

鋼鉄道橋支点部アオリモニタリング手法の開発（営業線軌道検測データの活用）

(株)構造計画研究所 正会員 ○矢部 明人

東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター 正会員 滝澤 彰宏

東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター 正会員 石澤 俊希

1. はじめに

アオリとは橋りょう支点部の基礎モルタルの劣化や橋台の沈下によって、上沓と下沓の間等に隙間が生じ列車通過時に支点部が上下に動く現象である(図1)。特に鉄道鋼橋において支点部の亀裂につながるアオリの経年変化を定量的に把握することは維持管理上重要である。支点部に直接、変位センサ等を設置してアオリ量をモニタリングする手法があるが、鉄道事業者が管理している橋りょうは膨大で、全橋りょうにセンサを設置するとなると莫大なコストが必要になる。そこで、一部の営業列車に搭載されている線路設備モニタリング装置の軌道検測データを活用し、アオリ有無のスクリーニングを目的とした検知手法の開発を行っている¹⁾³⁾。本検討では長期間の軌道検測データ(5m弦高低変位、図2参照)から、その統計的特徴を利用して軌道補修工事等による変化を検出・除去し、アオリ等の経年変化を定量的に捉える手法を考案し検証を行った。

2. 検知手法の原理

車輪の近傍に設置された軌道変位モニタリング装置³⁾によって k 回目に計測した任意のキロ程 x の5m弦高低変位 $\delta(x)_k$ には、軌道狂いや一定の輪重の作用による静的な高低変位 $\delta_s(x)_k$ 、車両や軌道、桁の振動による動的な高低変位 $\delta_d(x)_k$ 、乗客数の変動や走行速度の変動、横風によるローリングによって生じる輪重の変動、隣線通過列車の有無といった計測毎にランダムに変動する高低変位 $\delta_x(x)_k$ の和として

$$\delta(x)_k = \delta_s(x)_k + \delta_d(x)_k + \delta_x(x)_k \quad (1)$$

と表すことができると考えられる⁴⁾。また、 $\delta_s(x)_k$ は軌道補修工事等による短期間の変化 $\delta_{ss}(x)_k$ と軌道狂いや一定の輪重の作用による長期間の変化 $\delta_{sl}(x)_k$ に分けて考えると式(1)は

$$\delta(x)_k = \delta_{sl}(x)_k + \delta_{ss}(x)_k + \delta_d(x)_k + \delta_x(x)_k \quad (2)$$

となる。

キーワード 鋼橋、モニタリング、軌道変位モニタリング

連絡先 〒164-0011 東京都中野区中央 4-5-3 防災・環境部 TEL03-5342-1137

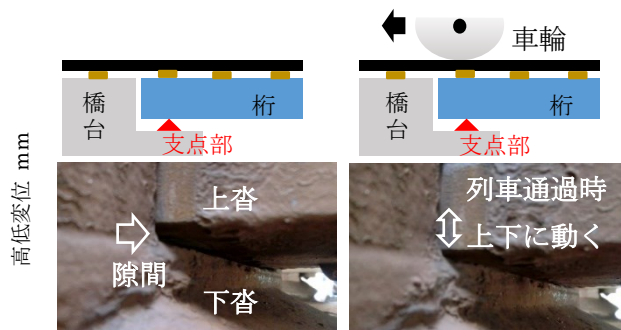


図1 アオリによる支点部が上下に動く様子

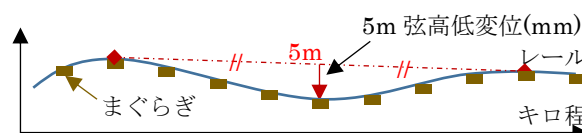


図2 5m弦高低変位

ここで、十分なサンプル数 n 個の $\delta_d(x)_k + \delta_x(x)_k$ は平均0標準偏差 σ の確率分布で表せると仮定し、軌道補修工事等による短期間の変化 $\delta_{ss}(x)_k$ も機械的に除去できるとすれば、 $\delta(x)_k \sim \delta(x)_{k+n}$ の平均 $\mu(k)_x$ は

$$\mu(k)_x = \frac{\sum_{i=k}^{k+n} \delta_{sl}(x)_i}{n+1} \quad (3)$$

であり、軌道狂いや一定の輪重の作用による長期間の変化の項のみが残るため、アオリ等が発生すればその変化は $\mu(k)_x$ に現われる。

また、 $\mu(n)_x = 0$ とし平均の差分 $\{\mu(i)_x - \mu(i-1)_x\}$ を k 回目まで累積して(以後「変化の累積値」)

$$d(k)_x = \sum_{i=n+1}^k \{\mu(i)_x - \mu(i-1)_x\} \quad (4)$$

(ただし除去期間の $\mu(i)_x - \mu(i-1)_x = 0$)

と定義すれば、 $d(k)_x$ は n 回目から k 回目の計測までのアオリを含む経年変化を示す値として利用できる。

3. 検討対象軌道検測データ

本検討では、首都圏内の支間長22.3mのスルー桁と前後の土工部を含む55.75mの区間を対象に、2018年2月22日～2021年12月31日の間に3635回計測された右レールの5m弦高低変位を使用した。

まず、動的な高低変位 $\delta_d(x)_k$ とランダムに変動する高低変位 $\delta_x(x)_k$ の和が平均0標準偏差 σ の確率分

布で表せるか、軌道補修工事等による変化がなかった期間で最も長い約1年9か月分（計測1252回）の5m弦高低変位を使い、平均値からの差について図3に示すようなヒストグラムを作成して確認した。グラフの形状から、概ね平均0標準偏差 $\sigma=0.24\text{mm}$ の標準正規分布に従うといえる。

4. 軌道補修工事等による変化の検出・除去方法

軌道補修工事等による変化がない期間の5m弦高低変位の平均値からの差は概ね標準正規分布に従うことから標準偏差 σ を使った母平均検定法により軌道補修工事等による変化の自動検出・除去が可能であると考えられる。そこで $n=10$ 、閾値を 5σ 、 10σ 、 20σ に変えて軌道補修工事等による変化の自動検出・除去性能を比較した。図4に比較結果を示す。図中の縦の破線は軌道補修工事等による変化があった日を示す。点が無い日は除去したことを示す。閾値 5σ の場合、残存率が55%で過剰な除去となった。

5. 変化の累積値算出結果

閾値を 10σ 、 20σ として軌道補修工事等による短期間の変化 $\delta_{ss}(x)_k$ の自動検出・除去を行ったデータを使い、変化の累積値を算出した。図5(a)(b)に橋りょう端部2m内の計測点3箇所（箇所）の結果を示す。閾値 20σ では変化の累積値に除去漏れによる不自然な不連続が現われた一方で、閾値 10σ では不自然な不連続が生じなかった。そこで、閾値が 10σ の場合の各キロ程の変化の累積値を算出し、約1年毎の変化の累積値の経年変化を整理した（図5(c)）。土工部の変状の他、アオリの影響と推察される橋りょう支点部付近の軌道の沈下の経年変化が確認できた。

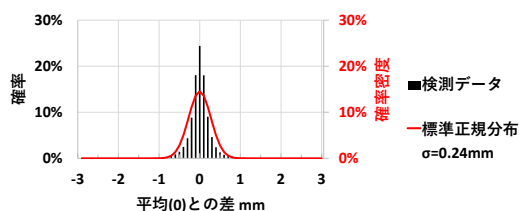


図3 5m弦高低変位平均からの差のヒストグラム

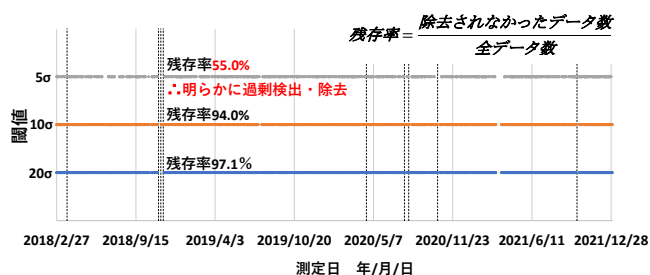


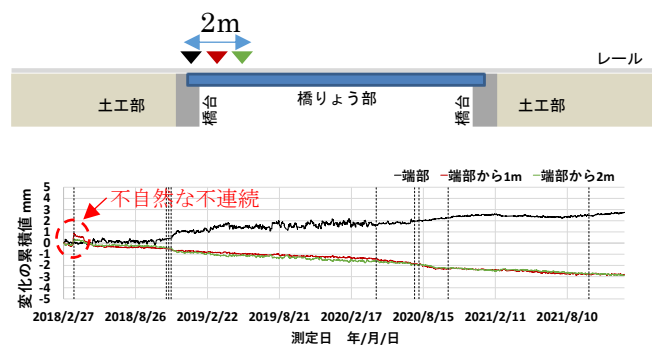
図4 閾値の検討結果

6. まとめ

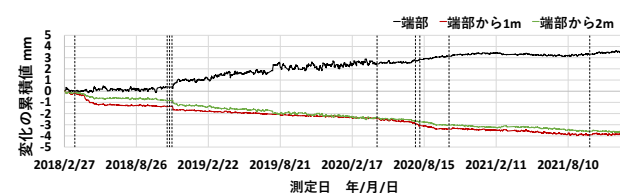
本検討では、軌道補修工事等による変化がない期間の5m弦高低変位の平均値からの差は概ね標準正規分布であることを確認し、 10σ を閾値とした母平均検定を用いて、軌道補修工事等による変化の自動検出・除去が可能であることが分かった。本検討にて用いた変化の累積値はアオリ等の経年変化を定量的に捉えられることが分かった。今後は検討ケースを増やして本手法の妥当性を検証していきたい。

参考文献

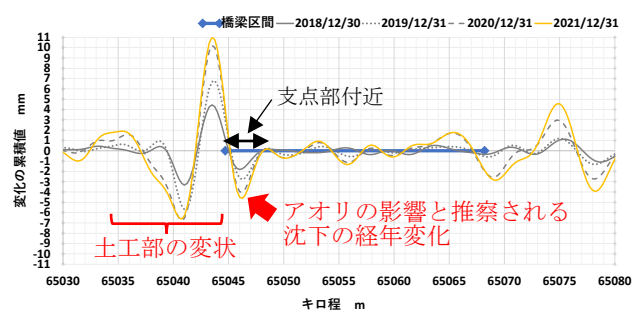
- 1) 秋山啓太, 秋山保行, 神谷弘志: 鋼橋支点部のアオリが軌道変位に与える影響の検討, 土木学会第75回年次学術講演会, 2020
- 2) 秋山啓太, 秋山保行, 神谷弘志, 矢部明人: 軌道モニタリングデータを活用した鋼橋アオリ検知のための走行解析シミュレーションによる検討, 土木学会第76回年次学術講演会, 2021
- 3) 石澤俊希, 秋山保行, 神谷弘志: 鉄道鋼橋における軌道モニタリングデータを利用した支点部アオリ検知の検討, 土木学会第77回年次学術講演会, 2022
- 4) 矢部明人, 宮本文穂, 磯田聡史, 谷信之: 路線バスによる中小橋梁モニタリング手法の開発, 土木学会論文集F4 (建設マネジメント), Vol.69, No.2, 102-120, 2013



(a) 閾値 20σ



(b) 閾値 10σ



(c) 閾値 10σ 対象区間の約1年毎の変化

図5 変化の累積値算出結果