

第 I 部門

走行車両による橋梁振動数同定に適した車両モデルの検討

京都大学工学部 学生員 ○中畠 俊祐 京都大学大学院 正会員 金 哲佑
 京都大学大学院 正会員 張 凱淳 京都大学大学院 学生員 長谷川 聡一郎

1.はじめに

現在、我が国では老朽化する橋梁の数が増えてきており、既存構造物の更新時期が集中するため、より迅速な点検をしていく必要がある。目視点検では時間・費用・労力が多くかかり、橋梁に加速度計を設置し無線および有線で計測する方法においても、センサを橋梁上に設置

する必要があることから、目視点検と同様に迅速性に欠ける部分がある。そこで、橋梁上を走行する車両の振動応答成分から橋梁の固有振動数を間接的に抽出する手法（移動車両橋梁点検手法）が提案されており¹⁾、この手法によって効率的に橋梁の点検をすることができる可能性が示されている。しかし、移動車両橋梁点検手法²⁾においては、車両応答に路面凹凸成分が入り、また車両振動数と橋梁振動数が混在してしまい、橋梁の振動数が車両の振動数に埋もれる可能性が高い。本研究では、振動数を調整できるトレーラーを車両に牽引させ、トレーラーの振動から橋梁の振動数をより判別しやすくする方法を検討する。すなわち橋梁振動数の抽出に適するトレーラーモデルについて実験により検討を行う。

2.自由振動実験

本実験は2通りの状況でそれぞれ自由振動実験をおこない、車体のバウンス、ピッチングとロール振動を測定する。1つ目は橋梁上の支承部に車両を載せて地面が固定された状況を作り出して車両のみの振動数を測定する。2つ目は橋梁の中央部に置き、橋梁と連成したときの車両の振動数を測定する。ここで得られる加速度をFFTすることにより車両の振動数を求める。自由振動実験により、第3章の走行実験で使用する車両を決定する。ここで、トラクターの役割は橋梁の加振とトレーラーの牽引であり、トレーラーの役割は橋梁の振動数同定である。トラクターについては振動特性の異なる3種類のトラクター（V1, V2, V3）を用意し、トレーラーについては振動特性の異なる2種類のトレーラー（T3とT4）を用意する。それぞれ質量とばね定数をTable 1に示す。自由振動実験では、V1～V3トラクターの振動数に大きな差はなかったため、走行実験では、バウンス振動数が2.83Hzでピッチング振動数が3.74HzのV3トラクターを適用する。T3トレーラーでは、バウンス振動(3.13Hz)が橋梁の振動数(3.64Hz)と近く、走行実験においてこれらを区別するのは難しい。一方で、T4トレーラーはバウンス振動数が7.45Hzであり橋梁の振動数と差があるため、トレーラー振動から橋梁の振動成分を区別できる可能性は高い。自由振動実験からトレーラーを橋梁中央上で停止させたときに橋梁の振動数を抽出することができた。このことから、トレーラーについてはT4トレーラーを使用することで橋梁の振動特性を検知することができると考えられる。

Table 1 Tractor and Trailer properties

		Tractor			Trailer	
		V1	V2	V3	T3	T4
Mass (kg)	Total	19.67	19.67	21.07	7.68	6.7
	Front axle	9.18	7.39	9.83	3.84	3.35
	Rear axle	10.49	12.28	11.24	3.84	3.35
Spring coefficient (N/m)	Front axle	3067	3697	3067	1279	8464
	Rear axle	3507	6141	3507	1279	8464



Fig. 1 Vehicle model

3. 模型橋梁・車両走行実験

模型橋梁・車両走行実験装置³⁾を使用して走行実験をおこない、車両加速度応答成分による橋梁の振動数同

定について検討する。本実験では Fig. 1 のように金属板でトラクターの後軸とトレーラーの前軸が連結されているためトレーラーのピッチング振動は抽出されなくなり、また、トレーラーの中央に加速度計を置くことによりトレーラーのロール振動成分が抽出されなくなる。以上より走行実験において、トレーラーからはバウンス振動成分のみ抽出されと考えられる。走行実験では加速

度計をトレーラー中央上と橋梁スパン長の $L/4$, $L/2$, $3L/4$ の計 4 ヶ所に設置する。橋梁に取り付けた加速度計から得られる橋梁振動数は、走行車両振動より同定する橋梁振動数の妥当性検討に用いる。模型橋梁は 2 章の自由振動実験で使用したのと同じものである。また、走行速度として 3 種類の走行シナリオ ($S1=0.55\text{m/s}$, $S2=1.05\text{m/s}$, $S3=1.77\text{m/s}$) を検討する。

走行実験による 5Hz 以下のトレーラーのバウンス振動の FFT 波形と橋梁のスパン中央における加速度の FFT 波形をそれぞれ Fig. 2 および Fig. 3 に示す。Fig. 2 と Fig. 3 を比較すると、走行速度 $S1$ (0.55m/s) と $S2$ (1.05m/s) において、それぞれ 3.87Hz の $\pm 0.4 \sim 0.5\text{Hz}$ 付近で卓越が見られる。これは橋梁の振動数と一致しておらず橋梁の加速度から求めた振動数とも異なる結果となった。しかしながら、これらの振動数は再現性が高く、橋梁ヘルスマニタリングの特徴量として利用する可能性がある。速度が大きくなるにつれ分解能が悪くなり、 $S3(1.77\text{m/s})$ では周波数分解能が 0.42Hz となる。そのため、車両の加速度成分から橋梁の振動数成分が同定されたかについては、サンプリング点数と走行速度のバランスを考え、検討していく必要がある。

4. まとめ

本研究の自由振動実験により高い振動数を持った車両の加速度応答成分から橋梁の振動数を得ることができた。しかし、模型橋梁・車両走行実験においては橋梁振動数を明確に卓越させることができなかったが、振動数は再現性が高いことから、橋梁ヘルスマニタリングにおける特徴量としての利用が期待できる。また、低速走行では加振力は弱いものの周波数分解能の向上が期待できることからアクチュエータを車両に搭載するなどの工夫によりトレーラーの振動から橋梁の振動成分を抽出する可能性が高くなると考えられる。今後は、アクチュエータを搭載した車両による検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) Yang, et. al.: Extracting bridge frequencies from the dynamic response of a passing vehicle, Journal of Sound and Vib. 272, pp.471-493, 2004.
- 2) Kim and Kawatani: Challenge for a drive-by bridge inspection, proc. of ICOSSAR 2009, pp.758-765, 2009.
- 3) Kim, et. al.: Drive-by bridge inspection from three different approaches, Smart Structures and Systems, Vol.13, No.5, 775-796, 2014.

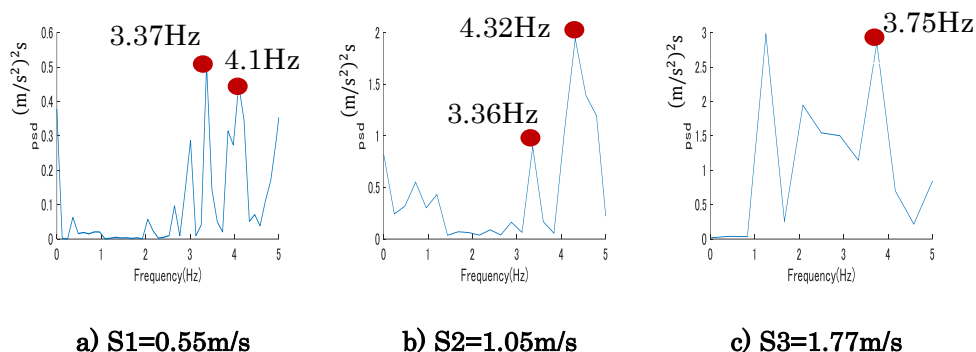


Fig. 2 PSD of the trailer's acceleration response

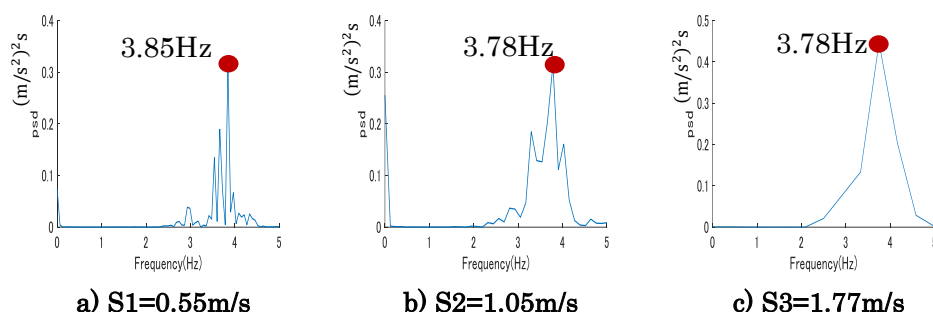


Fig. 3 PSD of the bridge's acceleration response (mid-span)