

三径間連続鋼斜張橋の固有振動特性に関する現地振動実験

Field vibration tests for evaluation of natural vibration characteristics of an existing three-span continuous cable-stayed bridge

室蘭工業大学
構研エンジニアリング
室蘭工業大学
釧路工業高等専門学校

正員 ○小室 雅人 (Masato Komuro)
フェロー 川瀬 良司 (Ryoji Kawase)
正員 栗橋 祐介 (Yusuke Kurihashi)
フェロー 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、橋梁の維持管理や劣化度診断を行う一つの手法として、橋梁の固有振動特性の経年変化に着目した評価法が検討されている。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等の自然災害発生時における損傷の有無を適切に評価しようとするものである。

このような背景のもと、著者らはこれまで北海道内における数多くの橋梁(例えば、石狩河口橋¹⁾、新石狩大橋²⁾や旭橋³⁾等)を対象に、その固有振動特性を評価するための常時微動観測や強制加振実験を実施してきた。さらに、建設当時の設計図書を基に詳細な有限要素モデルを構築し、固有振動解析を実施するとともに、両者を比較することによって、その健全性の評価を行っている。

本研究では、これらの研究成果を踏まえ、音更町と幕別町が管理する三径間連続鋼斜張橋である十勝中央大橋を対象に、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。また、供用開始直前に実施された振動実験結果^{4),5)}との比較により、現時点における同橋梁の健全性に関する検討を試みた。

2. 橋梁概要

本研究で対象とした橋梁は、北海道の東部にある十勝川を横断する十勝中央大橋(橋長 772.5 m)であり、農林水産省所管の道営広域営農団地農道事業によって昭和 63 年に竣工され、現在は音更町と幕別町がその管理を行っている。同橋梁は、主径間部が三径間連続斜張橋、側径間部が三径間(右岸)および二径間連続非合成箱桁橋(左岸)から構成される。図-1には対象橋梁の主径間部(斜張橋部)における一般図を示している。本橋梁は、主桁に無塗装耐候性鋼材を使用した箱桁を、主塔に鉄筋コンクリートを、ケーブルに PC 鋼線を用いた複合斜張橋である。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。写真-1には橋梁の全景および桁下部を示している。

表-1 十勝中央大橋(主径間部)の橋梁諸元

型 式	三径間連続斜張橋
支 間	450 m (100 + 250 + 100 m)
桁 長	451.2 m
主塔の高さ	52 m
全 幅	12.3 m (0.4 × 2 + 1.5 + 7.5 + 0.5 + 2.0 m)
竣 工	昭和 63 年 (1988 年)

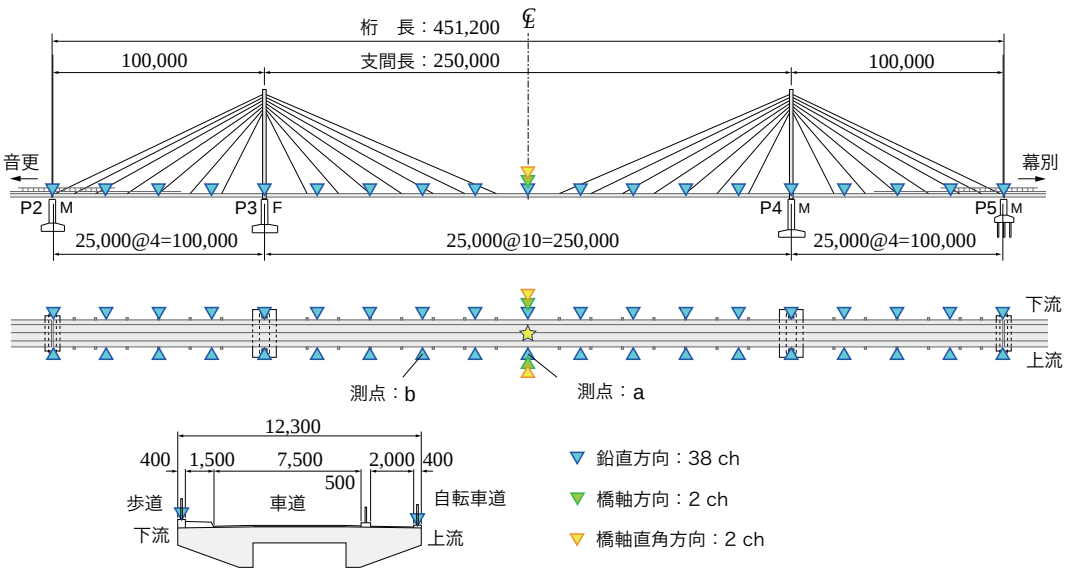


図-1 一般図および振動計配置図

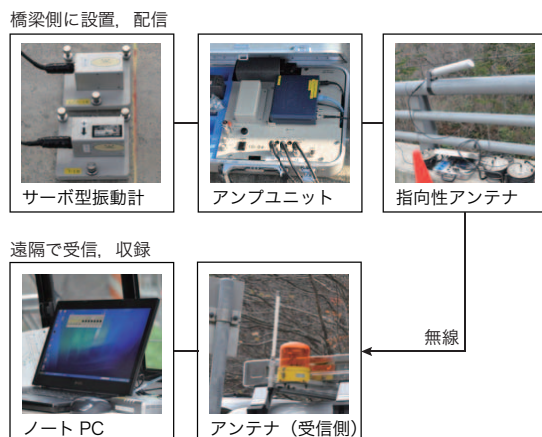


(a) 全景



(b) 桁下部

写真－1 十勝中央大橋



図－2 計測システム

なお、本橋梁は、これまでに舗装、伸縮装置および支承アンカーボルトの補修等が実施され、現在に至っている。

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に示すようにデジタルサーボ型振動計を用いて計測を行った。具体的には、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38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、P3-P4 径間中央に計4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 計測システム

図－2には、本計測システムの概要を示している。全てのサーボ型振動計からの加速度出力は、専用のアンプユニットを介して送信用の指向性アンテナから受信用アンテナに無線によって送信され、収録用 PC にて一括収録している。計測のサンプリングタイムは5msであることより、最大計測周波数は200Hzとなる。

3.3 実験方法

本実験では、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。すなわち、大型車両通過後に速やかに交通規制を行い、他

の車両の通行を排除することによって自由振動状態を確保した。また、実験は片側交互通行で実施し、大型車両を上流側あるいは下流側に走行させることにより複数回実施している。

3.4 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。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40.96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－3には、実験結果の一例として、大型車両通行後に測点a、b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スペクトル分布を示している。なお、スペクトル解析には8,192個のデータ(40.96秒間)を使用した。

図より、いずれの測点においても最大3gal程度の加速度振幅が得られていることが確認される。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ことが分かる。なお、測点によって得られる卓越振動数が異なる。これは、振動モードによって着目する測点部が節となるような場合にはスペクトル値が小さくなるため、卓越振動数が明確に現れないこと

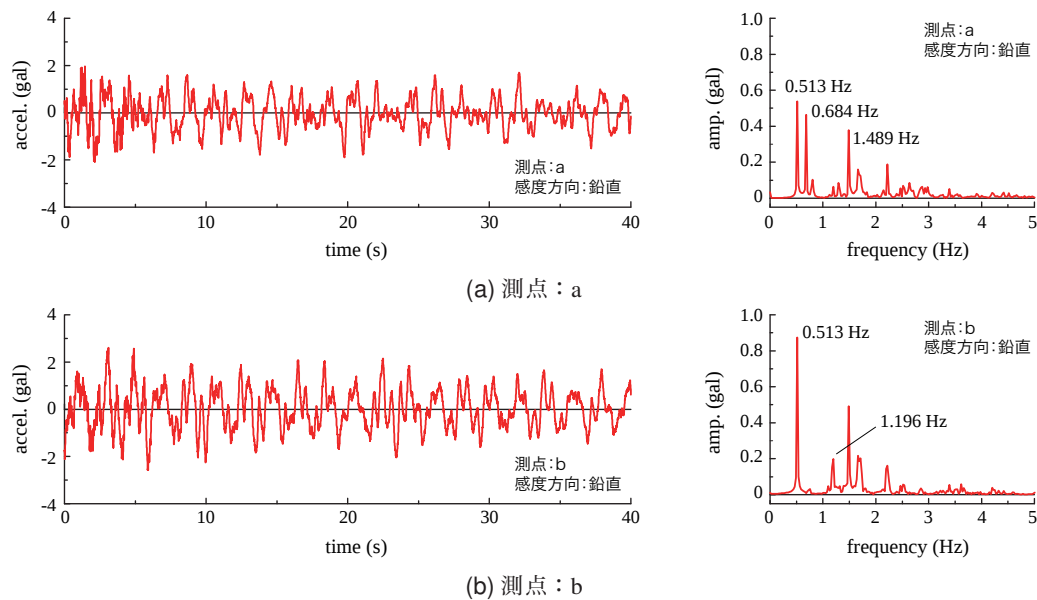


図-3 実験から得られた加速度波形および振幅スペクトルの一例

を意味している。これらの卓越振動数を基に、前述の方法によって固有振動モードの特定を行った。

4.2 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基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。また、表-2には、本実験により特定された固有振動数を示している。

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(a図)と曲げ2次の振動モード(b図)に関しては、中央径間および側径間の振幅がそれぞれ対称のモード分布を呈している。一方で、高次の固有振動モードである曲げ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。また、(d)図に示すねじり1次振動モードにおいても、上下流側で振幅が若干異なっている。しかしながら、全体的には概ね左右対称の振動モード分布を呈しており、良好な結果が得られているものと判断される。

4.3 既往の実験結果(竣工時)との比較

表-2には、常時微動および車両走行後の自由振動状態より特定された固有振動数を、供用開始直前に実施された実験結果と比較して示している。なお、既往の実験結果において曲げ3次振動モードの固有振動数は確認されていない。表より、低次振動モードである曲げ1次および曲げ2次振動モードの固有振動数は、いずれの場合もほぼ等しい値を示していることが分かる。

一方、ねじり1次振動モードにおいては、本実験結果と既往の実験結果に若干の差異が確認される。しかしながら、既往の振動実験において、文献3)では振動計が1点、文献4)では8点(上流側2点、下流側6点)と、本実

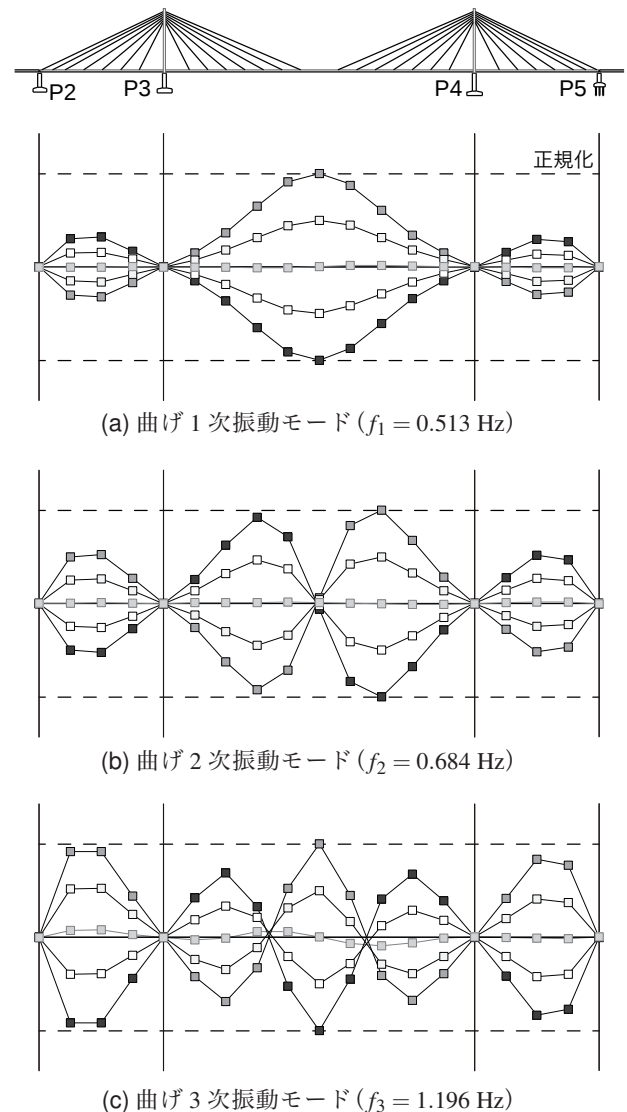


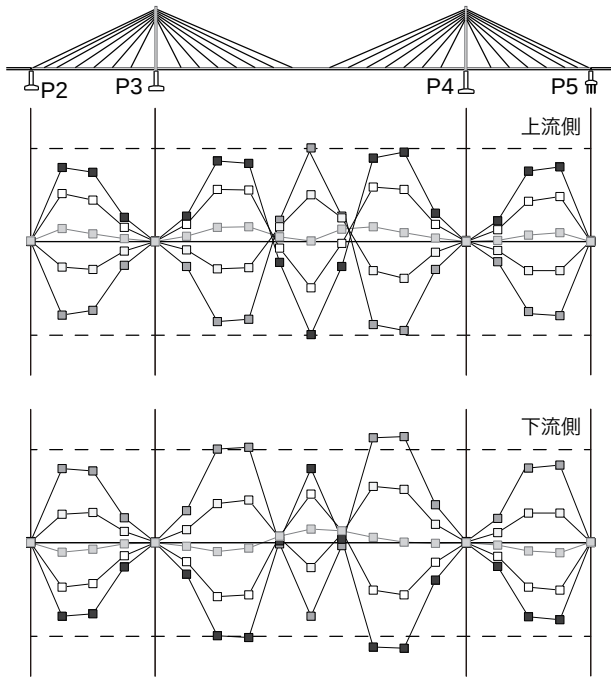
図-4 振動モード分布

表－2 固有振動数の比較

固有振動モード	本実験結果		既往の実験結果	
	常時微動	車両走行後	文献 3) ^{*1}	文献 4) ^{*2}
曲げ 1 次振動	0.513 Hz	0.513 Hz	0.510 Hz	0.513 Hz
曲げ 2 次振動	0.684 Hz	0.684 Hz	－ Hz	0.688 Hz
曲げ 3 次振動	1.196 Hz	1.172 Hz	－ Hz	－ Hz
ねじれ 1 次振動	1.489 Hz	1.489 Hz	1.587 Hz	1.763 Hz

*1固有振動周期から逆算

*2常時微動から特定

(d) ねじり 1 次振動モード ($f_4 = 1.489 \text{ Hz}$)

図－4 続き

験と比較して格段に少ない振動計で固有振動数を特定していることに留意すべきである。

なお、本実験結果の常時微動観測と車両走行後の固有振動数を比較すると、曲げ 3 次振動において若干の差異が確認されるものの、その他の固有振動数は一致している。これより、本橋梁の固有振動特性は、常時微動観測結果のみで十分把握できることが明らかになった。

以上より、本実験で得られた低次モードの固有振動数が既往の実験結果と一致していることから、本橋梁は全体系としての著しい損傷はなく、建設当時とほぼ同程度の健全性を保持しているものと判断される。

5. まとめ

本研究では、供用開始後約 25 年が経過した十勝中央大橋を対象に、健全性確認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。また、既往の実験結果と比較

することにより、健全性に関する検討も行った。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) 常時微動観測と車両走行後の自由振動状態から特定した固有振動数は一致する。
- 3) 本結果と竣工当時の実験結果を比較すると、曲げ 1 次および曲げ 2 次振動の固有振動数はほぼ一致する。
- 4) 以上より、本橋は全体系としての著しい損傷はなく、建設当時とほぼ同程度の健全性を保持しているものと判断される。

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、固有振動解析を実施し、実験結果の妥当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、音更町には貴重な実験フィールドのご提供を頂いた。特に、同町の大野洋紀氏、吉田博一氏には全面的なご協力を賜った。また、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、同研究室の成田彩華君、佐藤優君にご助力を頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 新山 惇, 佐藤昌志, 小室雅人, 岸 徳光: 供用後 27 年経過した三径間連続鋼床版斜張橋の自由振動特性, 構造工学論文集, 47A, 1093-1102, 2001.
- 2) 西 弘明, 小室雅人, 岸 徳光: 既設バランスド・ランガー橋の固有振動特性評価, 鋼構造年次論文報告集, 14, 121-128, 2006.
- 3) 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.
- 4) 東山久雄, 桑原 孝, 竹居田博成: 十勝中央大橋の実橋振動測定, 土木学会北海道支部論文報告集, 45, 203-208, 1989.
- 5) 十勝中央大橋工事報告書, 農業土木新聞社, 1989.