

既設四径間連続曲線鈑桁橋の固有振動特性に関する現地振動実験

Field tests for evaluation of natural vibration characteristics of an existing four-span continuous curved steel plate girder bridge

室蘭工業大学
室蘭工業大学大学院
(株) 構研エンジニアリング
釧路工業高等専門学校

○ 学生員
正 員
フェロー
フェロー

今井 勇希 (Yuki Imai)
小室 雅人 (Masato Komuro)
川瀬 良司 (Ryoji Kawase)
岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に数多くの道路橋が建設されており、今後、建設後 50 年以上経過した道路橋は急増することになる。一般的な道路橋の耐用年数は 50 年といわれており、これらの橋梁を安全に供用し続けるには、損傷・劣化度診断技術や合理的な補修・補強工法の確立が重要である。

近年、既設橋梁の維持管理や劣化度診断を行う手法として、橋梁の固有振動特性の経年劣化に着目した評価法 (SHM) が検討されている。この手法は、定期的に固有振動特性や減衰定数を測定し、それらのデータを蓄積することによって、橋梁の経年劣化の程度や地震災害等における損傷の有無を評価するものである。

著者らの研究グループでは、これまで北海道内の多数の橋梁を対象に現地振動実験を実施し、固有振動数や固有振動モードの特定を行ってきた。さらに、有限要素法による固有振動解析結果と実験結果との比較によって、橋梁の健全性評価を試みてきた。しかしながら、既往の研究では、比較的長い多径間橋梁に対する検討はあまり実施されていないのが現状である。

このような観点より、本研究では、建設後 28 年が経過した既設四径間曲線鈑桁橋を対象に、今後の合理的な維持管理を行う上で重要と考えられる現時点の固有振動特性評

価を目的として現地振動実験を実施した。

2. 橋梁概要

本研究で対象とした橋梁は、北海道内にある曲線橋 (橋長 144 m, $R \simeq 200$ m) であり、昭和 63 年 (1988 年) に竣工された四径間連続曲線鈑桁橋である。図-1 には対象橋梁主径間部の一般図および断面図を示している。橋梁は主桁 4 本で構成されており、表-1 には、振動実験を実施した主径間部の橋梁諸元を示している。

3. 振動実験の概要

3.1 加速度計の配置

橋梁の振動モードを可能な限り精度よく把握するため

表-1 対象橋梁の諸元

型 式	四径間連続曲線鈑桁橋
橋 長	144 m
支 間	36 m
幅 員	車道 8.5 m
竣 工	昭和 63 年 (1988 年)

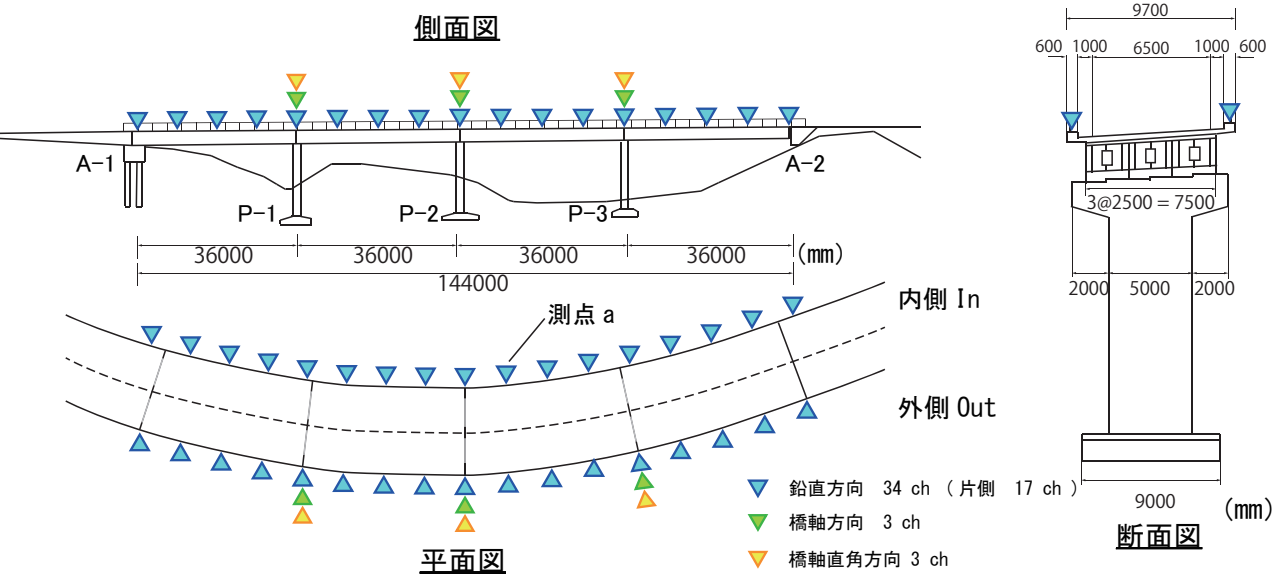


図-1 一般図および振動計配置図



写真-1 大型車両通行状況

に、図-1に示すようにサーボ型加速度計を橋梁上部工に40点設置した。ここでは、曲げおよびねじり振動モードを特定するために両側の地覆部に計34点(感度方向:鉛直方向,片側17点),橋軸方向および橋軸直角方向の振動特性を確認するために、P-1、P-2、P-3橋脚上の外側地覆に計6点(感度方向:橋軸方向および橋軸直角方向)の振動計を設置した。

3.2 実験方法

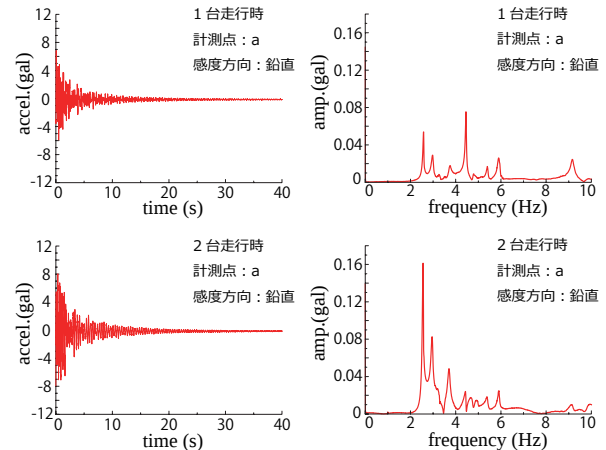
実験は、常時微動および大型車両走行後の自由振動状態における加速度データを収録することとした。橋梁振動は重量調整された大型車両(20 ton ダンプトラック)を幅員中央部に走行させることによって励起させることとし、車両走行速度、走行台数を変え、全13ケースの加速度データを測定した。計測データはデジタルレコーダーによる一括収録とし、サンプリング周波数は200 Hzとした。写真-1は実験時における大型車両通行状況を示している。

大型車両走行後は速やかに交通規制を行い、他の交通振動を排除することにより自由振動状態を確保した。各ケースごとに得られた加速度波形をもとにフーリエスペクトル解析から得られる卓越振動数や位相スペクトルを用いて、固有振動モードおよび固有振動数の特定を行った。

3.3 振動数の決定方法

実測加速度波形を用いた固有振動モードおよび固有振動数の決定方法は、以下の仮定に基づいて実施した。

- 1) 常時微動状態、および大型車両通過後の自由振動状態における全加速度波形を収録する。
- 2) 全測点の収録波形に関する120秒間についてFFT処理を施し、フーリエスペクトルを求める。
- 3) 主要な測点において計測された応答波形のフーリエスペクトルから固有振動数と考えられる卓越振動数を抽出し、フーリエスペクトル、位相スペクトル分布を用いて波形を生成する。
- 4) 固有振動モードを求めるために、3)で求めた各測点における卓越振動数近傍のフーリエスペクトル、位相スペクトル分布を用いて波形を生成する。
- 5) 4)で求められた各測点の加速度波形について、振幅の大きい測点の波形を基準にして1/8周期毎に橋軸方向全測点における振幅値を用いて振動モードを求め、モードの節および腹の位置が各周期毎で移動せず、振動モードが連成していないことを確認し、固有振動



(a) 加速度波形

(b) フーリエスペクトル

図-2 加速度波形およびフーリエスペクトルの一例

モードを決定する。

4. 実験結果と考察

4.1 計測加速度波形とフーリエスペクトル

図-2には、実験結果の一例として、大型車両走行後($V=50$ km/hで1台および2台走行時)に測点aで計測された40秒間の加速度波形と、その加速度波形から得られたフーリエ振幅スペクトルを示している。なお、スペクトル解析には24,000個のデータ(120秒間)を使用した。

図より、最大加速度振幅は走行台数で異なり、2台走行後では最大8.0 gal、1台走行後では最大6.8 gal程度の加速度振幅が得られていることが分かる。また、加速度波形から得られたフーリエスペクトルには、複数の卓越振動数が存在する。なお、その振幅は走行条件によって異なることが分かる。

4.2 振動モード分布

図-3には、図-2に示したフーリエスペクトルをもとに特定した本橋梁の固有振動モード分布図の一例を示している。全測定ケースのフーリエスペクトルをもとに、対象橋梁の固有振動モード及び振動モード分布を特定した。なお、両側の振幅の大きさを比較するために、すべての振動モード図で内側の最大振幅が1となるように正規化している。図中の点線は、基準となる内側の正規化振幅を示している。振動モード分布は、1/8周期ごとに表示している。

図-3より、曲げ2次、3次およびねじり2次、3次振動モードにおいて支点上で若干の振動が確認されるものの、その他では節と腹が明確に現れており、本実験では、ねじれ3次振動モードまでを特定することができたものと判断した。なお、内側と外側における振動モード分布を比較すると、すべての固有振動モードで外側の最大振幅が内側のそれよりも大きく示されている。これは曲線橋梁特有の現象である。

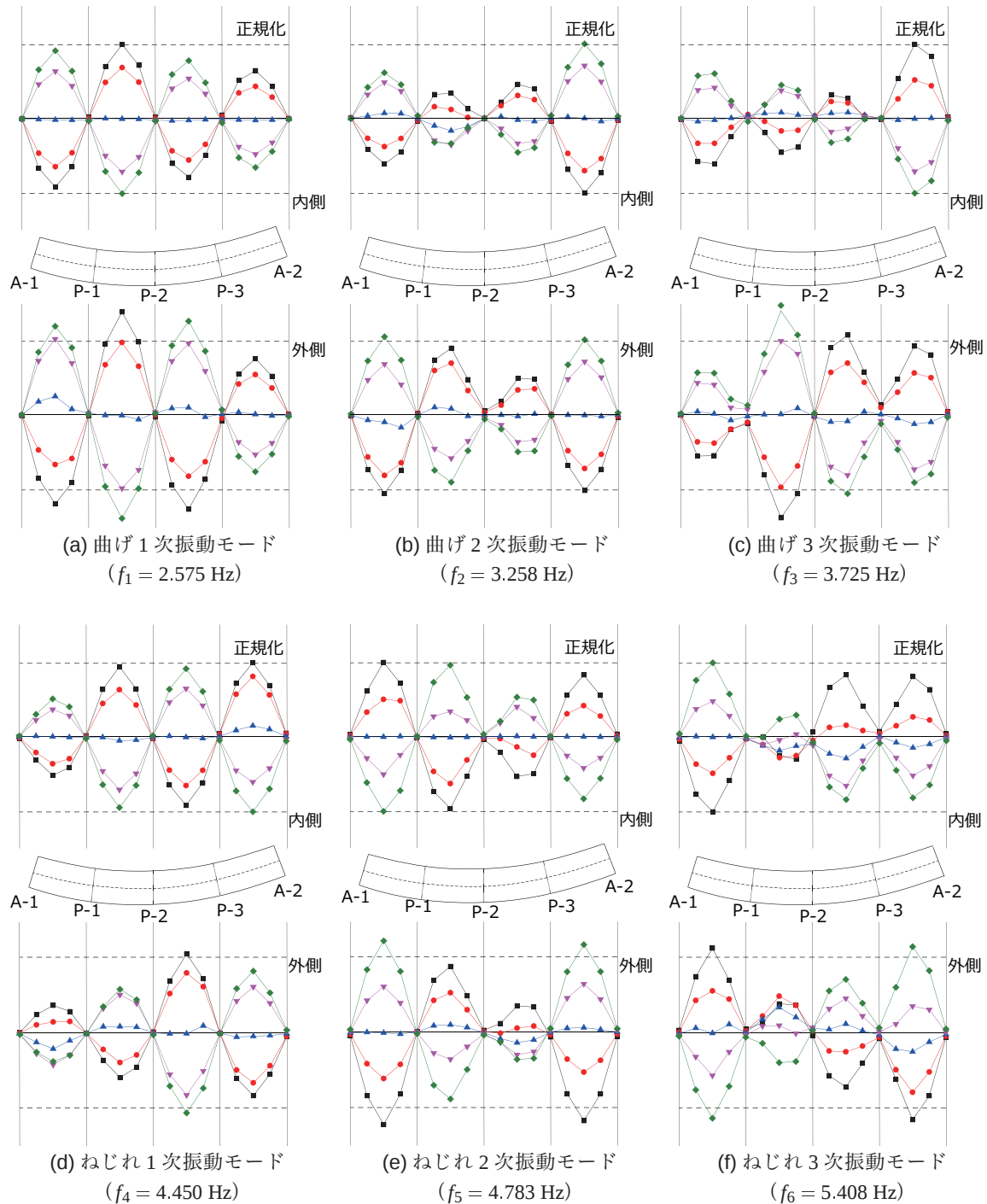


図-3 振動モード分布 ($V = 50 \text{ km/h}$ 1 台走行時)

次に、各固有振動モードを詳細に着目すると、最低次固有振動モードである曲げ 1 次振動モード (a 図) に関しては、各径間の振幅に若干の差異が見られるもののほぼ対称の振動モード分布であることが分かる。

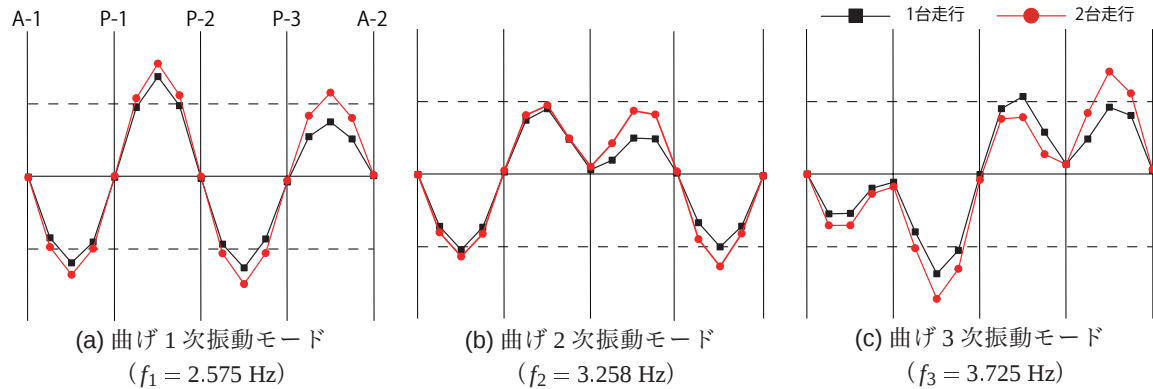
一方、曲げ 2 次 (b 図)、曲げ 3 次振動モード (c 図) では、各径間の振幅が異なり、必ずしも対称とはなっていない。これは、本実験では車両走行後の減衰自由振動波形をもとにモードを特定していることから、高次振動モードになるほど対称な振動モードを特定することは難しいことを示唆している。

なお、本実験結果で特定された振動モード等の妥当性、

および橋梁の健全性を検証するためには有限要素法を用いた固有振動解析を行い、検討する必要がある。

4.3 各走行ケースによる固有振動数への影響

表-2 には、本実験により特定された代表的な実験ケースにおける固有振動数を整理したものである。表には、車両走行台数および走行速度等の条件が異なる結果を示している。表より、異なる車両条件においても得られる固有振動数は、ほぼ一致していることから、固有振動数におよぼす走行車両数および車両走行速度の影響は小さいことが分かる。



図－4 振動モード分布比較 (V=50 km/h)

表－2 固有振動数の比較

固有振動モード	固有振動数 (Hz)			
	1 台		2 台	
	50 km/h	50 km/h	40 km/h	30 km/h
曲げ 1 次	2.575	2.550	2.575	2.567
曲げ 2 次	3.258	3.275	3.242	3.224
曲げ 3 次	3.725	3.708	3.716	3.716
ねじれ 1 次	4.450	4.433	4.450	4.450
ねじれ 2 次	4.783	4.750	4.758	4.733
ねじれ 3 次	5.408	5.391	5.340	5.383

4.4 車両走行による振動モード分布の比較

図－4には、車両台数が1台および2台の場合について、曲げ3次振動モードまでを比較したものである。ここでは、車両走行速度 $V = 50 \text{ km/h}$ の場合における1台および2台走行時の橋梁外側の振動モード分布を示している。図中の点線は、両ケースにおける内側の正規化振幅を表している。

図－4より、1台および2台走行時における振動モード分布を比較すると、いずれの場合も節と腹が明確に確認できることが分かる。さらに、いずれの振動モードにおいても、2台走行時の振幅が1台走行時のそれよりも大きく示されている。このことは、車両走行時に励起される橋梁の振動振幅は、走行台数によって影響を受けることを示唆している。

以上より、比較的長い橋梁の固有振動特性を適切に把握する場合には、橋梁に与える起振力が大きいほど効果的であることが分かる。

5. まとめ

本研究では、建設後約28年が経過した曲線橋を対象に、

固有振動特性評価を目的に車両走行による振動実験を実施した。本研究の範囲内で得られた結果を整理すると、以下の通りである。

- 1) 車両走行後の振動計測により、低次の固有振動数および振動モード分布を特定した。
- 2) 走行車両数(走行車両の重量)や車両走行速度が固有振動数に及ぼす影響は少ない。
- 3) 橋梁に励起される振動振幅は、走行車両数の影響を受け、車両数が多いほど、振幅は大きくなる。

今後は、設計図書に基づいた詳細な有限要素モデルを構築するとともに、有限要素法による固有振動解析を実施し、実験結果の妥当性および健全性を検討する予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、室蘭工業大学構造力学研究室の皆様には現地振動実験における加速度計の配置等をはじめ多大なるご協力を頂いた。ここに記し、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 小室雅人, 川瀬良司, 栗橋祐介, 岸 徳光: 二径間連続非合成曲線鋼桁橋の固有振動特性に関する現地振動実験, 土木学会北海道支部論文報告集, CD-ROM, 72, A-42, 2015.
- 2) 西 弘明, 佐藤 京, 小室雅人, 岸 徳光: 供用後73年経過した旭橋の固有振動特性評価に関する一考察, 鋼構造年次論文報告集, 15, 269-276, 2007.
- 3) 山本修司, 小室雅人, 川瀬良司, 岸 徳光: 床版打換えによる鋼合成桁橋の固有振動特性に関する実験的検討, 鋼構造年次論文報告集, 21, 825-831, 2013.