

星の降る里大橋の車輛走行加振による固有振動特性評価

北海道調査測量株式会社正員
室蘭工業大学フェロー
(株) KGE正員

○松本一希
岸徳光
細川真利

北海道開発局正員
室蘭工業大学正員

三田村浩
小室雅人

1. はじめに

北海道開発局では耐震上および維持管理の観点から建設当初における星の降る里大橋の固有振動特性を評価するために、トラック走行による簡易強制加振実験を実施した。本論文では、この概要を報告すると共に、有限要素法による固有振動解析も実施し、加振実験結果と比較することによって、解析手法の妥当性についても検討を行っている。なお、本加振実験は、供用開始前の平成14年2月に実施している。

2. 星の降る里大橋の概要

星の降る里大橋は、平成13年に一般国道452号線芦別市に建設された2経間連続PC箱桁斜張橋である。本斜張橋は道内最長となる橋長265 m、支間132.5 m + 132.5 m、幅員18.3 mの2経間連続箱桁を二面吊りした構造となっている。図-1には、本斜張橋の概要および加速度計の配置位置を示している。

3. 加振実験の概要

星の降る里大橋の固有振動特性を評価するための加振実験には、積荷によって重量をコントロールしたトラック（総重量 $W = 210 \text{ kN}$ ）を使用した。加振実験は、車輛を所定の速度でA1からA2方向に走行させることにより実施した。また、走行速度 V が振動の励起および固有振動数に与える影響を調べるために走行速度 V を5, 10, 20, 45 km/hの4種類に変化させている。

実験では、固有振動特性を正確に評価するために、図-1に示すようにデジタルサーボ型加速度計を、曲げ振動計測時には桁中央部に18 ch、ねじり振動計測時には桁両端部にそれぞれ10 chずつ設置した。また、計測は加速度計からの出力波形を、10 msecのサンプリングタイムでメモリーレコーダ・アナライザーにて一括収録した。

4. 有限要素法を用いた固有振動解析仮定

図-2には、本斜張橋の要素分割状況を示している。解析モデルは、ねじり振動モードの特定を行うため、全支間を対象とした。使用要素は、主桁、主塔および橋脚に

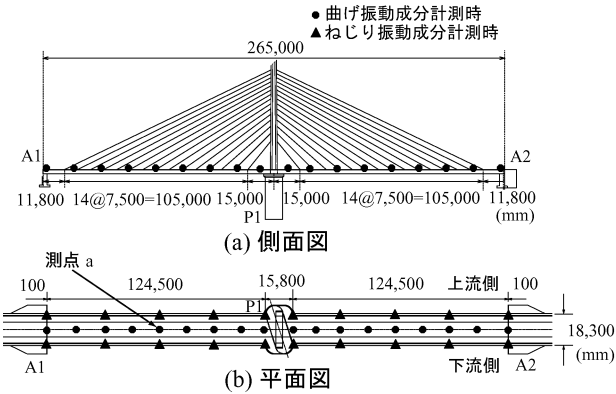


図-1 星の降る里大橋概要

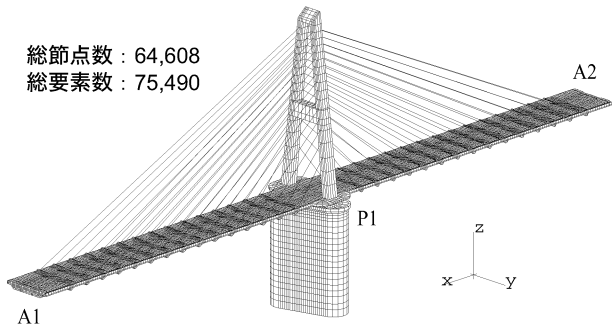


図-2 要素分割状況

表-1 使用物性値一覧

	弾性係数 E (GPa)	ポアソン比 ν	単位体積質量 ρ (kg/m ³)
鉄筋	29.4	0.2	2,500
コンクリート	206	0.3	7,850

対して8節点あるいは6節点固体要素、ケーブルに対しては3次元トラス要素とした。なお、ここでは、計算時間を短縮するために、主桁と比較して剛性および質量の小さいアスファルト舗装および高欄は無視することとした。また、ケーブルの質量は主桁および主塔のケーブル定着部に付加し、ケーブルには設計条件と等しい張力（2.42 ～ 4.63 MN）を導入することとした。

境界条件は、設計条件と同様に可動支点に相当する節点の橋軸直角および鉛直方向を拘束し、水平方向は自由とした。また、橋脚基部は完全固定としている。表-1

には、本解析で使用した物性値の一覧を示している。なお、本解析には三次元構造解析用汎用プログラムであるABAQUSを用いた。

5. 実験結果および解析結果

図-3には、実験結果の一例として $V=45\text{km/h}$ 走行時の測点a（図-1参照）で計測された加速度波形から求められた曲げ振動成分のフーリエスペクトル図を示している。各固有振動モードおよび固有振動数の特定は、図中の卓越振動数に対応するモード分布図を求め、節および腹の変動やモードの連成の無いことを確認して特定した。表-2には、走行速度別に特定された固有振動数を解析結果と比較して示している。表より、実験結果に着目すると走行速度の遅い場合には、曲げ振動モードに関する固有振動数の特定が困難であった。しかしながら、速度の増大とともに固有振動数が特定され、 $V=45\text{ km/h}$ において、最低次固有振動数を含む4個の固有振動数の特定が可能であった。一方、ねじり振動モードに関しては、曲げ振動モードの場合とは異なり、速度の遅い $V=5\text{ km/h}$ の場合に3個の低次固有振動モードの特定が可能であった。

これより、本実験の範囲内では、1) 曲げ振動成分に関しては、速度の増大とともに低次固有振動モードが励起されやすくなること、一方、2) ねじり振動成分は、逆に速度の減少とともに低次固有振動モードが顕在化することが明らかとなった。また、走行速度が固有振動数に与える影響は少ないものの、速度によって、固有振動モードの特定が困難な場合もあることが明らかとなった。

また、表-2より、解析結果と実験結果を比較すると、解析結果の実験結果に対する誤差が最大7%程度であることから、解析結果は実験結果を精度よく再現できているものと判断される。

図-4には、解析結果から得られる曲げ逆対称1次、曲げ対称1次振動の固有振動モード分布を走行実験結果と比較して示している。図より、解析結果は実験結果とほぼ一致していることが分かる。なお、他の振動モードに関しても、解析結果は実験結果とほぼ一致していることを確認している。これより、本解析手法による固有振動特性の評価は、工学的に妥当であるものと考えられる。

6. まとめ

本論文で得られた結果を整理すると以下ようになる。車輻走行実験結果より、

- 1) 曲げ振動成分に関しては速度の増大と共に、ねじり振動成分に関しては速度の減少と共に低次固有振動

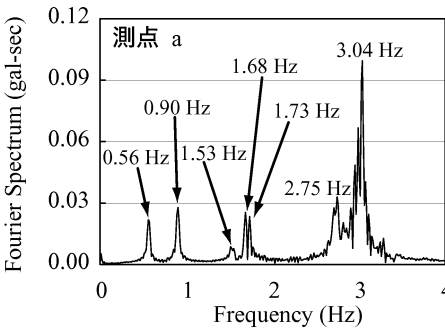


図-3 フーリエスペクトル（45km/h 走行時）

表-2 固有振動数一覧

振動モード		固有振動数 (Hz)				
		5km/h	10km/h	20km/h	45km/h	解析結果
曲げ振動	逆対称1次	—	—	—	0.56	0.60
	逆対称2次	—	—	1.53	1.53	1.45
	逆対称3次	—	—	2.73	—	—
	対称1次	—	0.90	—	0.90	0.91
	対称2次	—	1.73	1.75	1.73	1.65
	対称3次	—	3.31	—	—	—
ねじり振動	逆対称1次	2.37	—	—	2.37	2.20
	逆対称2次	4.38	4.38	4.38	4.38	—
	対称1次	2.54	2.54	2.54	—	2.35

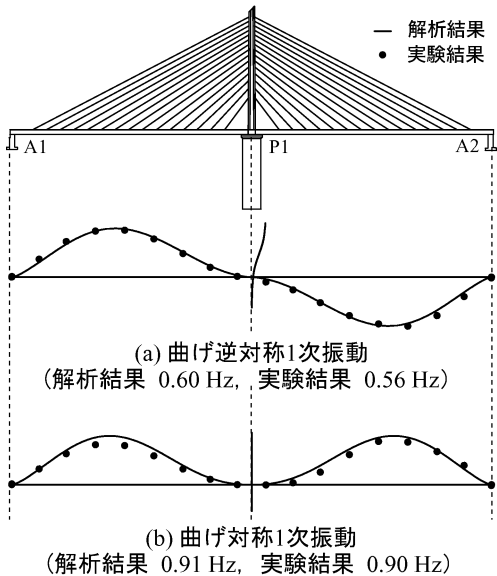


図-4 解析結果と走行実験結果の比較

- モードが顕在化してくる。
- 2) 車輻走行速度が本斜張橋の固有振動数そのものに与える影響は少ないものの、速度によって固有振動モードの特定が困難な場合もある。
- 三次元有限要素法による解析結果より、
- 3) 解析による固有振動数およびその振動モードは、走行実験結果とほぼ一致することが明らかとなった。これより、本解析手法は工学的に妥当なものと判断される。