

鉄道鋼構造物のヘルスマニタリングに関する研究

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○鈴木 和学

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 吉川 正治

1. 背景と目的

当社の鉄道構造物は、歴史が古く明治大正時代に建設されたものも多い。鋼鉄道橋については、平均経年68年であり長期にわたり使用するために、的確な検査による損傷の早期発見が重要といえる。常時監視するヘルスマニタリングが構造物の損傷の早期検知と、これまで人間が行ってきた検査の代替手段として期待されている。本研究では、鋼鉄道橋での損傷多発箇所である支点沈下に着目し、損傷を捉える感度の良い指標と損傷を的確に捕捉できる最適な測定位置を明確にすることを目的とする。

2. 研究内容

大きな損傷につながる恐れのある支点沈下に着目し、支点沈下が発生している橋りょうで修繕前と健全となった修繕後での列車通過時の加速度を計測する。変位測定は固定点を必要とする制約がある。そこで、加速度から変位を推定することが可能¹⁾との過去の知見から加速度を採用する。損傷を捉える数値と計測器の最適な設置位置は明確になっていないことから多点計測を実施する。得られたデータの解析を行い支点沈下と相関がある指標を探る。

3. 計測方法

今年度修繕した橋りょうで計測を実施した(図1)。

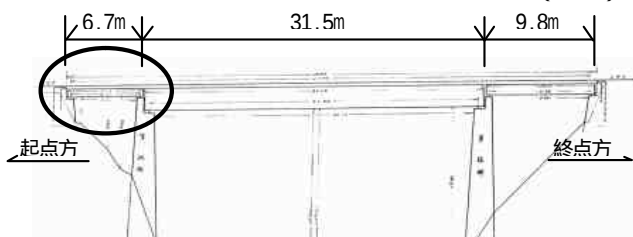


図1 橋りょう側面図

損傷は支点沈下であり、終点方の右支承部で4mm、左支承部で2mmの沈下が発生している。修繕は桁に補剛材を設置し沈下分だけ扛上させ、樹脂注入を実施した。加速度計は、主桁支間中央と主桁支承部上に配置し、対比できるようにダイヤルゲージとU-ドップラーを配置とした(表1)。計測に使用した測定機器は次の

キーワード 鋼鉄道橋、ヘルスマニタリング、加速度センサ

連絡先 〒980-8580 宮城県仙台市青葉区五橋 1-1-1 JR 東日本仙台支社設備部工事課 TEL022-266-9636

通り。加速度計(有線)は株東京測振のCV-373T、加速度計(無線)はXbow社のImote2、速度計は鉄道総研開発のU-ドップラー、変位計は株ミツトヨのダイヤルゲージにBMCシステムを測定器として用いたものを使用した計測列車は、修繕前8本、修繕後11本の計19本の計測を行った。

表1 設置測定機器及び箇所数

測定項目	測定対象	センサ種別	点数
加速度	主桁起点方左右	加速度計(無線)	3軸×2
	主桁中央左右	加速度計(有線)	3軸×2
	主桁終点方左右	加速度計(有線)	3軸×2
	A1橋台	加速度計(無線)	3軸×2
	P1橋脚	加速度計(有線)	3軸×2
速度	主桁中央右	U-ドップラー	1軸×1
	主桁中央左		1軸×1
変位	支承部付近	ダイヤルゲージ	1軸×4

4. データ解析

4.1 修繕前後の支点沈下の変化

変位測定は支承部から主桁支間中央側50cmの位置(以後支承部付近と記す)で主桁下フランジを変位計で測定した。桁座前面終点方左右支承部付近における修繕前後でのたわみ量の最大振幅比較を図2に示す。右支承部付近において平均値で修繕前3.8mmから修繕後1.7mmと小さくなっており修繕効果が確認できる。加速度の解析では、この修繕結果と加速度の相関を探った。左支承部付近においては支承下部の縁が切れているように見えたが、修繕前後の変位では変化が見られ

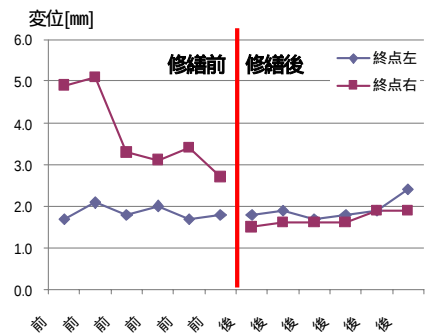


図2 たわみ最大振幅比較

ず、底部にてしっかりと支持されていたと推測できる。

4.2 加速度データ解析

加速度RMS値の比較

修繕前後における加速度RMS値を算出しその比較

を行った。RMS 値とは値のばらつきを見る指標である。右主桁での加速度 RMS 値比較を図3に示す。右主桁では、修繕前に対し修繕後ではすべての値が小さくなっており損傷との相関がみられる。損傷を示す指標として有効であり、支承部直上の主桁と主桁支間中央にて検知可能である。

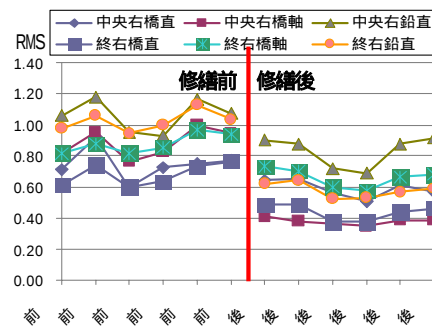


図3 加速度 RMS 値比較

フーリエ振幅スペクトルの比較

加速度は橋りょうの各部材それぞれの周波数の合成波であることから、修繕前後のフーリエ振幅スペクトルの比較を行い、周波数の変化がないか比較した。終点方右支承部鉛直方向のフーリエ振幅スペクトルを図4に示す。修繕前に対し修繕後は卓越する周波数が約25Hz上昇している。また、低周波数域におけるフーリエ振幅スペクトルを比較すると、修繕前に対し修繕後は4Hz～15Hzの帯域で周波数が無くなっている。これは、支点沈下発生により、支点がばたつくことによる自由振動が無くなったためと思われる。

指標としてフーリエ振幅スペクトルが有効であり、卓越する周波数の移動と低周波数域の成分の変化に着目し、支承部直上の主桁に加速度計を設置することで検知可能である。

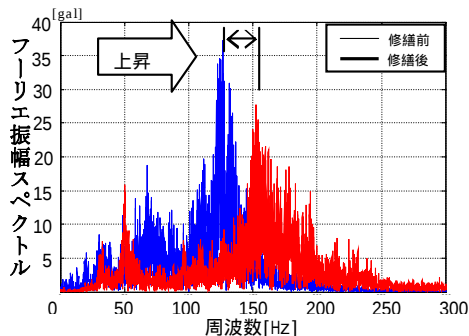


図4 フーリエ振幅スペクトル比較

右支承部沈下の影響を与える挙動の推測

終点方右支承部に支点沈下が発生することにより、沈下している損傷支承部直上の加速度鉛直成分の増大と隣接する支承部を軸とした橋軸直角方向側にかかる回転力が増大すると推測し、2Hzでのローパスフィルターを掛けたRMS値比較を行った。2Hzのローパスフィルターを掛けた理由として、列車からの振動入力パターンを考慮した。当該橋りょう通過時の列車平均速度68km/hでの代表的な列車振動パターンを表2に示

す。計測列車であるE721系と719系の輪軸間の距離は、1両目1軸目から2両目1軸目まで2.1m・11.7m・2.1m・4.1mの繰り返しとなり合計20.0mである。橋りょうが最も影響を受ける振動は繰り返し回数の多い0.94Hzの振動であると想定したことから0～2Hzまでのローパスフィルターを設定とした。

表2 平均時速での列車振動パターン

パターン	間隔	通過時間	周波数	繰り返し回数
1軸目 - 2軸目	2.1m	0.111秒	9.00Hz	8回
3軸目 - 4軸目				
2軸目 - 3軸目	11.7m	0.622秒	1.61Hz	4回
4軸目 - 1軸目	4.1m	0.218秒	4.59Hz	3回
1軸目 - 3軸目	13.8m	0.734秒	1.36Hz	8回
1軸目 - 4軸目	15.9m	0.846秒	1.18Hz	4回
1軸目 - 1軸目から 4軸目 - 4軸目	20.0m	1.064秒	0.94Hz	12回

終点方支承部右鉛直成分と左橋軸直角成分の2HzRMS値比較を図5に示す。2HzローパスフィルターRMS値に損傷との相関がみられ、損傷位置特定の一つの指標になると考える。

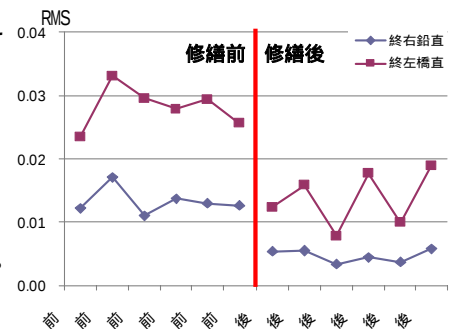


図5 変状有る支承との比較RMS値(2Hz)

5. まとめと今後の課題

加速度計を用いたヘルスマニタリング計測において着目する指標は、RMS値とフーリエ振幅スペクトルであり、加速度計を支承部直上の主桁に設置することが最適である結果が得られた。RMS値が上昇または、フーリエ振幅スペクトルの卓越する周波数が低下することで損傷が発生と検知できる。

今後、数値がどの程度変化した場合を変状として捉えるのかという閾値の検討と、斜角桁や他の構造形式の橋りょうでの計測と疲労亀裂や変形などといった変状ではどのような指標の変化が見られるのかを計測し、比較していくことが課題である。

【参考文献】

- 1) 阿部雅人、杉崎光一、藤野陽三、西川貴文、紺野克昭：多点振動計測による構造物の常時健全性モニタリング JCROSSAR 2011 論文集