

鋼橋支点沈下のモニタリングシステム構築にむけた検討

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○栗林 健一
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 露木 寿
 東日本旅客鉄道株式会社 フェロー 堀山 功
 オムロンソーシアルソリューションズ株式会社 正会員 中尾 寿朗

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onitoringの導入が期待されている。鉄道橋りょうの中で最も老朽化が進んでいる鋼橋では、支点部付近の変状が最も多く確認されている。特に支点沈下の発生は周辺部材の亀裂を急激に進展させる恐れがあり、列車運行の安全性に影響を及ぼす可能性がある。

これまでの検討¹⁾により、鉛直変位や加速度が支点沈下のモニタリング指標となりうる可能性があることを確認することができた。本研究では、小型化や省電力化また低コスト化が期待できるセンサを用いて、実橋りょうでの測定を行い、鉛直変位や加速度を指標とするモニタリングシステムの構築に向けた検討を行った。

2. 測定概要

2.1 使用機器

これまでの検討¹⁾では、変位センサには接触式変位計、加速度センサにはサーボ型加速度計を使用してきた。本研究では、今後の実運用を考慮し、小型化や省電力化また低コスト化が期待できるセンサを選定し、現地での測定などにより精度等の確認を行った。またモニタリングシステムに必要な無線技術については、橋りょう各部位や周辺で電波強度の確認を行った。表 2.1 に主な使用機器を示し、現場で設置した状況の一例を図 2.1 に示す。

2.2 測定対象

測定対象は、2 主桁上路プレートガーダー形式の橋りょう 1 連からなる。終点方の右主桁の隅角部の支点部（以下異常箇所）のソールプレートと杓との間に隙間があり、列車通過時に 3mm 程度の支点沈下が確認された。終点方の左主桁の鋭角部の支点部には支点沈下は確認されなかった（以下正常箇所と示す）。

また、測定項目は支点部付近の鉛直変位と加速度とした。なお、測定期間は、事前確認試験を除いて、変位計測および加速度計測を合計 35 日間実施した。（連続 20 日＋連続 15 日）

3. 測定結果

3.1 鉛直変位

鉛直変位の測定は、従来から使用してきた接触式変位計に加え、省力化および小型化が期待できる光電反射型変位計および近接電磁型変位計を使用した。光電反射型変位計および近接電磁型変位計とも接触式変位計と同等の測定結果であった。測定結果の一例を図 3.1 に示す。

光電反射型では検知距離は最大 20cm 程度まで離れた箇所からも測定可能であるというメリットを有する。しかし光学的な反射物体に反応する特性のため、悪天候時に水分が飛沫する支点付近の環境下では反射板に水

表 2.1 各使用機器など

変位センサ	接触式変位計
	光電反射型変位計
	近接電磁型変位計
加速度センサ	サーボ型加速度計
	MEMS 加速度計
無線	2.4GHz 帯 (ZigBee)
	920MHz 帯 (IEEE802.15.4g)

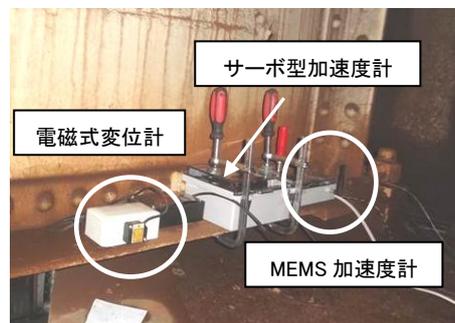


図 2.1 使用機器設置の一例

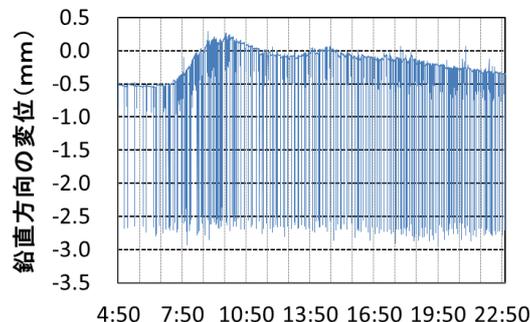


図 3.1 変位計の測定結果(電磁式)

キーワード 鋼橋, 支点沈下, モニタリング, 伝送頻度

連絡先 〒331-8513 さいたま市北区日進町 2 丁目 479 番地 JR 東日本 研究開発センター テクニカルセンター

滴が付着して変位計測を誤る結果も確認された。一方で、近接電磁型は測距範囲が 7mm 以下という制約を受けるものの、光電反射型に比較すると耐久性（粉塵など）が優れていることから、鉛直変位センサは近接電磁型を基本とした。

3.2 加速度

1) MEMS センサの評価

従来から使用してきたサーボ加速度計と省力化および小型化が期待できる MEMS 加速度計について比較を行った。試験室測定では結果が一致したものの、現地測定では値に差異が確認された。調査の結果、高周波成分の折り返しによる影響（ナイキスト条件）を受けていることが判明したため、回路変更の対策により改善を図った。再測定の結果、波形の差異はおおむね解消したことを確認したことから、加速度センサは MEMS 加速度計を基本とした。

2) 異常検知指標としての評価

電車通過時の振動を FFT 解析することで得られる周波数成分から正常／異常の峻別を試みた。図 3.2 に支点沈下の有無の違いによる測定結果の一例を示す。異常個所では低周波数域（今回のケースでは 20Hz 程度以下）の強度成分が減少し、さらに高周波数域（今回のケースでは 20～60Hz 程度）の強度成分が増加する傾向が確認できた。今後は、橋りょうの構造形式、列車種別などの違いを条件とした測定データを積み重ねることで、異常検知指標としての確立を目指す。

3.3 無線

2.4GHz 帯および 920MHz 帯で通信が可能かについて測定を行った。橋台天端部に基地局を設置し、橋りょうおよび周辺で測定を行った。両方とも通信の目安である電波強度で 80dB 以上を確保できることを確認できた。また、920MHz 帯については基地局から直接見通せない主桁の裏側であっても 20m 以内の距離であれば概ね 80dB 以上であり反射、回り込みにより通信が可能であることが確認された。

4. 今後について

今後は、本研究で得られた知見（センサ・無線など）を組み合わせたシステムを複数の橋りょうで試験的に運用し、鋼橋支点沈下のモニタリングシステムの構築を目指す。

また、測定頻度および伝送頻度の違いにより 2 種類のモニタリングシステムの構築を目指すこととした。支点沈下はその程度の差にかかわらず周辺部材に影響を及ぼすことから常時モニタリングすることが望ましい。一方で支点沈下は長い時間をかけて徐々に増大していく場合が多いと考えられる。そこで、表 4.1 に示すように、支点沈下量を常時測定および常時伝送する「常時モニタリング」に加え、2 年ごとの

定期検査（全般検査）で 1 週間に 1 回程度の測定データを無線により回収を行う「定期モニタリング」の 2 種類とした。なお、定期モニタリングでは、コスト高の要因となる電源供給設備が不要なシステムを目指す。

参考文献 1) 栗林健一，露木寿，岡本陽介，杉崎 光一：鉄道鋼橋の異常検知手法の基礎検討，日本機械学会 第 19 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，2012-12

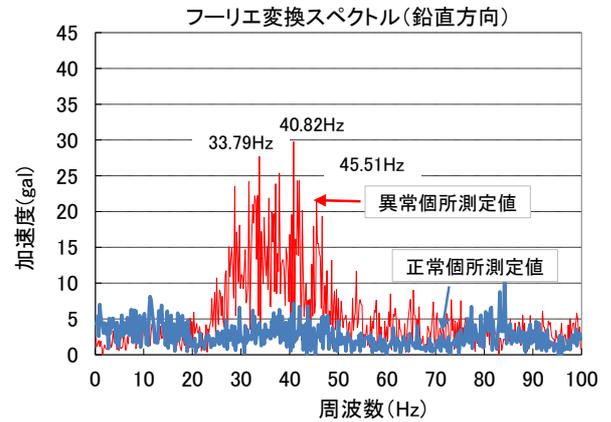


図 3.2 支点沈下の有無の違い

表 4.1 2 種類の鋼橋支点部のモニタリング

	定期モニタリング	常時モニタリング
伝送頻度	2 年ごと (現地で無線回収)	常時伝送
目的	全般検査 (2 年ごと) の補足	CBM (状態基準保全)
対象変状	支点沈下、可動不良	支点沈下、可動不良 部材変形など
対象	目視検査が困難橋りょう (架道橋、防塵板設置など)	要注意監視橋りょう
電源	電池もしくは振動発電	電源供給設備必要
測定頻度	1 週間に 1 回程度測定	常時測定
構成	子機付きセンサ → 〈無線 920MHz〉 → 携帯基地局 (専用 PC)	子機付きセンサ → 〈無線 920MHz〉 → 基地局 (各橋 1 機) → 〈無線 Wifi 等〉 → 設備管理部門