

長期橋梁モニタリングデータに含まれる突発的変状検出

横浜国立大学大学院	学生会員	○NGUYEN TUONG HUAN
同上	正会員	佐々木 栄一
同上	正会員	勝地 弘
同上	正会員	山田 均

1. はじめに

我が国では高度成長期に建設された橋梁の老朽化が進み、資本余力減少のなか、安全で快適な社会・経済活動を維持するには構造物の適切な維持管理システムの確立が必要となっている。現在、常時モニタリングシステムは継続的客観的なデータの収集により、橋梁の挙動変化が監視でき、劣化損傷を早期に検知できるなどの役割が期待されている。しかし、現状の橋梁モニタリングは基礎資料が不足であり、膨大なデータの対応やデータに含まれる変状を検出する手法などの課題が残されている。

近年、Wavelet や ARMA 等の時系列データ解析手法が研究されているが、これらの手法により時系列データを徹底的に解明されていない状況にある。そこで、本研究は時系列データに含まれる突発的変状を検出する「Change-Point」という簡便な手法を提案する。ここで提案する Change-Point 手法は時系列に局所的なデータのスペクトル変動を比較することにより特性変動のあった時点（Change-Point）を特定し、データに含まれる突発的変状を検出する方法である。本研究では、橋梁振動模擬サンプルデータを用いて Change-Point 手法の特徴を把握した上で、実橋梁の長期モニタリングデータへ適用し、本手法の妥当性を検討する。

2. Change-Point 手法

Change-Point 手法は、時系列データを切り、各局所的なデータをスペクトルに変換する。そして、各スペクトルを比較して Change-Point を推定する理論である。各スペクトル比較する際に、下記の Last らの既往研究の公式を用い、スペクトル変動 D パラメーターを算出してパワースペクトルを比較する。

$$D(t) = \frac{1}{n} \sum_{\lambda} \left(\frac{\hat{f}_L(t, \lambda)}{\hat{f}_R(t, \lambda)} + \frac{\hat{f}_R(t, \lambda)}{\hat{f}_L(t, \lambda)} \right)$$

この理論を用いて MATLAB プログラミングを行い、Change-Point 手法の 2 パターンを構築する。

隣接スペクトル比較手法（以下 隣接手法）は隣接の左右ウィンドウを時系列に移動させながらスペクトル変動 D を算出し、比較して Change-Point を検出する手法である。

基準スペクトル比較手法（以下 基準手法）左のウィンドウを基準として固定し、右のウィンドウを時系列に移動させながら左の基準ウィンドウと比較してスペクトル変動を比較して Change-Point を検出する。

3. Change-Point 手法の検証

Change-Point 手法の特徴を把握するために橋梁振動を模擬したサンプルデータを用いて検証を行う。

図 1 より、データの変状によるスペクトル変動 D を比較すると、異常データが発生する時点に D が増大し最大値になることから、隣接手法ではデータの突発的変状が検出可能であると確認できる。

図 2 は基準手法のスペクトル変動を示す。D はデータの異常発生時に最大値に、異常終了時に最小値になることからデータの突発的変状の発生・終了時刻を検出できると分かる。また、データの変状後の D は変状前と比べて変動すると見られる。そして、図 3 に示すスケール別にスペクトル変動 D が異なっているため、変状を検出するために適切なスケールを選択する必要があると分かる。

キーワード Change Point, Time-varying power spectrum

連絡先 〒240-0067 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 横浜国立大学大学院環境情報学府環境システム学山田研究室

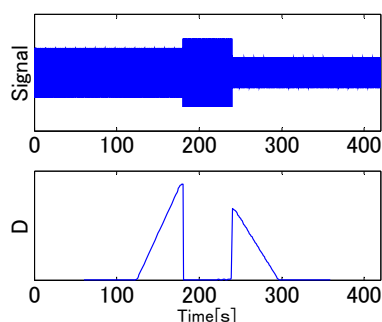


図1 基準手法のスペクトル変動

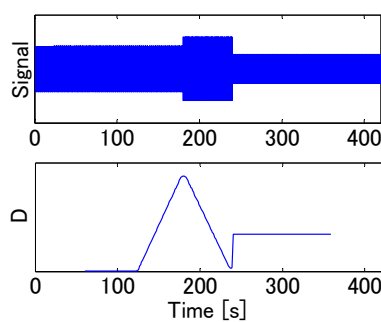


図2 隣接手法のスペクトル変動

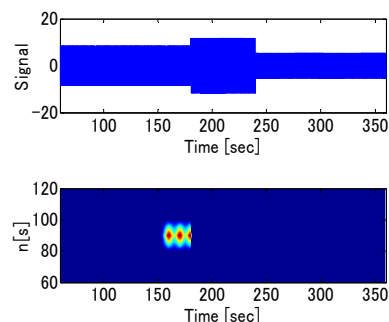


図3 スケール別のスペクトル変動

4. 実測データへの適用

ここでは、都市内高架橋で実測した傾斜計によるモニタリングデータ（図4）を用いて、本手法の妥当性を検討する。

図5は隣接手法による多様なスケールにスペクトル変動を示す。10秒までの小スケールではD値の変化が激しく、10Hzでスペクトル変動が大きい自動車荷重による影響と考えられる。60秒から90秒までの大スケールでは、常時にスペクトル変動Dが小さいが、10時14分時刻にD値が急増し、突発的変状が発生したと検出できる。図6に示す最大値Dの時点における左右スペクトルを比較すると、1Hzでパワースペクトルが大きく、スペクトル変動が激しいと分かる。

実際の地震情報によると2007年7月16日の10時14分時刻に新潟中越沖地震が発生したということから、本手法により地震の突発的変状が検出可能であると確認できる。さらに、図7の基準手法の解析結果によると地震後のDが地震発生前と比べて異常な変化がみられない。また、地震の発生時にDが急増し、終了時に低下したことから、突発的変状の発生・終了時刻が検出できた。

5. まとめ

本研究で長期橋梁モニタリングデータの突発的変状検出手法を提案した。Change-Point手法により、突発的変状の発生・終了時刻を検出できた。さらに変状の前後の変動特性を把握できた。そして、適切なスケールの選択により目的の変状が検出可能である。

以上から、本研究は従来より長期橋梁モニタリングデータ変状検出の簡便な手法が確立できた。

謝辞

本研究は、基盤研究(S)「重度の疲労損傷を受けた鋼橋の機能回復・機能向上を目的とする橋梁再生工学の確立」(研究代表者：東京工業大学三木千壽教授)の研究の一環として検討したものです。また、本研究の遂行に際しましては、首都高速道路㈱様ならびに㈱NTTデータ様から貴重な実測データをご提供賜りました。

ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

Michael Last et al : Detecting abrupt changes in a piecewise locally stationary time series, Journal of Multivariate Analysis, Vol.99 pp.191-214, 2008.

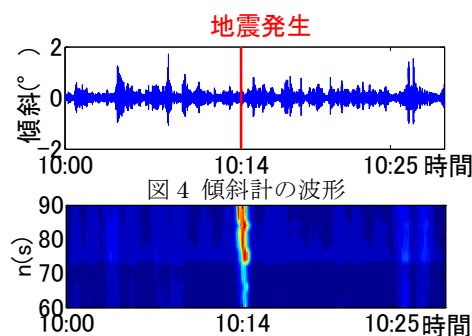


図4 傾斜計の波形

図7 基準手法・地震時のスペクトル変動

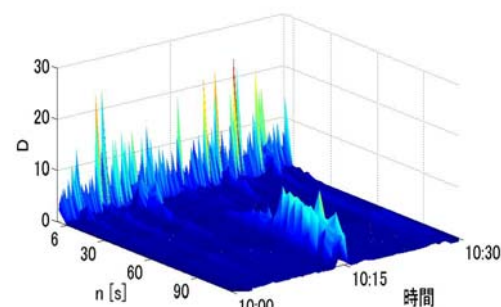


図5 隣接手法・地震時のスペクトル変動

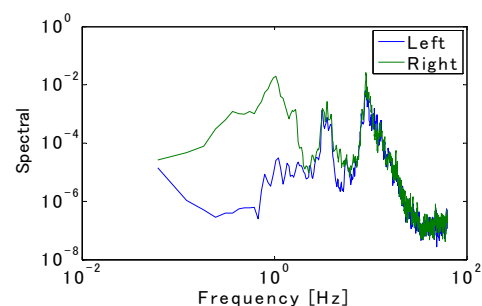


図6 最大値時点のスペクトル変動