

橋脚モニタリングにおける変位指標の長期評価

株式会社ビーエムシー 正会員 ○杉崎 光一
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 樺 健典
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 鈴木 修
 株式会社ビーエムシー 正会員 阿部 雅人

1. 目的

構造物のヘルスマニタリングは長期間に渡るため、長期データから性能指標を算出し適切に評価することが必要となる。評価方法として、指標が変化したことを統計的に評価する方法が多く提案されているが、実際の計測データを利用して推定指標の統計的特性について検討した事例はあまりない。本研究では、鉄道構造物の下部工を対象としたヘルスマニタリングで得られた長期データにおいて、列車通過時の変位指標を適切に評価するにあたって、統計的評価を行う上で考慮すべき点について検討する。

2. 加速度センサによる変位推定

本モニタリングシステムは図-1に示すように、様々な現象を評価できる多機能なモニタリングシステムである¹⁾。特に、性能評価指標としては変位を基本的な指標としている。変位は、鉄道構造物の性能を良く表す指標と考えられており、検査者にとって直感的に理解しやすい。また、設計におけるたわみ制限等の基準を援用でき、活荷重による評価が可能である。ただし、変位計測は固定点を必要とし、一般的に計測が困難であるため、計測が簡易な慣性計測(加速度、傾斜)を利用して変位を推定する方法を提案し利用している^{1),2)}。センサは橋脚天端に設置された加速度センサであり、外力(地震、列車、微動等)や、列車速度等の荷重特性を応答波形から推定できる。図-2は、変位推定手法の検証を行うために、変位計測が可能な橋脚で変位計測を行い、列車通過時の橋軸直角方向の変位推定結果と比較した結果である。推定値がいくぶん大きな値になっているが良好な相関関係が得られている。

3. 変位指標と荷重特性

列車通過時の変位応答は構造物により相違するのと合わせて、同じ構造物でも荷重の特性により変化する。荷重の特性とは、線別、列車形式、乗車率、速度等である。図-3に列車通過時の橋軸方向の変位応答を示すが、列車形式は類似で車輻重量はほぼ同じであることから、通過時間帯(乗車率)と関係があると考えられる。このため統計的に評価するには、例えば1日の中で列車変位が最大となるものを指標とする、または日平均等をとってより安定した指標を算出することが考えられる。また、推定橋直最大変位と列車速度との関係を示したものが図-4であるが、橋直方向の変位は列車速度と相関がみられる。このため、列車速度の統計的な特性により、単純に平均化すると統計値にバイアスが生じる可能性がある。

4. 長期変位指標の統計的特性

図-5は列車通過時の推定橋直最大変位の長期データの月ごとのヒストグラムである。分布の形状は月ごとに類似しているが、正規分布になっておらず、このまま平均化などの統計処理を行えば統計値にバイアスが生じる。列車速度のヒストグラムは図-6のようになる。列車速度と推定橋直最大変位について単純な線形関係を仮定し、回帰係数を α として以下の式で基準速度 \hat{v} における速度換算変位 $x_{\hat{v}}$ を算出する。

$$x_{\hat{v}} = x + \alpha(\hat{v} - v) \quad \text{ここで、} v: \text{推定速度} \quad x: \text{推定最大変位}$$

なお、回帰において、速度ゼロの時に変位は生じないと考え、切片をゼロとした。この補正により、図-7のようにヒストグラムが正規分布に近づき、統計処理のバイアスを減らせる。補正後に図-8に示すような日平均等の統計値で健全度評価を行うことができる。

キーワード ヘルスマニタリング、慣性センサ、変位推定、統計評価、走行列車

連絡先 〒261-7125 千葉市美浜区中瀬 2-6-1 株式会社 BMC TEL 043-297-0207

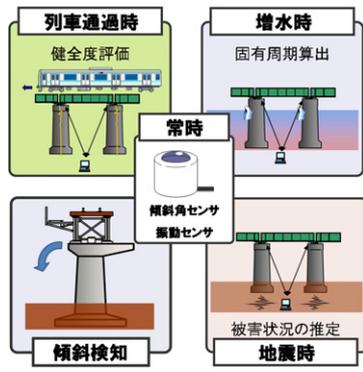


図-1 橋脚モニタリングシステム

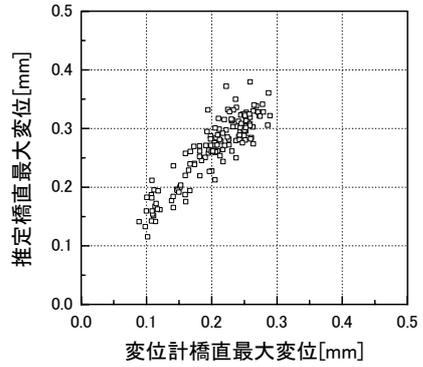


図-2 加速度計による変位推定

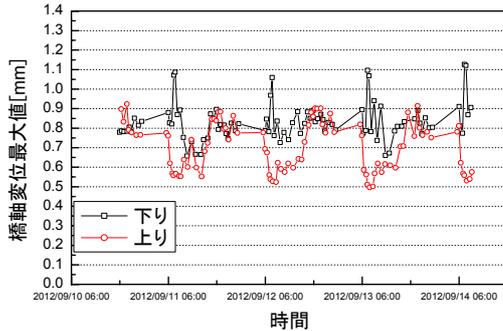


図-3 橋軸変位と荷重特性

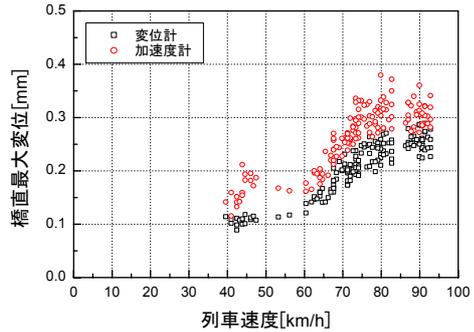


図-4 列車速度と橋直変位

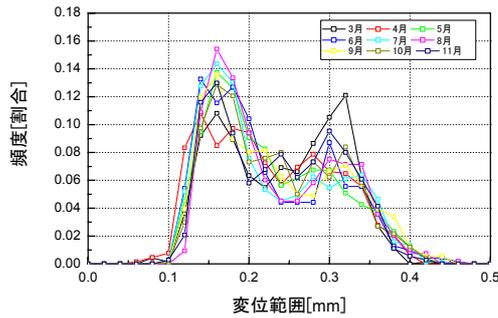


図-5 推定変位のヒストグラム

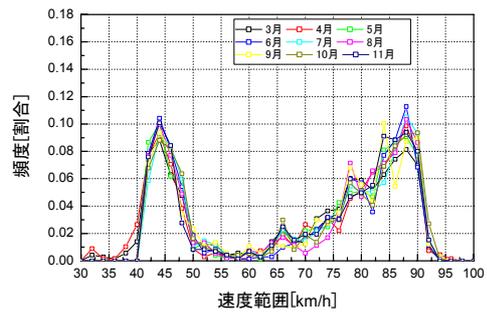


図-6 列車速度のヒストグラム

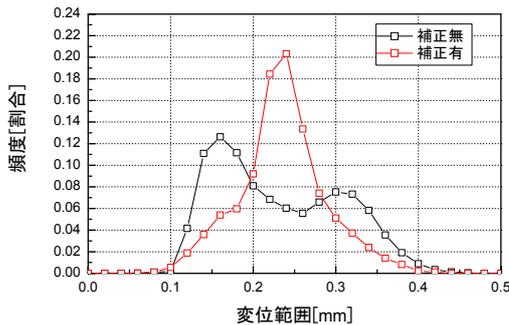


図-7 ヒストグラム補正

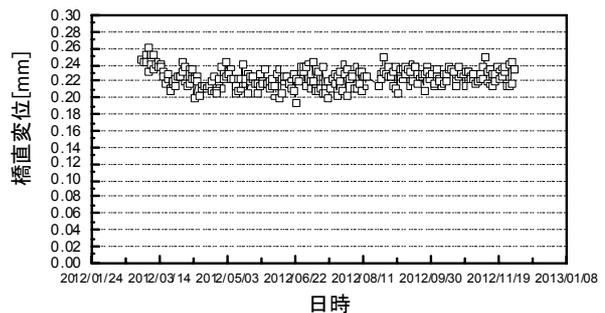


図-8 橋直変位日平均の時系列

5. まとめ

変位を指標とした長期モニタリングシステムにおいて、指標を統計的に評価する際の注意点を示した。走行速度など、指標に影響する荷重特性を合わせて推定することで、より信頼性の高い評価が可能となる。

参考文献

- 1) 杉崎光一, 阿部雅人, 興水聡: 加速度計と傾斜計を利用した橋脚の地震モニタリング方法の検討, 第15回鉄道工学シンポジウム, 2011.7
- 2) 杉崎光一, 阿部雅人, 興水聡: 構造ヘルスマニタリングのための慣性センシングによる傾斜・振動計測法, 土木学会論文集 A1, Vol.68, No.1, pp.216-225, 2012.