

トポロジカルデータ解析を用いた橋梁モニタリングデータの分析

Topological Data Analysis for Acceleration Sensor Data obtained from Monitoring of Actual Bridges

富士通（株） 正会員 ○金児純司, 非会員 梅田裕平, 非会員 梅宮茂良, 正会員 菊地英幸
前田建設工業（株） フェロー会員 石黒 健, 正会員 松林 卓
土木研究所 正会員 石田雅博

1. はじめに

筆者らは、モニタリング技術研究組合（RAIMS）が平成 27 年度に実施した床版モニタリング実験¹⁾で採取された 3 軸加速度センサデータ²⁾にトポロジカルデータ解析 (Topological Data Analysis 以後 TDA と略す)³⁾を適用することで、床版の疲労劣化の進行に関連する内部損傷の発生を推定できる可能性があることを報告した⁴⁾。本報では、TDA を用いた加速度センサデータの分析手法を実橋梁モニタリングデータに適用した結果について報告する。

2. TDA を用いた加速度センサデータの分析

TDA は、統計的な手法では解析が困難なデータを位相幾何学により「形」として捉えることができる技術として注目されている。TDA を用いたモニタリングデータ分析では、図-1 に示すように、加速度センサデータを所定の期間の振動パターンデータとして切り分け、それぞれにアトラクター変換を施し図形化する。そのうえで、振動パターンデータの図形としての特徴を TDA により数値化し、基準状態（健全な状態）からの異常度（劣化度）および変化度を評価する。

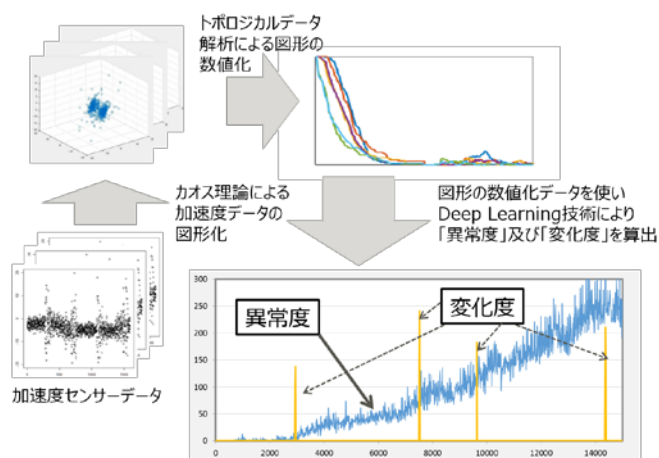


図-1. TDA を用いた加速度センサデータの分析手法

3. 分析結果

分析対象は、RAIMS が実施した 2 つの現場実証実験で採取された 3 軸加速度センサデータである。室内実験では試験床版のライフログが得られたのに対し、実橋梁データ分析では、室内実験結果を参考にモニタリング時点の状態を診断することになる。

3.1. 大森川橋(下り線)

東北自動車道の大森川橋は鋼合成単純鈹桁橋であり、橋長は 36.3m、床版形式は RC 床版である。3 軸加速度センサ（サンプリング周期は 100Hz）の配置は図-2 に示すとおりである。

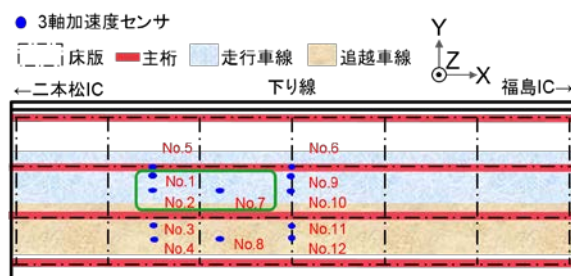


図-2. 3 軸加速度センサ配置(大森川橋実証実験)

データ分析にあたっては、走行車線下の No.1, No.2, No.7 のモニタリングデータを対象とした。走行車線の车速が 90km/h 程度とすれば 1.45 秒程度で橋梁を通過することから、加速度センサデータ（Y 軸）を車両の通過前後を含めた 3 秒の振動パターンとして切り分けた。分析結果を図-3 に示す。

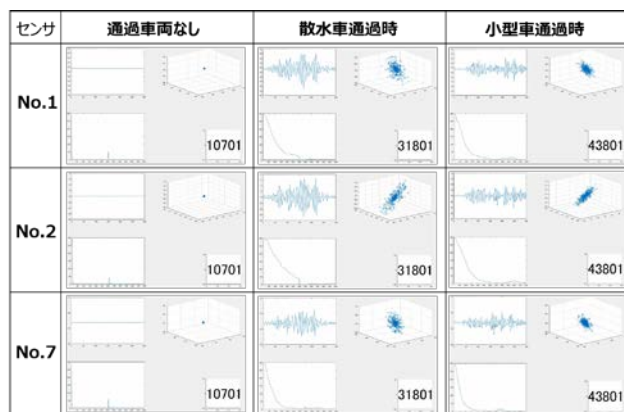


図-3. 分析結果(大森川橋実証実験)

キーワード モニタリング, RC 床版, 疲労劣化, 加速度センサ, トポロジカルデータ解析

連絡先 〒211-8588 川崎市中原区上小田中 4-1-1 (株) 富士通研究所 人工知能研究所 TEL 044-754-2674

図-3 に示されるように、振動パターンデータをアトラクター変換して得られる図形は、通過する車両の重量やサイズによって大きくなったり小さくなったりするものの単独のボール状で推移している。この結果と文献 4) の結果を併せれば、床版内部の鉄筋は弾性体としての健全性を維持したままであると考えられる。

3.2. 城山第二橋(上り線)

中央自動車道の城山川第二橋は鋼単純活荷重合成鉄桁橋+鋼 3 径間鉄桁橋であり、上り線の橋長は 103.2m、床版形式は RC 床版である。計測対象となる RC 床版および 3 軸加速度センサ(サンプリング周期は 100Hz)の配置は図-4 に示すとおりである。

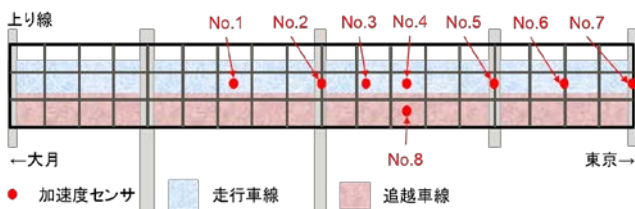


図-4. 3軸加速度センサ配置(城山川第二橋実証実験)

データ分析にあたっては、大森川橋の場合と同様に、たわみの影響が大きいと思われる No.1, No.4, No.6, No.8 のモニタリングデータを対象とした。また大森川橋の場合との比較のために、加速度センサデータ(Y 軸)を3秒の振動パターンとして切り分けた。城山川第二橋の実証実験では大森川橋の場合のような基準車両の走行は実施されなかったため、3つの任意時刻の振動パターンデータを分析対象とした。分析結果は図-5 に示すとおりである。図-5 には、3 時刻の振動パターンデータとそれをアトラクター変換することにより得られた図形を対として表示している。アトラクター変換して得られた図形は、大森川橋の場合と異なり、単一のボール状とは言えず、一部は2つに千切れる傾向が見られる。振動パターンデータそのものも、大森川橋の場合は不規則雑音のような波形であったのに対し、城山川第二橋の場合は、車両通過時点で段差が現れており、文献 4) の結果を踏まえれば疲労劣化傾向にあることが疑われる。画像撮影データ等と併せた総合的な評価が必要である。

4. 実橋梁データへの適用に向けて

実橋梁のモニタリングでは、ほとんどの場合、新製時とモニタリング時の状態の差異が不明であり、

モニタリング開始前のデータ蓄積が皆無と想定される。したがって、本技術の適用にあたっては、本報のような実験床版のライフログとの照合の他、点検ごとの推移を記録し、最初の点検時からの異常度を評価する、前回のモニタリングデータと比較することにより変化度を評価する、といったことを繰り返すという対応が必要になる。

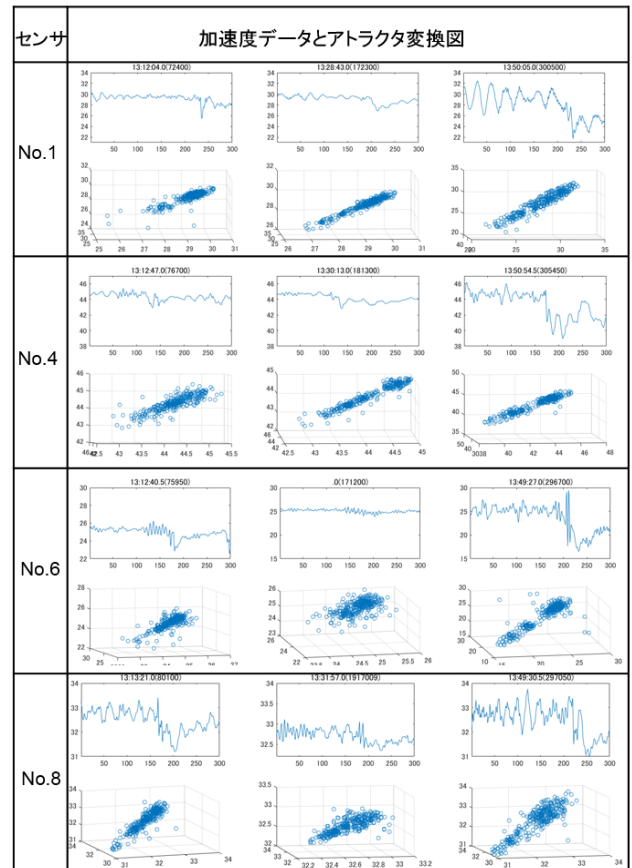


図-5. 分析結果(城山川第二橋実証実験)

謝辞

本報はモニタリングシステム技術研究組合(RAIMS)が実施した研究による成果である。分析対象としたモニタリングデータは、内閣府の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」委託事業研究のために能美防災(株)製の加速度センサで取得され、ご提供いただいたものであり、ここに深謝する。

参考文献

- 1) 古市, 新井, 岩井, 小原: 輪荷重走行試験による RC 床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討(その 1) 試験の概要とリファレンス計測による損傷程度の評価, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集 CS7-036, 2016.
- 2) 遠藤, 皆川, 山本, 山岸: 輪荷重走行試験による RC 床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討(その 2) 低周波 3 軸加速度センサによる RC 床版の疲労損傷解析, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集 CS7-037, 2016.
- 3) Umeda, Y.: Time Series Classification via Topological Data Analysis, 人工知能学会論文誌 32 巻 3 号 D, pp.1-12, 2017.
- 4) 金児, 梅宮, 梅田, 北島, 菊地, 新井, 古市, 廣江: 輪荷重走行試験による RC 床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討(その 6) 各種分析方法とモニタリングデータによる疲労劣化の評価, 土木学会第 72 回年次学術講演会概要集 CS14-022, 2017.