



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



積雪寒冷地域における道路構造物の高度化・長寿命化に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学地域共同研究開発センター 公開日: 2019-03-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 川瀬, 良司, 小室, 雅人, 栗橋, 祐介, 岸, 徳光 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009765

積雪寒冷地域における道路構造物の高度化・長寿命化 に関する研究

川瀬 良司*1, 小室 雅人*2, 栗橋 祐介*2, 岸 徳光*3

1 はじめに

我が国では、高度経済成長期に数多くの橋梁が建設されており、今後耐用年数を超過した橋梁が増大する。このような橋梁を安全に供するためには、劣化診断技術や合理的な補強・補修法の確立が非常に重要となる。

近年、既設橋梁の合理的な維持管理に向けて構造ヘルスマニタリング (SHM) に関する研究が盛んに行われている。著者らもこれまで北海道内の橋梁を対象に振動実験を実施し、固有振動数や振動モードを特定するとともに、有限要素法による固有振動解析結果との比較によって橋梁の健全度評価を行ってきた¹⁾。一方で著者らの既往の研究では、直線橋を対象とした場合が多く曲線橋に関する検討²⁾はほとんど実施していない。

このような観点より、本研究では、既設曲線鋼桁橋を対象に、今後の維持管理を念頭に現時点における固有振動特性の評価を目的として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、北海道上川郡にある曲線橋 (橋長 79 m, 曲線半径 $R \approx 110$ m) であり、昭和 49 年に竣工された二径間連続非合成曲線鋼桁橋である。図 1 には対象橋梁主径間部の一般図を示している。橋梁は主桁が 3 本で構成されており、床版には 6 % の横断勾配が付いている。

*1: 株式会社 構研エンジニアリング

*2: 室蘭工業大学 暮らし環境系領域

*3: 釧路工業高等専門学校

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。

表 1 対象橋梁の諸元

型 式	二径間連続非合成曲線鋼桁橋
支 間	79 m (39.5 + 39.5 m)
全 幅	9.2 m (0.6 × 2 + 4 × 2 m)
竣 工	昭和 49 年 (1974 年)

3 振動実験の概要

3.1 振動計の配置

本実験では、橋梁全体系の振動特性を可能な限り精度よく把握するために、図 1 に示すようにサーボ型振動計を設置した。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上・下流側の地覆部に計 34 点 (感度方向: 鉛直方向)、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、P1-P2 径間中央に計 6 点 (感度方向: 橋軸方向および橋軸直角方向) に振動計を設置した。

3.2 実験方法

実験は、常時微動および大型車両通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、車両の走行速度を 30, 40, 50 km/h と変化させて実施した。なお、大型車両通過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って自由振動状態を確保した。写真 1 には、大型車両による実験状況を示している。

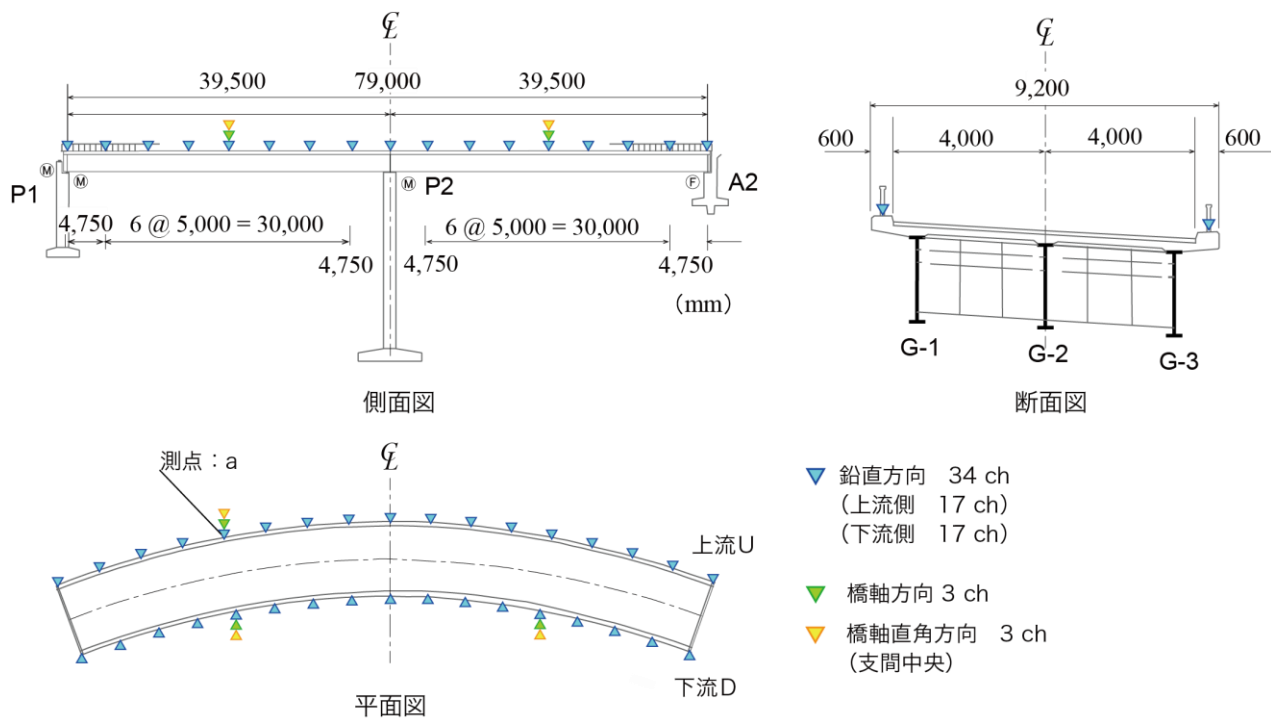


図 1 一般図および振動計配置図



写真 1 大型車両による実験状況

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、以下の過程に基づいて実施した。すなわち、

- 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 81.92 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、固有振動モードを決定する。

4 数値解析の概要

数値解析モデルは建設当時の設計図書を参考に可能な限り詳細にモデル化を行った。図 2 には、数値解析に用いた有限要素モデルを示している。主桁などの鋼材部には 4 節点シェル要素、RC 床版部には 8 節点ソリッド要素を用いた。なお、高欄や橋脚、橋台に関しては、振動特性に及ぼす影響が小さいと考えられることからモデル化を省略

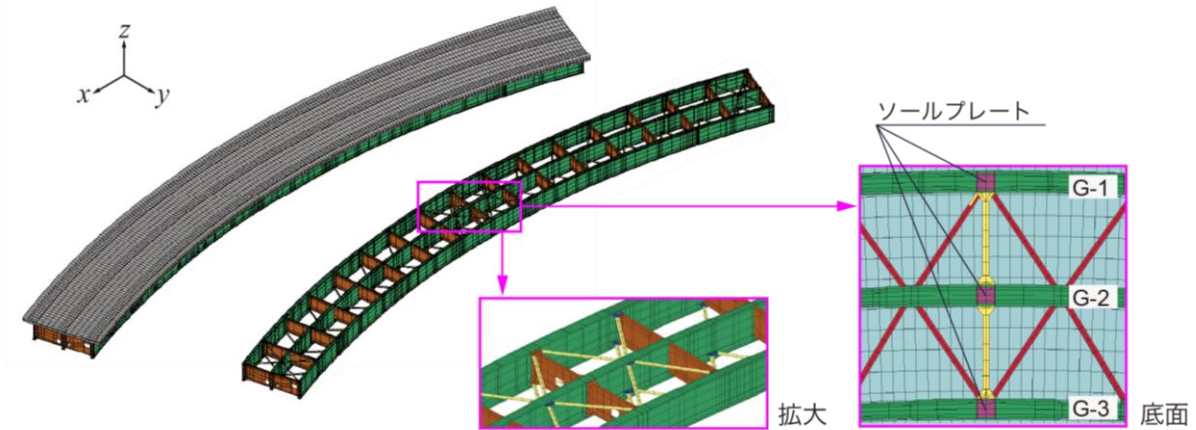


図2 有限要素モデル

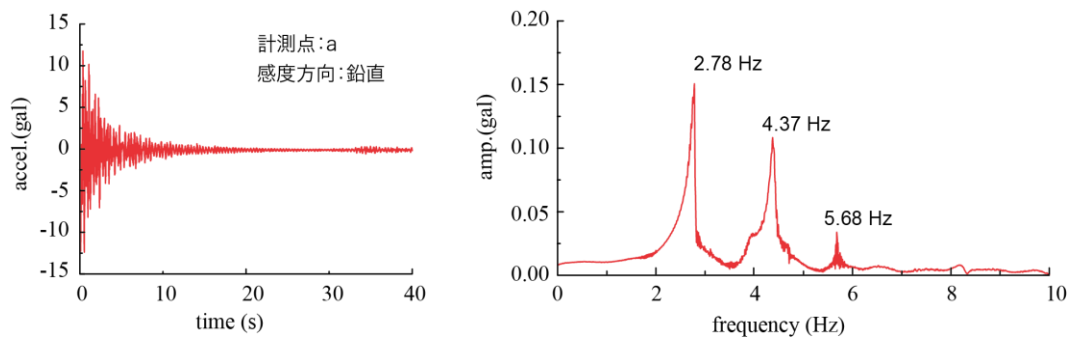


図3 加速度波形の一例とそのフーリエ振幅 (V = 50 km/h)

した。総節点数および総要素数はそれぞれ 36,444, 29,211 である。

境界条件は、図2に示すようにソールプレートの節点に与えた。また、設計条件に基づき、P1-P2 橋脚の支承を理想的な可動支承とし、A2 橋脚の支承を固定支承とした。なお、数値解析には構解析用汎用プログラム ABAQUS³⁾ を使用した。

5 実験結果と数値解析結果および考察

5.1 計測加速度波形とフーリエスペクトル

図3には、実験結果の一例として、大型車両通行後 (V = 50 km/h) 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を示している。なお、スペクトル解析には 16,384 個のデータ (81.92 秒間) を使用した。

図より、最大加速度振幅は 12 gal 程度であるこ

とが確認できる。また、加速度波形から得られたフーリエ振幅には、複数の卓越振動数が存在することが分かる。これらの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。

5.2 振動モード分布

図4には、図3に示した加速度スペクトルをもとに特定された振動モードを示している。全ての振動モードは上流側の最大振幅が 1 となるように正規化している。図中の点線は、基準となる上流側の正規化振幅を示している。なお、曲げ振動のモード分布は全て上流側の加速度波形を用いて算定したものである。

図4より、いずれのモード分布においても節と腹が明確に現れており、各固有振動モードに対応するものであることが分かる。また、各固有振動モードに着目すると、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、側径

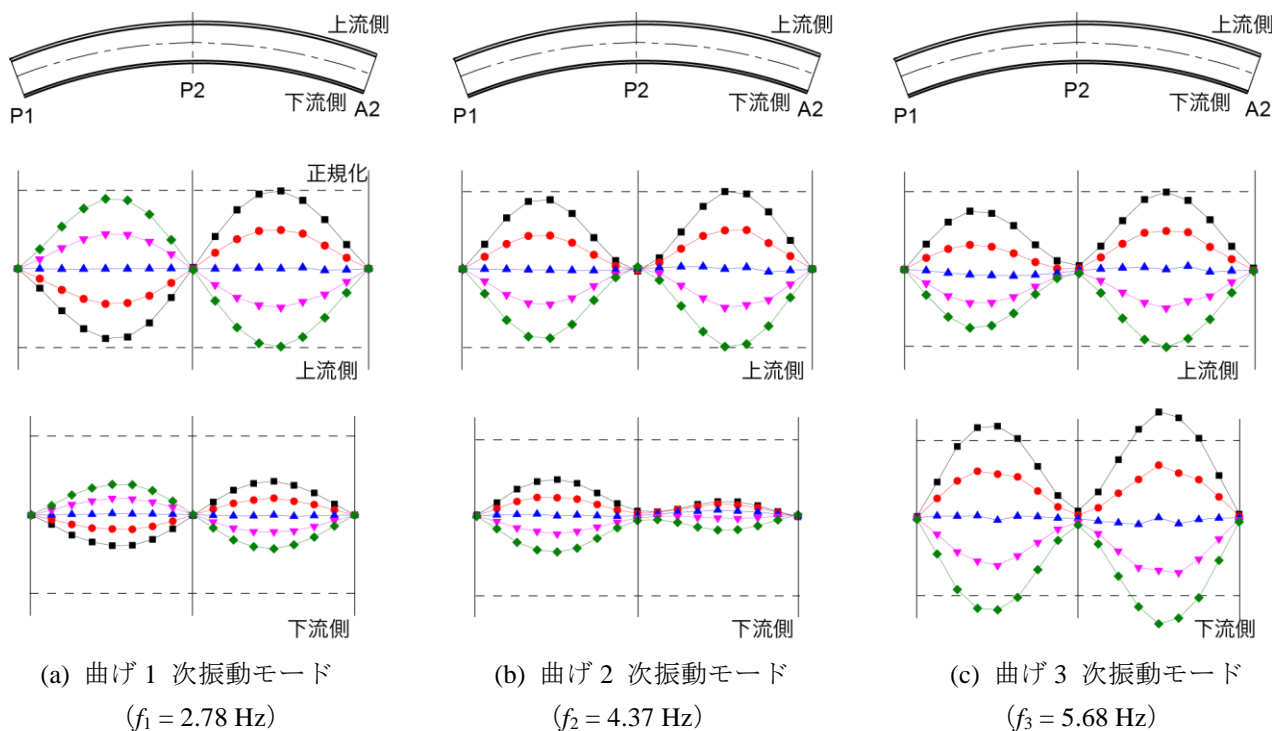


図 4 振動モード分布 ($V = 50 \text{ km/h}$)

表 2 固有振動数の比較

固有振動モード	実験結果			数値解析結果	
	$V = 30 \text{ km/h}$	$V = 40 \text{ km/h}$	$V = 50 \text{ km/h}$	設計条件	固定条件
曲げ 1 次振動	2.80 Hz	2.80 Hz	2.78 Hz	2.31 Hz	3.83 Hz
曲げ 2 次振動	4.39 Hz	4.38 Hz	4.37 Hz	3.48 Hz	4.19 Hz
曲げ 3 次振動	5.69 Hz	5.69 Hz	5.68 Hz	4.44 Hz	5.00 Hz

間の振幅がほぼ対称のモード分布を呈している。また、上下流側の振幅を比較すると上流側の方が大きい。一方、曲げ 2 次の振動モード (b 図) と曲げ 3 次振動モード (c 図) の場合には、側径間において必ずしも対称性を満足していないことが分かる。曲げ 2 次振動モードでは上流側では P2-A2 橋脚間が下流側では P1-P2 橋脚間の振幅が大きくなっている。また、上・下流側の振幅を比較すると、曲げ 1 次振動モードと同様に上流側の方が大きい。

図 5 には、実験結果と固有振動解析結果を比較して示している。また、図 6 には固有振動解析結果から得られた振動モード (変形倍率は 3500 倍) を示している。

図 5 (a) に示す曲げ 1 次振動モードに着目すると、実験結果と解析結果が非常に一致しているこ

とが分かる。(b) 図に示す曲げ 2 次振動モードに着目すると、P2-A2 間で両者に若干の差は見られるものの、全体的には概ね一致している。一方、実験結果で特定された 3 次振動モードに関しては数値解析結果では確認されていない。この理由については、現時点では不明であり、今後更なる検討が必要である。また、上流側と下流側の振幅を比較すると、前者の方が後者よりも大きい。これは、曲線桁特有の現象であり、ねじり剛性の影響によるものと考えられる。

5.3 固有振動数

表 2 には、本実験結果により特定された固有振動数を、固有振動解析結果と比較して示している。表には、設計条件の他に、経年劣化によって可動支承の機能が低下していることも予想されることより、P1-P2 橋脚の支承条件を固定支承に変更し

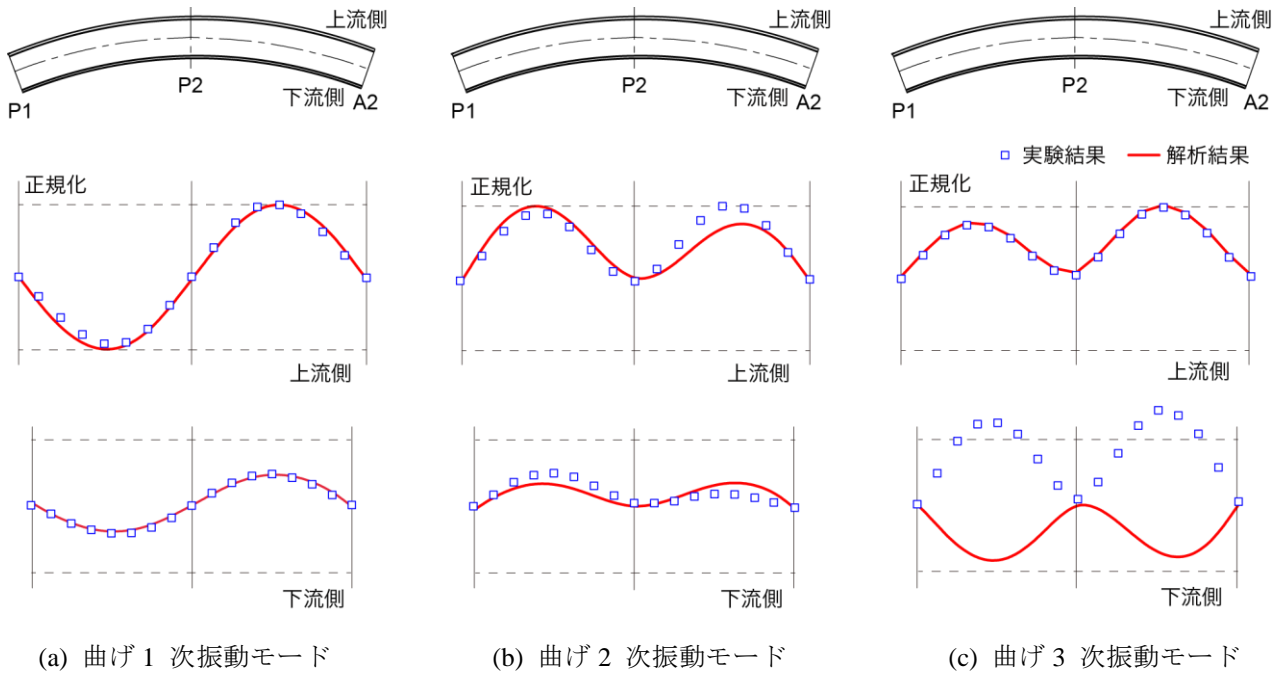


図5 振動モード分布の比較

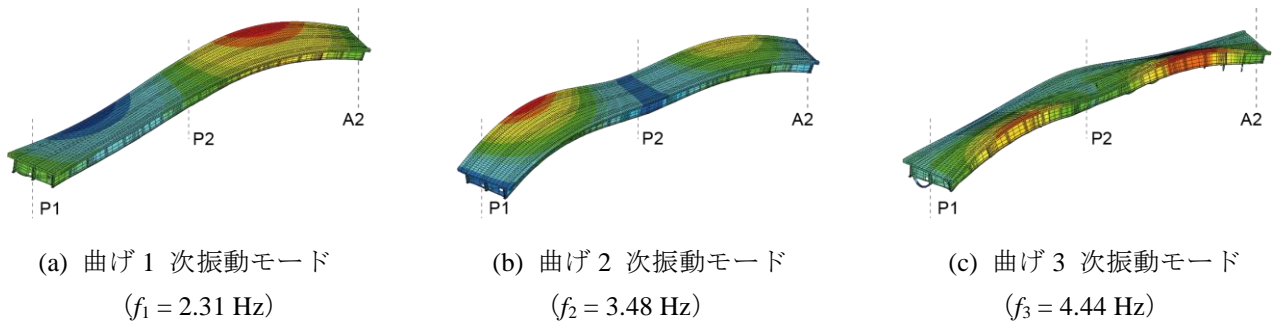


図6 固有振動解析から得られる振動モード分布 (支承：設計条件)

た場合の結果についても示している。

表より、車両走行速度によらず実験結果はほぼ等しい値を示している。これより、車両走行速度が固有振動数に及ぼす影響は極めて小さいことが分かる。解析結果の固有振動数に着目すると、設計条件の場合には、いずれの振動モードにおいても実験結果よりも小さいことが分かる。一方、P1-P2 橋脚の支承条件を固定支承とする場合には、曲げ 1 次振動モードの固有振動数が実験結果よりも大きく示されており、実橋梁の支承は設計条件と固定支承の間に位置しているものと考えられる。このことは、実際の可動支承には、摩擦抵抗が存在することから、これらの影響を解析モデルに適切に反映させる必要があることを示唆してい

る。

6 まとめ

本研究では、供用開始後約 42 年が経過した二径間連続非合成曲線鋼桁橋を対象に、今後の維持管理の観点から固有振動特性の把握を目的に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) また、車両の走行速度が固有振動数に与える影響は小さいことを実験的に確認した。

- 3) 曲げ振動において上・下流側で振幅が異なることを確認した。

謝 辞

振動実験の実施にあたっては、室蘭工業大学構造力学研究室の学生諸君に多大なるご協力を頂いた。実験データの整理に関しては、同研究室の中谷幸太君（現(株)構研エンジニアリング）にご助力を頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 西 弘明, 佐藤 京, 岡田慎哉, 小室雅人, 岸 徳光: 曲線箱桁橋の固有振動特性評価に関する実験的・解析的研究, 鋼構造年次論文報告集, 16, 317-324, 2008.
- 3) ABAQUS Analysis User's Manual, Ver. 6.13, Dassault Systèmes Simulia Corp.