

車両振動に対する Wavelet 適用の実験的検証

筑波大学大学院システム情報工学研究科 学生会員 ○井上 潤
筑波大学システム情報系 正会員 山本 亨輔

1. 研究背景

橋梁の健全性評価手法の一つとして、移動センシングによる橋梁のスクリーニング手法が進んでいる。本研究では車両振動の時間周波数分析に着目する。山本ら¹⁾は車両振動のウェーブレット変換（CWT）から局所損傷を検知する手法について、数値計算上で有用性を示した。そこで本研究では紙製橋梁模型を使用し、車両振動にCWTを適用する手法の実験的検証を行う。さらに得られたCWT結果の評価指標は存在しうるのか検証を行う。

2. 連続ウェーブレット変換

今、車両加速度を $\ddot{z}(t)$ とすれば、 $\ddot{z}(t)$ の連続ウェーブレット変換（CWT）は以下のように与えられる。

$$W_{\psi}z(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) \ddot{z}(t) dt \quad (1)$$

 $a(\neq 0), b \in \mathbb{R}$

a は横方向の伸縮パラメータであり、 b は位置のパラメータである。 $\psi(t)$ はマザーウェーブレットと呼ばれる時間関数である。 $()^*$ は複素共役を表す。

3. 実験概要

鋼製橋梁と車両（軽自動車）を使用し、健全時と損傷時の車両振動の測定を行った。

鋼製橋梁の外観図および実験の様子を図1から図3に示す。また鋼製橋梁と車両の各パラメータを表1、表2に記載する。橋梁の固有振動数は一般的な短スパン橋の固有振動数と同程度となるようにした。車軸中心付近に加速度センサを設置し、加速度センサのサンプリングレートは300[Hz]とした。車両の入退出はレーザーセンサーを用いて

記録し、車両の車輪が橋梁上に存在する加速度データを用いる。

実験を行う橋梁の状態は健全時（INTACT）、軽度損傷時（LIGHT）、重度損傷時（HEAVY）とした。軽度損傷は車両走行側の中央横桁（図3）のボルト8本を緩めることで模擬した。重度損傷は上記横桁を除去することで模擬した。計測回数は健全、軽度、重度をそれぞれ31回、24回、26回で行った。実際に橋梁を点検する際は、健全時のデータが多く得られることが考えられる。よって健全時の計測を多く行い、実際の環境を想定して損傷検知を行った。走行は図2のように誘導白線を車輪が通過するように行った。

表1 鋼製橋梁のパラメータ

鋼材規格	JIS G 3101 : SS400
固有振動数[Hz]	7
スパン長[m]	8.32
橋幅[m]	4.15
主桁本数	4
自重[N/m]	1188.6

表2 車両のパラメータ

車両規格	軽自動車
推定固有振動数[Hz]	36
車軸間距離[m]	1.8
タイヤ弾性率[MPa]	3
重量[kg]	950



図1 鋼製橋梁外観



図2 走行実験

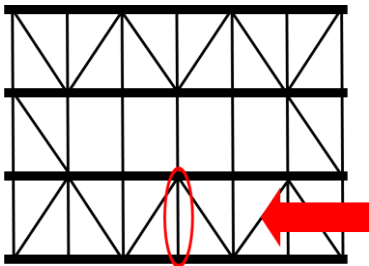


図3 鋼製橋梁イラスト図

キーワード 時間周波数分析，車両振動，移動センシング
連絡先 〒305-8573 つくば市天王台 1-1-1

4. 実験結果とまとめ

得られた車両加速度応答のデータの連続ウェーブレット変換 (CWT) 結果をスカログラムで示す。スカログラムの縦軸は周波数[Hz]、横軸は車輪が橋梁に入った時からの経過時間[s]、カラーバーの色の濃淡で周波数の強さを示す。破線外に表示されている部分は境界の影響を強く受ける領域であり、考察を行うのは破線内の領域とする。

測定に使用した軽自動車はフロントエンジン・フロントドライブなので前輪の方がより重い。この結果、車両の振動が抑えられ橋梁の振動をとらえやすい前輪の結果に着目する。図4から図6に本実験で得られた前輪のCWT結果のスカログラムを示す。

また、64~128[Hz]の間での強い反応はノイズによる影響であると考ええる。7[Hz]付近に反応が出ているのは橋の固有振動数に近いことから橋の振動が表れていると考えられる。

重度、軽度、健全を比較すると健全のCWT結果の反応が低いことがわかる。軽度>健全>重度の順に橋の振動と考えられる7[Hz]付近の反応が強いことがわかる。しかし、損傷位置である橋梁中央（スカログラムの中央）に特徴的な変化は見られなかった。

またこれらの結果は各損傷ケース 30 回行った計測の1回のデータでしかなく、人が運転を行っているので各走行で同じ経路を走行することは困難である。このような理由により得られたCWT結果は各損傷ケースによって似たような傾向を示しているが全く同じような結果は得られていない。

そこで、画像認識としてよく用いられる深層学習の一つ CNN (Convolution Neural Network：畳み込みニューラル・ネットワーク) を用いることで、CWT が橋梁の損傷検知可能であるかを考察する。

各損傷ケースのCWT結果の画像を学習に約7割の枚数を使用し、残った約3割の画像でテストを行った。得られた画像認識のテスト結果を表3に示す。本研究の目的は橋梁のスクリーニングであり高い精度は求められていない。この

ことを考慮すると高い精度で判別を行っていることがわかる。しかし、健全時の判別がうまく行っていないことがわかる。実験は健全時→軽度損傷時→重度損傷時の順に行った。測定を行うにつれ車両の運転者の技術が上がり速度をほぼ一定に保つことができるようになった。しかし、最初に測定を行った健全時の各測定では速度のばらつきが多かったことで正解率が低くなったと考えられる。計測回数を増やし運転者の技術が向上すれば今回のテスト結果よりさらに精度を高めることが可能であると期待できる。

以上の結果より、車両振動にウェーブレット変換を適用することで損傷規模によって結果の差異があり、画像認識を用いることで高い正解率で判別が行えることが分かった。このことからCWTは橋梁の損傷検知の可能性があり評価指標が存在すると考えられる。

参考文献

[1] 山本亨輔, 大島義信, 金哲佑, 杉浦邦征, ”車両応答の時間周波数解析に基づく橋梁の損傷検知法,” 構造工学論文集 Vol.57A, pp.637-645, 2011

謝辞

本研究に際して、丁寧なご指導をいただきました松島亘志先生に深謝いたします。

表 3 鋼製橋梁実験テスト結果

	正解数	正解率
健全	7/10	70%
軽度損傷	5/6	83%
重度損傷	7/7	100%
全体	19/23	83%

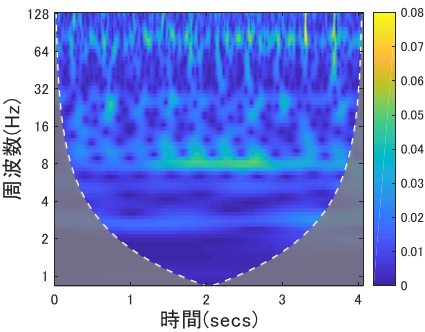


図 4 鋼製橋梁 CWT 結果 (健全時)

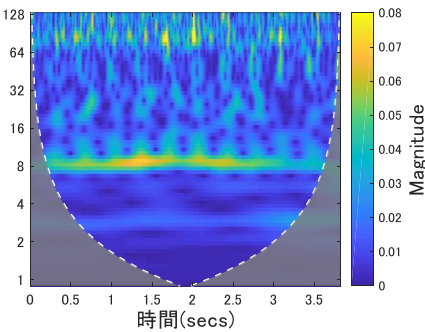


図 5 鋼製橋梁 CWT 結果 (軽度損傷)

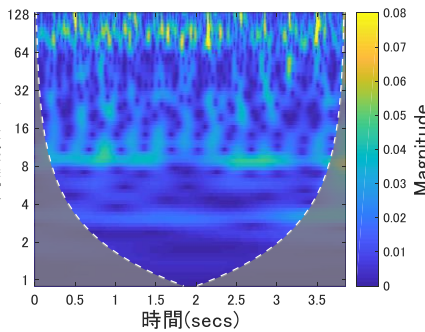


図 6 鋼製橋梁 CWT 結果 (重度損傷)