を行うための基礎的データの収集を行ったので、報告を行う。

2. 計測概要

計測対象と計測方法を以下に示す。

2.1 計測対象

計測対象橋梁は、1965年に架設された3主桁下路プレートガーダー形式の橋梁1連から成る。支間19.2mの溶接構造の橋梁であり、起点方が固定沓であり、終点方が可動沓である。なお、左主桁に橋側歩道が設置されている。下部工については、1965年に竣功されたコンクリート造の橋脚であり、直接基礎形式である。橋梁諸元について表1にまとめる。

この橋梁の終点方中主桁支点部のソールプレートと沓との間に隙間があり、列車通過時に3mm程度の支点沈下がある。また、終点方右主桁の沓直下にはゴムパッキンが設置されており、1mm程度の沈下が見られる。一方、起点方では、中主桁および右主桁の沓座が打ち替えられているが、打直した沓座と既設の桁座との縁が切れているといった変状が見られる。

2.2 計測方法

主桁支間中央部・支点のそれぞれの変位に着目し、橋桁に慣性計測である加速度計を設置し計測を行った。計測項目および測点の詳細は表2のとおりである。具体的な計測方法としては、図1に示すように、主桁支間中央部にリング式変位計を設置し、鉛直変位および橋軸直角方向変位を計測した。支点部にはダイヤルゲージ式変位計を設置して計測を行った。加速度計は主桁支間中央部および横桁中央部に設置して計測を行った。また、本計測では支点沈下のある終点方の中主桁支点部にライナープレートを挿入する前後で計測を行った。ライナープレートは0.5mm単位で数段階的に挿入した。なお、ジャッキアップは行っていない。

表1 橋梁諸元

諸元項目	内容
製作年	1965年
形式	下路プレートガーダー
支間	19.2m
支承	小判型支承
下部工	鉄筋コンクリート
基礎	直接基礎

表 2 計測項目および測点

計測項目	対象	点数	センサ
支間中央変位	左右中主桁	4 方向×3	リング式変位計
支間中央加速度	左右中主桁	3 軸×3	サーボ型加速度計
	横桁	3 軸×2	
支点部変位	終点方 起点方	2 方向×3	ダイヤルゲージ式変位計
温度	気温	1 点	熱電対

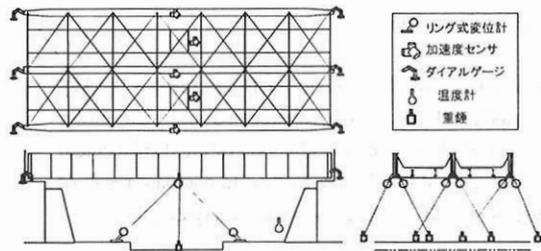


図 1 センサ位置図

3. 計測結果

支点変位および加速度計測結果を以下に示す。

3.1 支点変位の測定

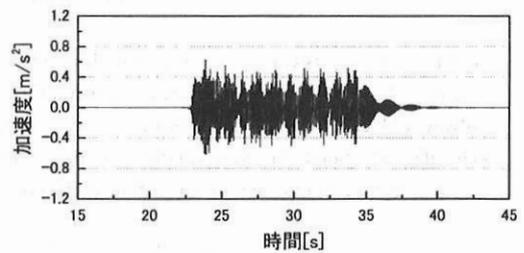
本計測では、変状(支点沈下)がある状態と無い状態において計測を行った。上りは中主桁と右主桁間を通過し、下りは中主桁と左主桁間を通過する。図 2 にライナープレート挿入による支点変位の変化を示す。図のデータは最大変位であり、図中に示す点線の間でライナープレートを挿入した。なお、変位波形については、本橋梁は 2 線 3 主桁のため、上下線各 1 列車ずつ波形を示す。

図よりライナープレートを挿入することにより終点方中主桁では 3mm 程度の支点変位が 0.5mm 程度の沈下となっており、上り通過時には右主桁と下り通過時には左

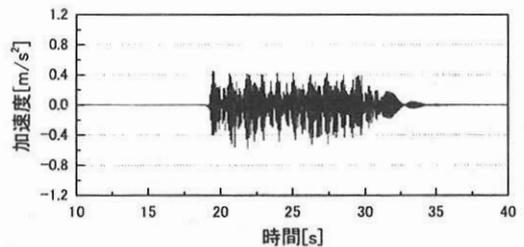
主桁と同等の支点変位となっている。また、ライナープレート挿入前には列車が通過していない側の主桁(上り通過時には左主桁、下り通過時には右主桁)に支点変位が確認されるが、ライナープレート挿入後は支点変位がほぼ解消されていることがわかる。今回は桁をジャッキアップせずにライナープレートを挿入したので多少の支点変位が残っているもののバランスが良くなったものと判断できる。

3.2 加速度計測結果

図 3 に中主桁支間中央の列車通過時の鉛直方向加速度応答をライナー挿入前後で示す。ライナープレートを挿入することによる有意な差を確認することができない。

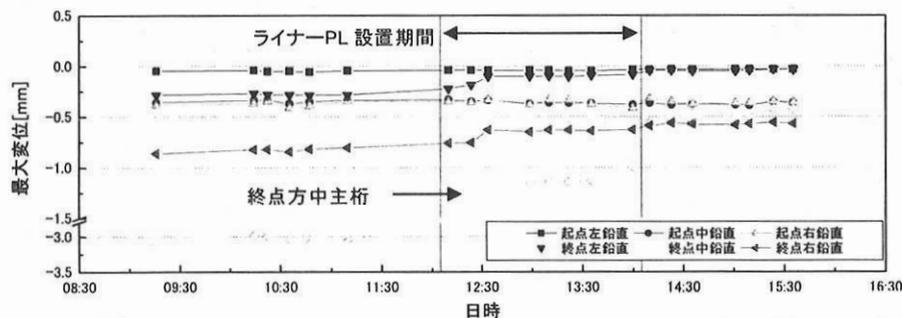


(a) ライナープレート挿入前

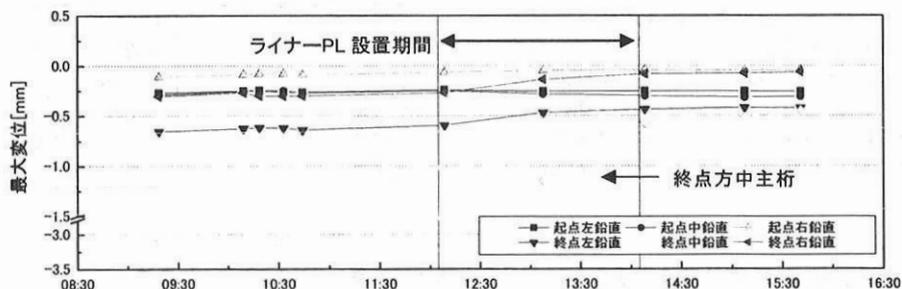


(b) ライナープレート挿入後

図 3 鉛直方向加速度波形

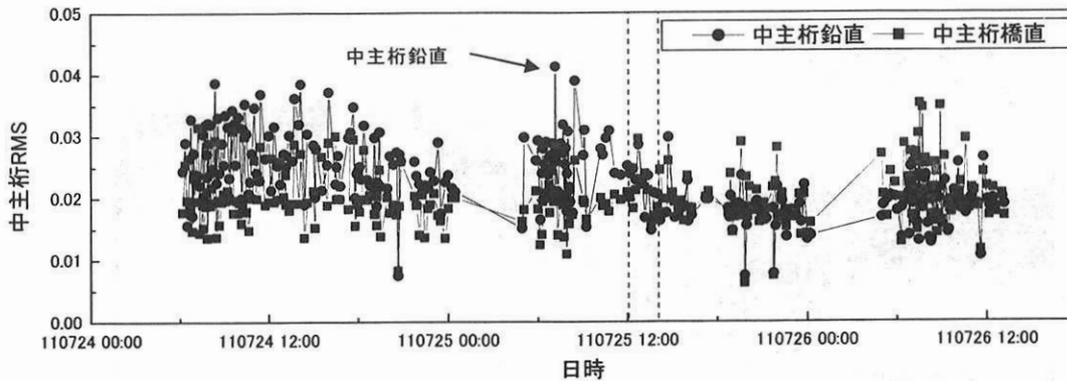


(a) 上り通過時

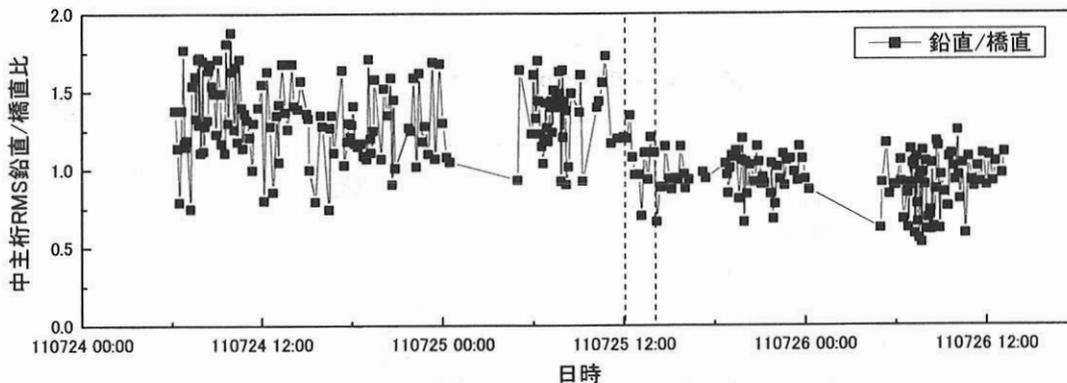


(b) 下り通過時

図 2 ライナープレート挿入前後支点変位の変化



(a) 中主桁加速度応答 RMS



(b) 中主桁加速度応答鉛直/橋直 RMS 比

図4 中主桁加速度応答 RMS 変化

加速度応答の変化をみる上では、まずは最大値を評価することが考えられる。ただし、最大値の場合は荷重の条件により局所的に大きくなることもあるので、より安定的な評価をするため、本研究では標準偏差(RMS)を利用し評価することとする。非正常性のある波形において標準偏差を利用する場合は、波形を切り取る長さにより値が相違する。このため、本解析では100秒の切り取り波形を常に利用することとする。また、振動数成分に着目する場合は、ローパスフィルタをかけた上で、標準偏差を取ることで、振動数成分を考慮した加速度応答の変化を捉えることができる。なお対象橋梁は2線3主桁であるため、列車進行方向により応答が相違する。このため、列車が上りを通じたのか、下りを通じたのかを応答波形から判別することが応答を評価する上で重要となる。本研究では、左右主桁の加速度応答を利用して通過列車が上りか下りかを判別する。

図4の(a)は中主桁の列車通過時の鉛直方向・橋軸直角方向の加速度応答のRMS算出結果である。図中に示す点線の間でライナープレートを挿入した。なお、列車通過時の加速度応答には高振動数成分が多く、支点沈下の有無による変化を捉えるため、および5Hz以下の振動数成分が構造物へ影響を与える⁴⁾という知見を参考に5Hzでローパスフィルタ処理を行っている。(a)より支点沈下による影響を鉛直方向の加速度応答では傾向を把握できるが、橋軸直角方向の応答では確認できない。

図4の(b)は鉛直方向と橋軸直角方向の加速度応答のRMSの比を算出した結果であるが、鉛直と橋軸直角方向の応答の比をとることで、(a)の鉛直方向のみの場合より、支点沈下の影響を明確に確認することができる。従

って、橋軸直角方向では列車荷重の違いによる振動数成分の差がライナーの影響よりも大きいことが原因として挙げられ、鉛直方向と橋軸直角方向の比を取ることで荷重の条件を考慮した支点沈下の影響を評価できているものと推察される。これらの結果から支点沈下による局所的な損傷が支間中央の加速度応答に影響することがわかった。

図5に中主桁の鉛直加速度の列車応答および微動応答を利用して固有振動数を推定した結果を示す。なお、固有振動数は、計測波形を20秒ごとに切り出して、RMSの大きさを列車波形を判別・除去して、20秒の微動応答波形で1個の固有振動数を推定している。微動応答は外力の特性がランダムに近いと考えられるため、不規則振動理論を応用した同定方法を適用した⁵⁾。図より、微動による推定値が安定していることがわかる。列車応答を利用する場合は、列車荷重の特性が影響するため、値がばらばらになっていることが見て取れる。ライナー挿入前後で固有振動数が上昇している事が見て取れ、支点の境界条件といった局所的な影響が固有振動数という橋桁全体挙動に影響していることが確認できる。これは、ライナープレートを挿入したことにより、桁と沓との接触が改善されたことによるものと考えられる。

図6に各主桁の固有振動数の推定値のヒストグラムを示す。この結果から、固有振動数の変化は平均値などの統計量によって安定的に評価できる可能性があることがわかった。固有振動数の変化は、支点沈下のある中主桁の応答だけでなく、いずれの主桁でも捉える事が確認できた。

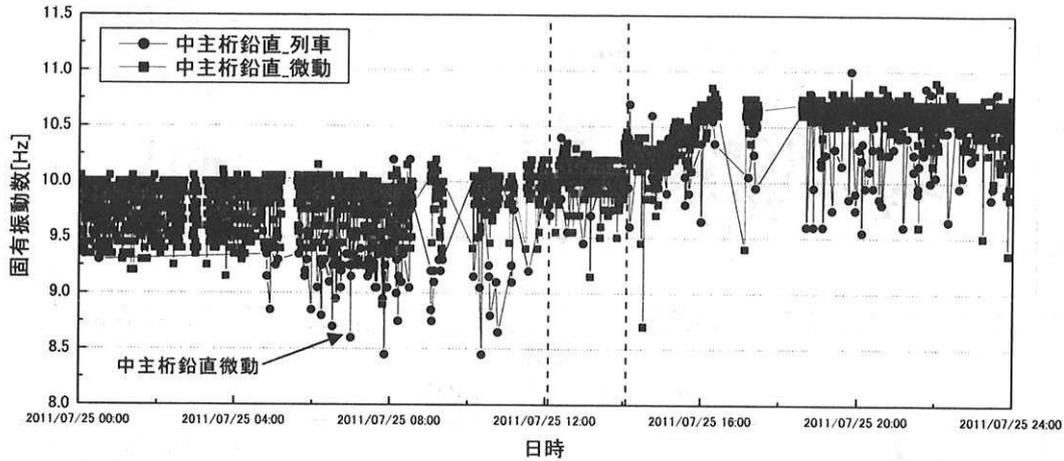


図5 固有振動数の推定結果

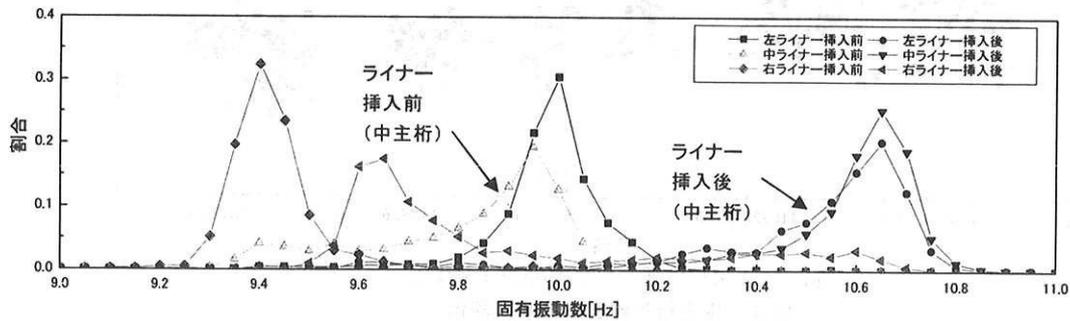


図6 推定固有振動数のヒストグラム

4. まとめ

本研究では下路プレートガーダーを対象として、慣性計測によるモニタリング方法の検討を行うための基礎的データの収集を行った。その結果を以下に示す。

- 主桁支間中央の鉛直加速度応答に支点沈下による局所的な損傷が影響することがわかった。また、鉛直加速度応答と橋軸加速度応答の RMS 比をとることで支点沈下の影響を明確に確認することができた。
- 支点の境界条件といった局所的な影響が固有振動数という橋桁全体挙動に影響していることが確認できた。
- 固有振動数を評価する上で、列車応答による推定値より微動応答による推定値の方が安定していることがわかった。
- 固有振動数の変化は平均値などの統計量によって安定的に評価できることがわかる。
- 固有振動数の変化は、支点沈下のある中主桁の応答だけでなく、いずれの主桁でも捉える事ができることが確認できた。

これらの結果をモニタリングの観点から考察すると、本計測において主桁支間中央部に加速度計を設置し計測を行い、変位計の計測結果を含め、いろいろな指標を比較することによって支点の沈下の有無を確認することができ、下路桁という複雑な構造形式にも慣性計測を利用したモニタリング手法の適用が可能であることが確認できた。加速度計などの慣性計測は固定点が必要としない

ため、ヘルスマニタリングを行う上ではシステムを簡略化することができ、大変有用であると考えられる。

一方で、これらの指標値に対してしきい値を設定するまでには至っていない。今後は、より長期的な計測により、指標値の変化と性能低下の関係について把握していきたい。

参考文献

- 1) 社団法人土木学会：橋梁振動モニタリングのガイドライン，2000
- 2) 堀合聡，杉崎光一，阿部雅人，阿部允，増井洋介：変位に着目した鋼鉄道橋のモニタリングに関する基礎的研究，鋼構造年次論文報告集第18巻，pp595-602，2010-11
- 3) 堀合聡，杉崎光一，阿部雅人，阿部嘉貴，三宅浩一郎：慣性計測による鉄道橋のモニタリング，鋼構造年次論文報告集，19巻，617-624頁，2011. 11
- 4) 中村豊：地震動指標間および被害との関係，日本地震工学会論文集，7巻，2号，235-249頁，2007. 3
- 5) 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