

独立成分分析による橋梁診断システムの開発

早稲田大学大学院 学生会員 ◎羽鳥 貴大, 犬島 浩, 大貝 晴俊
株式会社福山コンサルタント 丸山 泉, 計測検査株式会社 永田 伸二

1. 研究の背景

現在日本で 15[m]以上の橋梁の数は 13 万橋に達し、初期に建設された橋梁の老朽化という問題を抱えている⁽¹⁾。その中で安価で正確かつ、橋梁に負担のかからない劣化・診断技術が求められている。そこで本研究は、橋梁の振動データから信号解析を行い、新しい診断技術の検討、開発を行う。信号解析の手法には近年注目を浴びている独立成分分析について着目した。

2. 独立成分分析

独立成分分析とは、混合過程などを考慮することなく、混合信号から独立な源信号を抽出する、新しい信号解析方法である。独立成分分析には数ある手法が提案されているが、その中で本研究では、尖度の絶対値を尺度に用いた非ガウス性の極大を最大化する逐次直交化高速不動点法の手法⁽²⁾に着目した。尖度とは、平均値が 0 である 4 次の高次統計量のことで、確率密度関数がガウス分布に従えば従うほど 0 に近づくという性質があり、独立成分を推定するために重要な非ガウス性の尺度となる。尖度を求めるために計算量の簡略化を行うため、平均値 0、分散値が 1 となるように前処理を行う必要があり、主成分分析に用いられる白色化を採用した。ここで、白色化後の尖度は簡略化され、以下のように表される。

$$kurt(x) = E\{x^4\} - 3E\{x^2\}^2$$

この尖度を指標とした更新式はラグランジュの未定係数法から導くことができ、以下に示す。

$$w(k+1) = E\{(w(k)^T x)^3 x\} - 3w(k)$$

このとき k は更新番号であり、 x はデータベクトル、 w は独立成分を推定する際に行う射影に使用するベクトルであり、 $E\{\cdot\}$ は平均を表す。

3. 独立成分分析の有用性

独立成分分析の有用性を確かめるため、白色雑音と周波数の異なる混合されたサイン波の二つのサンプル

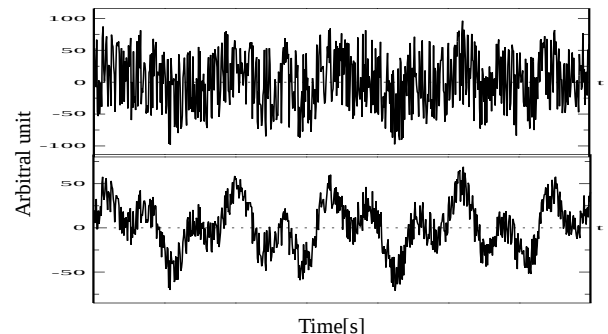


Fig.1 Wave of mixing samples

に対して、ある混合行列で混合したものを Fig.1 に示す。この波形に対して独立成分分析を行った結果を Fig.2 に示す。これにより、混合波形をそれぞれ独立した波形に分離できることが証明された。

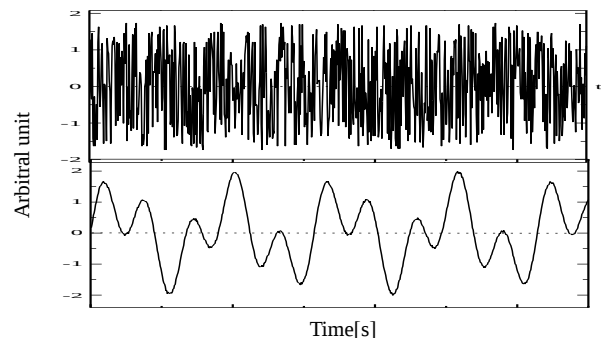


Fig.2 Result of independent component analysis to sample.

4. 実験方法

今回使用した橋梁のデータは、2 ヶ所で実験が行われ、支承部において、橋梁の主桁損傷(Type-1)、橋梁の中央部で、主桁ガセット切断(Type-2)、主桁ウェブ切断(Type-3)、床版亀裂(Type-4)とする亀裂、損傷を橋梁に加えていった。振動は重錘、自動車によるもので、加速度振動計と応力歪み計を合わせて 8~10 箇所設置することで計測された。また傷の度合いによって Case0~4,5,6 といったデータが存在する。計測器のサンプリング周波数は有線の場合 500[Hz]である。損傷のパラメータは Type1~4 でそれぞれ Case0~4,5,6 存在する。計測箇所は橋梁における上流側、中央、下流側の 3 箇所で行い、各パラメータにおいて、2 回あるいは 3 回の計測

キーワード: 橋梁診断, 信号解析, 独立成分分析, 橋梁支承部

連絡先: 福岡県北九州市若松区小敷ひびきの 2-7 早稲田大学大学院 情報生産システム研究科 Tel:093-692-5021

が行われている. 今回は支承部(Type-1)の紹介を以下に示す. Fig.3には橋梁における支承部の位置を示す.

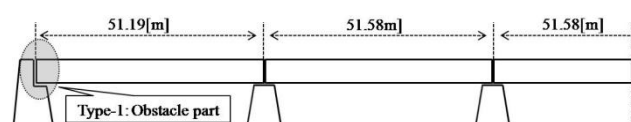


Fig.3, Overall view of bridge.

Fig.4には各計器の設置位置を示す. このとき3軸の応力歪み計は黒丸印, 加速度振動計は白丸印を示し, 加速度振動計における矢印は対応する鉛直方向, 水平方向を示す.

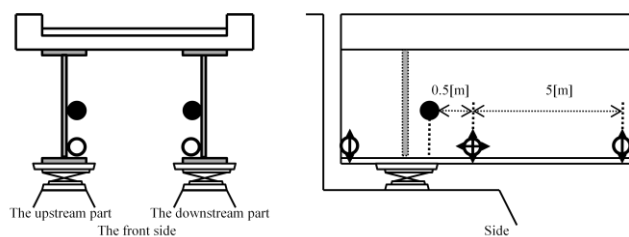


Fig.4 Position of each meter.

Fig.5には損傷箇所とその度合いの各 Case を示す.

Case-1には橋梁のガセットと呼ばれる補強部分を切断したものの, Case-2にはFig.5の左図のフランジを半分切断したものの, Case-3にはフランジ全体の切断, Case4-6は右図のようにウェブを切断した.

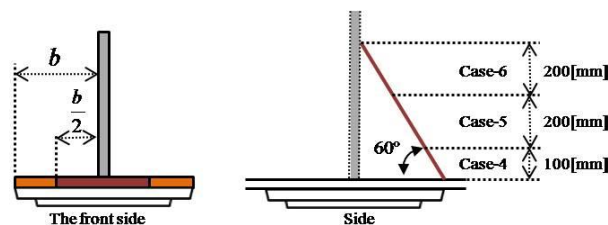


Fig.5 Outline of damage.

5. 解析結果と考察

大量にあるデータの中で損傷のパラメータ以外を固定し, 無傷状態とそれぞれの Case のデータに対し, 独立成分分析を行うことによって, 傷の度合いに対して相関を持つ成分が検出できると考え, 解析を行った. ここで固定したパラメータは, Type-1, 重錘による振動データで, 端部における実験データである. 独立成分分析をかけた結果の周波数スペクトルの解析を行った結果, 各 Case の独立成分の第2成分において, 傷の度合いが深くなればなるほど, 50[Hz]付近のスペクトルが小さくなっていく現象が見られた. Fig.6にはその結果を示す.

実際には各 Type, Case において解析も行い, 同等の変化が見られる波形も存在し, 独立成分分析が橋梁診断

技術の手法としての有用性が示唆された.

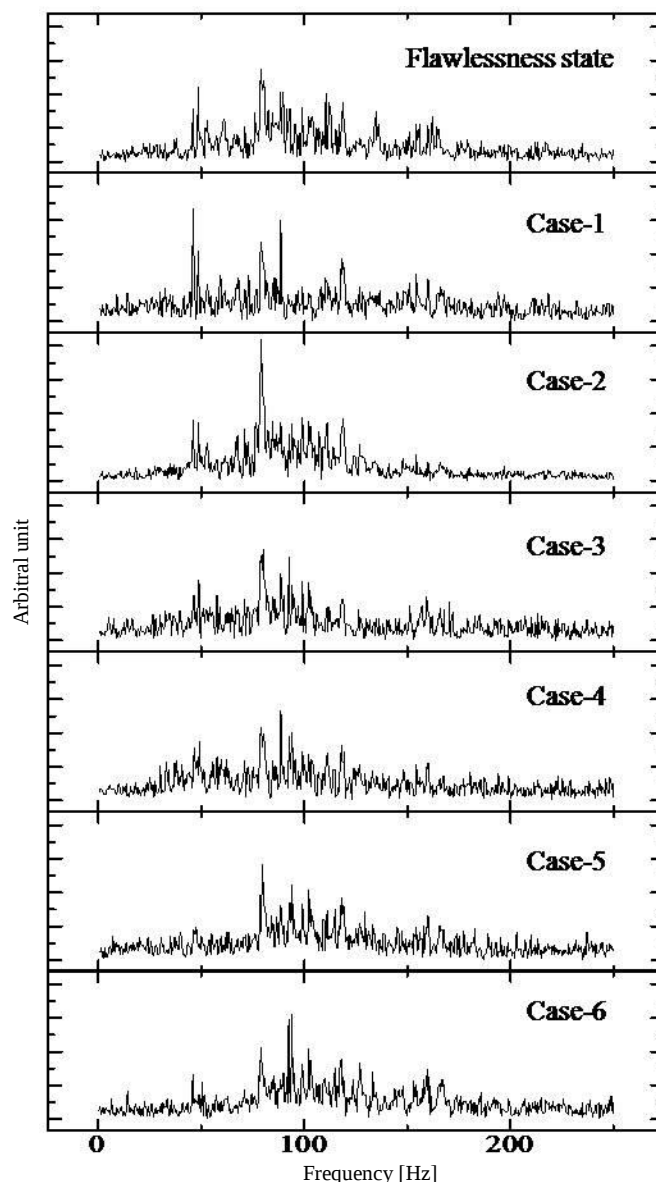


Fig.6 Frequency spectrum of independent component No.2

6. 今後の展望

独立成分分析の橋梁診断に対する有用性が解析結果から示唆された. しかし, 独立成分の第2成分と独立成分の第1成分が入れ替わるような独立成分分析のブレが生じる問題などがあり, 分析の精度向上が課題である. これには, 統計学における指標である尖度以外に, 情報理論や推定理論による指標を使用することで, 橋梁劣化診断機能向上が期待される.

文 献

- (1) 谷川恭雄「コンクリート構造物の非破壊検査・診断方法」, セメントジャーナル社, 2004.
- (2) Aapo Hyvarinen, Juha Kahunen, Erkki Oja、訳者:根本 幾、川勝 真喜「独立成分分析」, 東京電機大学出版