

光ファイバセンシングと AI を用いた鋼橋の変状を予兆する手法の検証

東海旅客鉄道（株） ○正会員 梶田 圭佑
 東海旅客鉄道（株） 後藤 佑馬
 東海旅客鉄道（株） 正会員 河野 整

1. はじめに

開業 55 年が経過した東海道新幹線の土木構造物を将来に亘って健全な状態に保つため、当社では、2 年に 1 度の通常全般検査に加え、8 年に 1 度、鋼橋の疲労変状に着目した「鉄けた特別検査」を実施している。一方で、少子化による将来の労働人口減少に伴う慢性的な人員不足は当社においても例外ではない状況であり、より高度で効率的な検査手法の確立が求められている。そこで、検査の更なる高度化と効率化を目的に、光ファイバセンシングと AI を利用して変状の予兆を検出する手法を検証したので報告する。

2. 鋼橋における変状の予兆検知の着目点

当所で保守している鋼橋に発生した変状を部位別に整理すると、沓座破損や沓の沈下等の支点部変状が全体の 89% を占める。支点部変状が放置された場合、桁部に新たな変状を誘発する可能性がある。支点部フランジガセットのき裂や、端補剛材下端溶接部のき裂がその例である。支点部に変状が発生した場合、列車通過時の各支点の応力バランスが崩れ、桁自体の振動に変化が生じると考えられる。そこで、沓取替工事に伴い支点部変状が解消される橋梁に着目し、変状有無の違いによる桁の応力と振動を比較し、健全度照査の可否を検証した。

3. 沓取替前後の実橋測定とその結果

検証は、沓取替工事を実施する上路プレートガーダー（I 断面）の橋梁を選定して実施した（図-1）。なお、本橋梁は、安全性には問題ないものの、起点側の M3M4 沓に、沓座クラック、支点ずれ、傾斜が発生しており、本工事にあわせて変状を解消した。

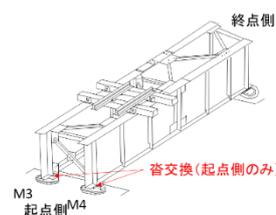


図1 測定橋梁

当該線の起点側・終点側の計 4 支点の端補剛材下端の両側計 8 箇所鉛直方向にひずみゲージを貼り、列車通過時の応力を測定した。8 箇所の応力値のばらつき具合を標準偏差で示す。沓取替前が 16.0 であったのに対し、沓取替後は 12.5 であった。これは、沓取替により支点部変状が解消され、応力バランスが改善された影響と推察される（図-2）。

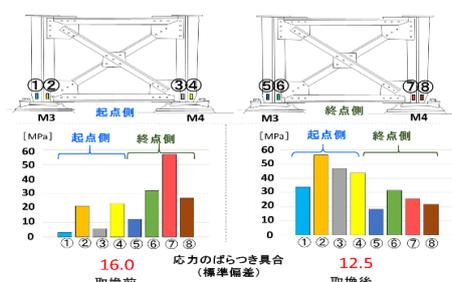


図-2 応力バランスの変化

次に、加速度計を桁中央下フランジ上面に設置し、鉛直方向の振動を測定した。列車通過時の荷重の直接的な影響が小さい、列車が通過した後の自由振動波形を使用し、卓越振動数の変化・減衰定数の変化を沓取替前後で比較した。沓取替により、沓まわりの変状が全て解消されるため、列車通過後の自由振動の収束時間や、減衰定数、卓越振動数に変化が生じると想定された。しかし、分析結果からは沓取替の前後で有意な差は認められなかった（図-3）。

沓取替前後で応力バランスの改善は見られたが、桁の振動に明確な差を見つけることは困難であった。これは、沓取替前後での振動数の変化は、分析者が判別することが困難な極めて微小な変化であるためと考えられる。

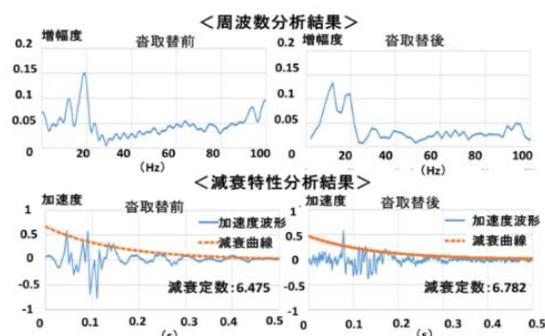


図-3 桁の振動特性

キーワード：鋼橋、光ファイバセンシング、AI、予兆検知

連絡先：〒222-0026 神奈川県横浜市港北区篠原町 3219-1 東海旅客鉄道（株）東京新幹線構造物検査センター

4. AIの導入と測定手法の検証

この課題を解消するため、大量のデータから、各種事象の異常度を判別するよう開発された AI を用いて分析することを試みた。橋梁の健全度を正確に分類するには、正常時と異常時のデータを大量に収集する必要がある。しかし、構造物の異常状態を異常データとして蓄積することは非常に困難である。そのため、正常な状態を教師データとして AI に学習させ、そのデータからの乖離を異常度として判定する「1 クラス分類」を適用することとした¹⁾。

分析手順は、まず AI に判別の基となる教師データを与える。AI は与えられた教師データを元に共通する特徴を抽出した正常状態モデルを構築する。次に評価したいデータを与えると、AI は正常状態モデルとの乖離を数値（＝異常度）で回答する。ただし、正常状態モデルの構築には、大量のデータが必要となる。現行の加速度計を使用した測定では、機器を測点ごとに設置するため、多測点での大量のデータ取得には不向きである。そこで、既存のモニタリング技術の中から、容易に大量のデータが取得可能な光ファイバセンシングを用いることとした。光ファイバセンシングは、ファイバ内を通過する光の波長の変化から、振動の発生を検知するものである。光ファイバセンシングは、ファイバ線上で自由に複数の測点が取れることや、敷設の容易性、耐候性に優れており、常時計測して大量のデータ計測が可能である。今回は、現行の測定方法に変えて、光ファイバセンシングを活用して桁の橋軸・橋軸直角・鉛直方向の 3 方向を合成した振動を測定し、AI で分析することとした。

5. 光ファイバセンシングと AI を活用した結果

光ファイバセンシングは、主桁腹板上部の橋軸方向に敷設した（図-4）。測定した列車本数は、沓取替前 50 本、沓取替後 150 本とし、列車通過後の正規化したデータを AI に与えた。

まず、沓取替により応力バランスが改善された沓取替後の列車 100 本分の振動データを教師データとして AI に与え、正常状態のモデルを構築した。その後、沓取替前における列車 50 本分の振動データを評価データとして AI に与え、異常度を確認した。なお、AI での分析の再現性を確認するために、教師データとは別の沓取替後の列車 50 本分の振動データも評価データとして AI に与えた。その結果、沓取替後の異常度平均は、沓取替前の異常度平均の約半分であり、明確な違いを確認することが出来た（図-5）。これは、沓の状態が悪い桁は、AI による分析結果の異常度が高くなることを示している。沓の変状を早期に発見することは、桁部の変状発生の予兆を検知することになる。本手法は、鋼橋のモニタリング技術の一つとして、活用できる可能性がある。

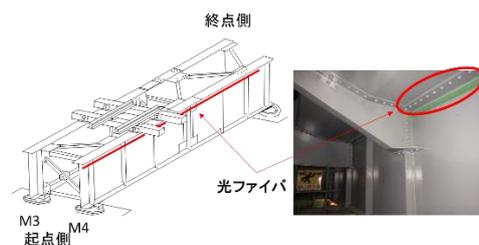


図-4 光ファイバ設置箇所

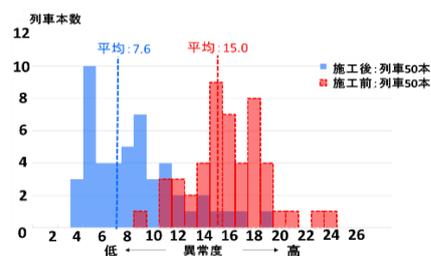


図-5 AIによる分析結果

6. おわりに

沓の応力バランスの改善前後の桁について、光ファイバセンシングと AI を活用することで、桁の振動から異常度の差を判別することができた。しかし、現状では異常度に閾値はなく、異常度がどの程度の値となった際に、桁本体に影響を及ぼすかは不明である。今後は、測定データ数を増やし、異常度の閾値の策定や、実用に向けた検討を実施していく。

7. 参考文献

- 1) 村川正宏：AI でインフラの異常を見つける（第 31 回鉄道総研講演会），平成 30 年 11 月