

車両応答計測と画像認識を用いた道路橋伸縮装置部接触力評価

東京大学 ○田中 裕一郎

東京大学 正会員 蘇 迪

東京大学 正会員 長山 智則

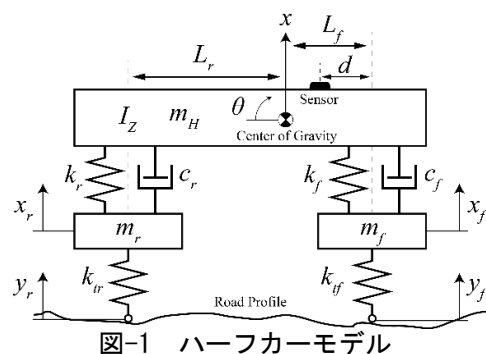
1. 背景・手法

橋梁に使用される伸縮装置（以下、ジョイントと表記する）は走行車両の輪荷重を繰り返し受けるため、疲労損傷の多い箇所である。しかし、予防保全を意識したジョイントの適切な維持管理が行われていない現状がある。

ジョイントに作用する接触力を把握することは維持管理に重要と考えられ、本研究では簡易かつ高精度な推定手法を試みた。まず、データ同化を用いて、車両振動応答から接触力を推定する。次に、路面画像の認識によるジョイント位置を特定する。最後に、両者の結果を利用して、ジョイント部の劣化リスクの相対評価を行う。

2. カルマンフィルタを用いた接触力の推定

推定手法の数値検討として、計測用乗用車はバウンスとピッチング運動を表現可能なハーフカーでモデル化した(図-1)。運動方程式を基にした状態方程式をカルマンフィルタにより時系列的に解くことで、接触力の推定を行う。状態変数は車体の変位 x 、ピッチング角度 θ 、前後輪の変位 x_f, x_r 、前後輪のプロファイル y_f, y_r およびそれらの時間微分である。初めに、車両モデルは実測路面上を一定速度で走行した場合の車両応答及び接触力を Newmark Beta 法により算出し、参考値とする。続いて、計算で得られ



た車両応答を観測値としてカルマンフィルタを適用し、接触力を推定する。既往研究¹⁾では、車体応答のみを採用したが、接触力はタイヤの振動にも依存することを想定し、タイヤの動的応答も観測値として利用された。また、実車計測ノイズを考慮し、すべての動的応答に、応答の RMS 値に対して 10%、20%の値を持つホワイトノイズを付与して考察し、結果を図-2 に示す。

ノイズが無い時は、車両の全固有振動数 15Hz までの推定精度はタイヤの応答情報の有無に関わらず良好であるが、ノイズを付与した場合には、車体応答だけの情報による推定には誤差が見られる結果となった。一方、タイヤを含め全車両応答を利用した場合には、ノイズの大きさに関わらず推定対象である~15Hz を優に超えて精度良く接触力を推定でき、一般の車両のばね下の固有振動数（8~12 Hz）も精度よく適用できる。

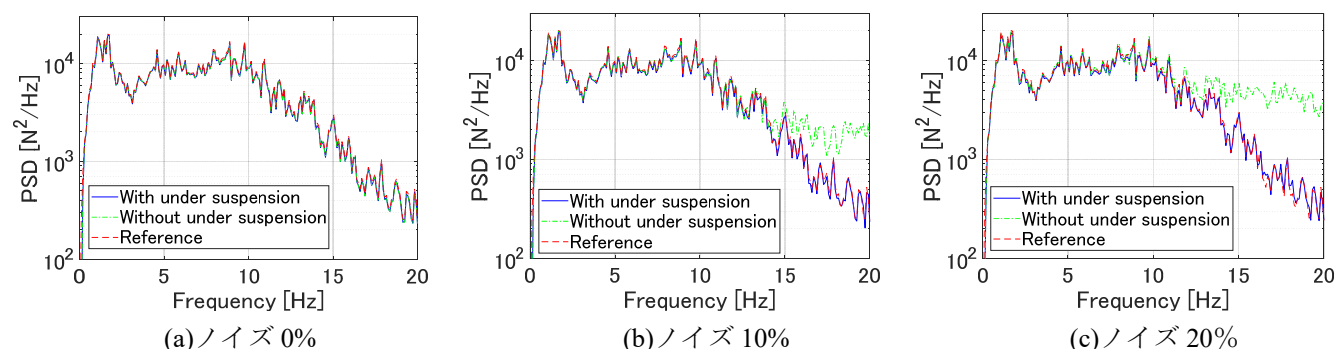


図-2 シミュレーションによる接触力の推定値と参考値の比較

次に、構内の実車走行実験¹⁾を実施し、接触力の実測値を用いた手法の検証を行う。図-3 に示すように、タイヤ応答を利用してデータ同化手法から推定した接触力は実測値とよく一致し、推定の精度が検証されることが明らかとなった。

キーワード 橋梁伸縮装置、接触力推定、カルマンフィルタ、画像認識、ハーフカーモデル

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学工学部 1 号館 330 室 TEL 03-5841-4739

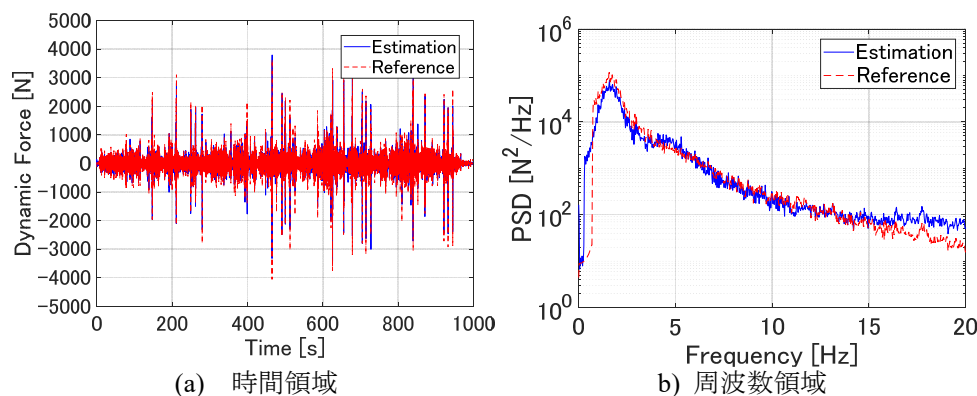


図-3 シミュレーションによる接触力の推定



図-4 ジョイントを検知した様子

3. 画像認識によるジョイント位置の特定

ジョイント部を特定するために、車内に搭載したドライブレコーダーの動画から、画像認識によるジョイントを抽出し、通過した時刻の推定を行った(図-4)。画像認識の機械学習は Single Shot MultiBox Detector (SSD)モデルを採用し²⁾、教師データには Google Street View から用意した。教師データを収集する際に、地方による偏りが生じないように、全国各所からジョイントの映る路面の画像を取得した。教師データに対する精度と、首都高速道路を走行した際に得られたデータに対する精度を算出した。また、計測に使用した車両は日産マーチである。結果を表-1に掲載する。約7割の精度でジョイント部を識別できるが、光の反射より誤識別や陰に同化したジョイントを識別漏れは誤差の原因と認識した。今後精度の向上を目指すには、実計測の教師データを増やすべきであると言える。

表-1 教師データと実測データに対するジョイント部の識別精度

データの種類	Precision	Recall	Accuracy
教師データ同種	0.87	0.9	0.88
実計測データ	0.62	0.70	0.83

4. ジョイント部の健全度評価

最後に、これまでの手法を組み合わせることでジョイント部に作用する接触力の評価及び劣化リスクの相対比較を行う。首都高速道路で計測した車両応答と路面動画から路面に作用する接触力とジョイント通過時刻を推定し、時間同期を行うことで、ジョイントに作用する力の抽出を行った。ジョイント周辺部に作用する動的接触力を考えるために1秒の幅を持たせそのRMSを分布にしたものが図-5である。これに正規分布を仮定し、上位5%を赤、10%をオレンジ、その他を青で色分けし走行ルート上にプロットした図を図-6に示す。これにより、相対的に大きな接触力が作用するジョイントを把握することが出来、維持管理に役に立つあると考えられる。

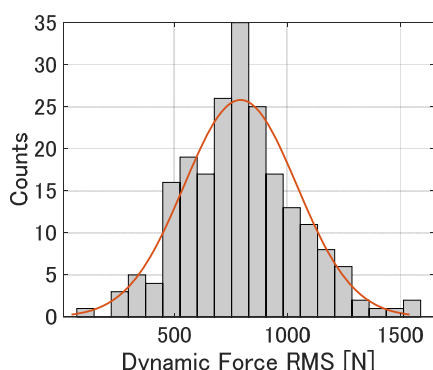


図-5 動的接触力1秒RMSの分布

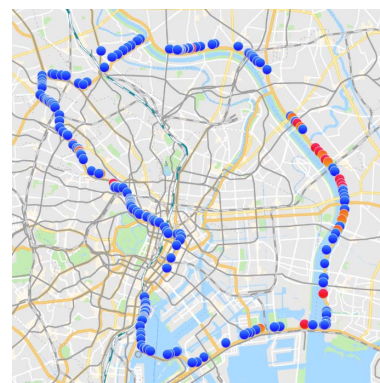


図-6 作用する接触力の相対比較

参考文献

- 1) Wang, H., Nagayama, T., and Su, D.: Estimation of dynamic tire force by measurement of vehicle body responses with numerical and experimental validation, Mechanical Systems and Signal Processing, 123, pp.369-385. 2019.
- 2) Wei, L., Dragomir, A., Dumitru, E., Christian, S., Scott, R., Cheng-Yang, F., Alexander, C.B. : SSD: Single Shot MultiBox Detector, European Conference on Computer Vision, Computer Vision – ECCV 2016, pp.21-37, 2016