

床版打換前後における鋼合成桁橋の固有振動特性

Natural vibration characteristics of steel composite girder bridge before and after reconstruction of RC slab

室蘭工業大学大学院 ○学生会員 山本 修司 (Shuji Yamamoto)
室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人 (Masato Komuro)
(株) 構研エンジニアリング フェロー 川瀬 良司 (Ryoji Kawase)
釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

近年、道路橋の鉄筋コンクリート (RC) 床版の劣化損傷による部分補修や全面打換えが行われている。しかしながら、全面打換えの場合には、新設時とは異なり片側交互通行状態での工事であるため、施工手順が複雑であることや、施工段階ごとの安全性が要求される。特に、主桁3本から構成される橋梁の場合、片側交互通行下で床版打換えを行うためには、縦桁や横桁などの増設が必要となり、床版打換え前後で振動特性が異なることが予想される。したがって、今後増加すると予想される既設橋梁の床版打換え作業を想定すると、床版打換え前後の振動特性を把握しておくことは重要であるものと考えられる。

このような背景より、本研究では、実際に床版打換えが行われた既設の鋼合成桁橋を対象に、打換え前後における橋梁の固有振動特性を把握するための振動実験を実施した。なお、実験は車両走行後における橋梁の自由振動を計測することとした。

2. 対象橋梁

本研究で対象とした橋梁は、一般国道 274 号線に架かる日高大橋 (橋長 137 m) である。この橋梁は表-1 に示すように単純合成桁橋と三弦トラス橋から構成されており、昭和 46 年に竣工された。振動実験はそのうちの第一径間部 (日高町側) に架かる単純合成桁橋 (橋長 41.6 m) を対象に実施した。図-1 には、対象橋梁の一般図を示している。支承条件は、上部工の A1 橋台が固定支承、P1 橋脚が可動支承である。写真-1 には橋梁の全景を示している。本橋梁は、3 主桁で構成されているため、片側交互通行

状態での床版打換えは不可能な構造となっている。そのため、床版打換え時には、各主桁の間に新たに 2 本の縦桁を増設し、さらにそれらを支えるための横桁を 46 本増設している。図-1 (b) には、増設前後の断面図を比較して示している。なお、床版打換えに関する実際の施工手順を簡潔に述べると以下ようになる (図-2 参照)。

- 1) 床版の部分撤去に伴う不安定状態を避けるために所定の位置に架設ベントを設置し、ジャッキアップを行うことにより連続桁の状態にする (b 図)。
- 2) 増設する縦桁が両端部まで連続となるように上弦材を切断し、所定の位置に床組 (横構および縦桁) を設置する (c 図)。
- 3) 片側の床版を段階的に撤去し、全ての片側の床版が撤去された後に新しい床版を打設する (d~f 図)。
- 4) 反対側の床版に関しても 3) と同様に床版を打換える (g~h 図)。
- 5) 中央部の床版を打設する (i 図)。
- 6) 床版打換え後、ジャッキを開放し架設ベントを撤去する (j 図)。

なお、実際の振動実験は、床版打換え前と打換え後の

表-1 日高大橋の橋梁諸元

路線	一般国道 274 号
支間	41.6 m + 72.8 m + 20.0 m
型式	単純合成桁, 3 弦トラス
幅員	8.5 m
完成	昭和 46 年 (1971 年)

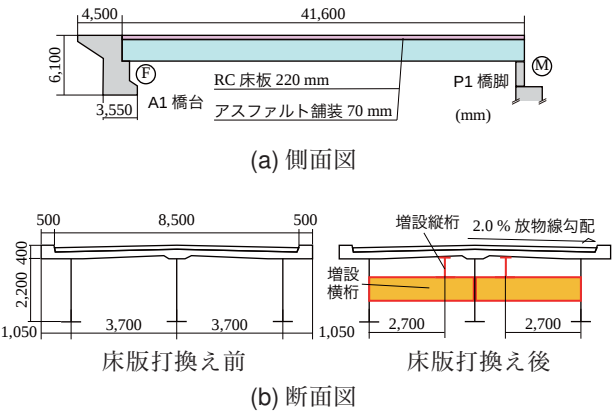


図-1 一般図



写真-1 橋梁全景

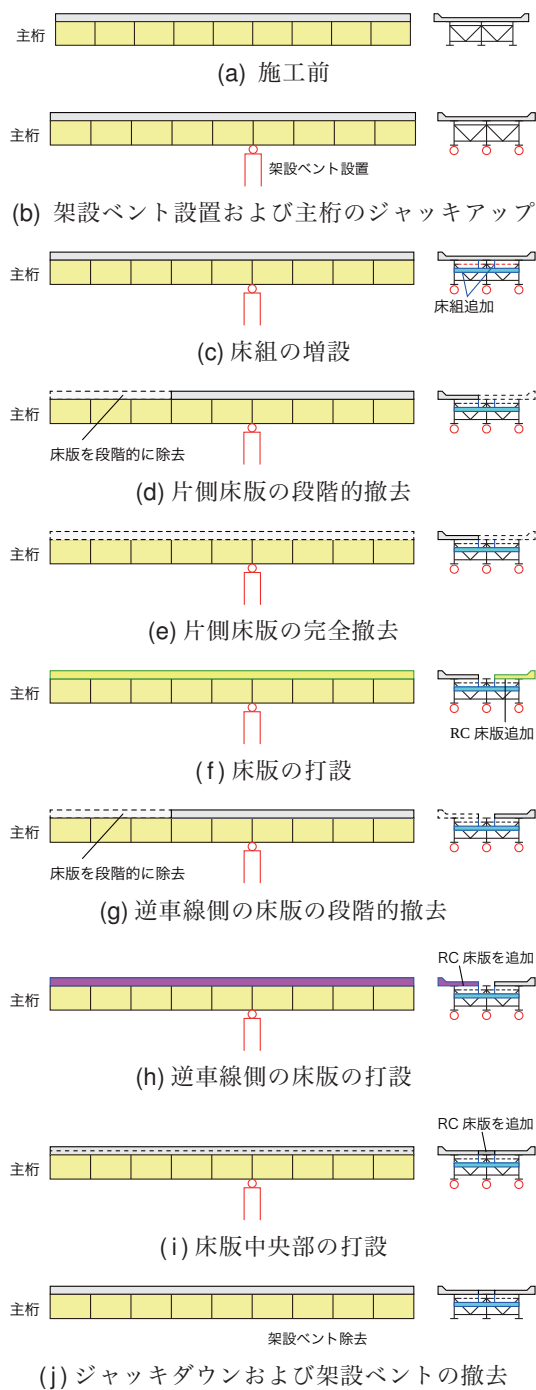


図-2 床版打換えの施工手順

他に、片側車線の床版のみがある状態の計4回実施しているが、ここでは紙面の都合上、床版打換え前後の結果について考察を行う。

3. 振動実験の概要

3.1 振動計の配置

本実験では、可能な限り精度よく振動特性を把握するために、図-3に示すようにデジタルサーボ型振動計を橋梁各点に設置した。すなわち、曲げ振動モードやねじり振動モードを特定するために、上・下流側の地覆部に全30点（片側15点）の振動計（感度方向：鉛直方向）を設

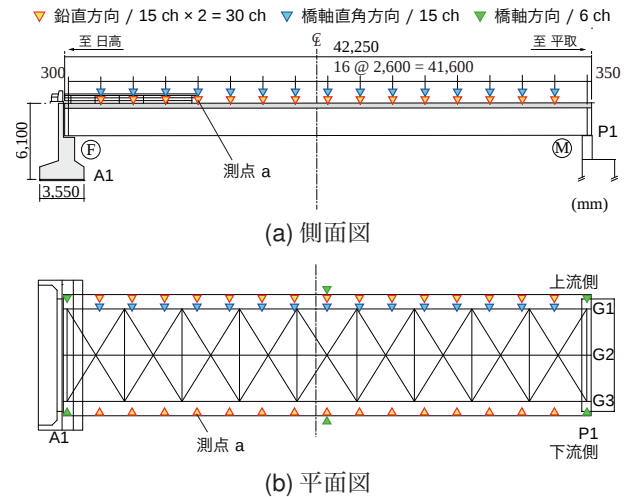


図-3 振動計の配置図

橋梁側に設置、配信



サーボ型振動計



アンプユニット



指向性アンテナ

遠隔で受信、収録



ノート PC



アンテナ（受信側）

無線

図-4 計測システム

置した。また、橋軸直角方向の振動モードを特定するために、上流側に15点の振動計を設置した。さらに、橋軸方向の振動特性を把握するために桁端部およびスパン中央に計6点の振動計（感度方向：橋軸方向）を設置した。

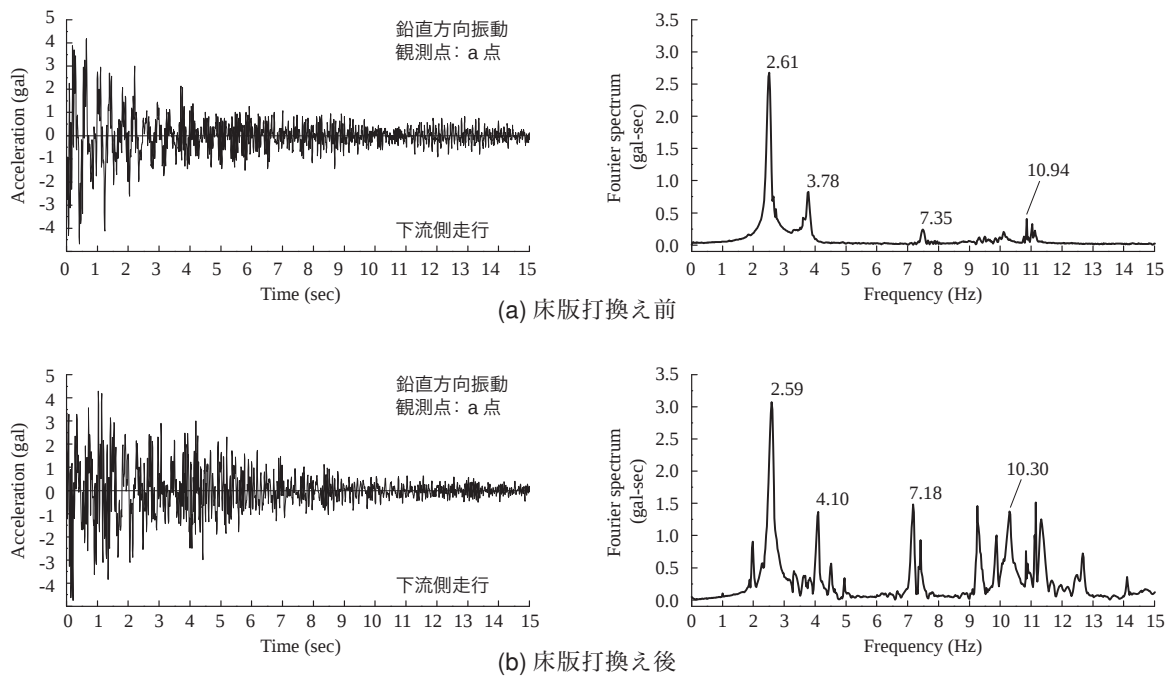
3.2 計測システム

図-4には、本計測システムの概要を示している。全てのデジタル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。なお、計測のサンプリングタイムは5msである。本実験では、大型車両が下流側車線を通行した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。

3.3 固有振動数の決定方法

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、既往の論文^{1),2)}を参考に、以下の仮定に基づいて実施した。すなわち、

- 1) 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



図－5 計測波形とフーリエスペクトルの一例

表－2 床版打換え前後における固有振動数の比較

振動モード		固有振動数 (Hz)	
		床版打換え前 f_b	床版打換え後 f_a
1	曲げ 1 次振動	2.61	2.59
2	ねじり 1 次振動	3.78	4.10
3	曲げ 2 次振動	7.35	7.18
4	ねじり 2 次振動	10.94	10.30

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 1/4 周期毎に各測点の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振動で移動せず、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. 実験結果および考察

4.1 計測加速度波形とフーリエスペクトル

図－5 には、床版打換え前後における実験結果の一例として大型車両通行後に測点a（図－3 参照）で計測された 15 秒間の加速度波形とその加速度波形から求められたフーリエスペクトルを比較して示している。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、床版打換え前後にかかわらず、上部工の鉛直方向加速度は最大 4 gal 程度の加速度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、床版打換え後には振動数が高い領域においていくつかの卓越振動数が確認されるが、この要因に関しては現時点で明確な原因が特定できておらず、今後更なる検討が必要である。

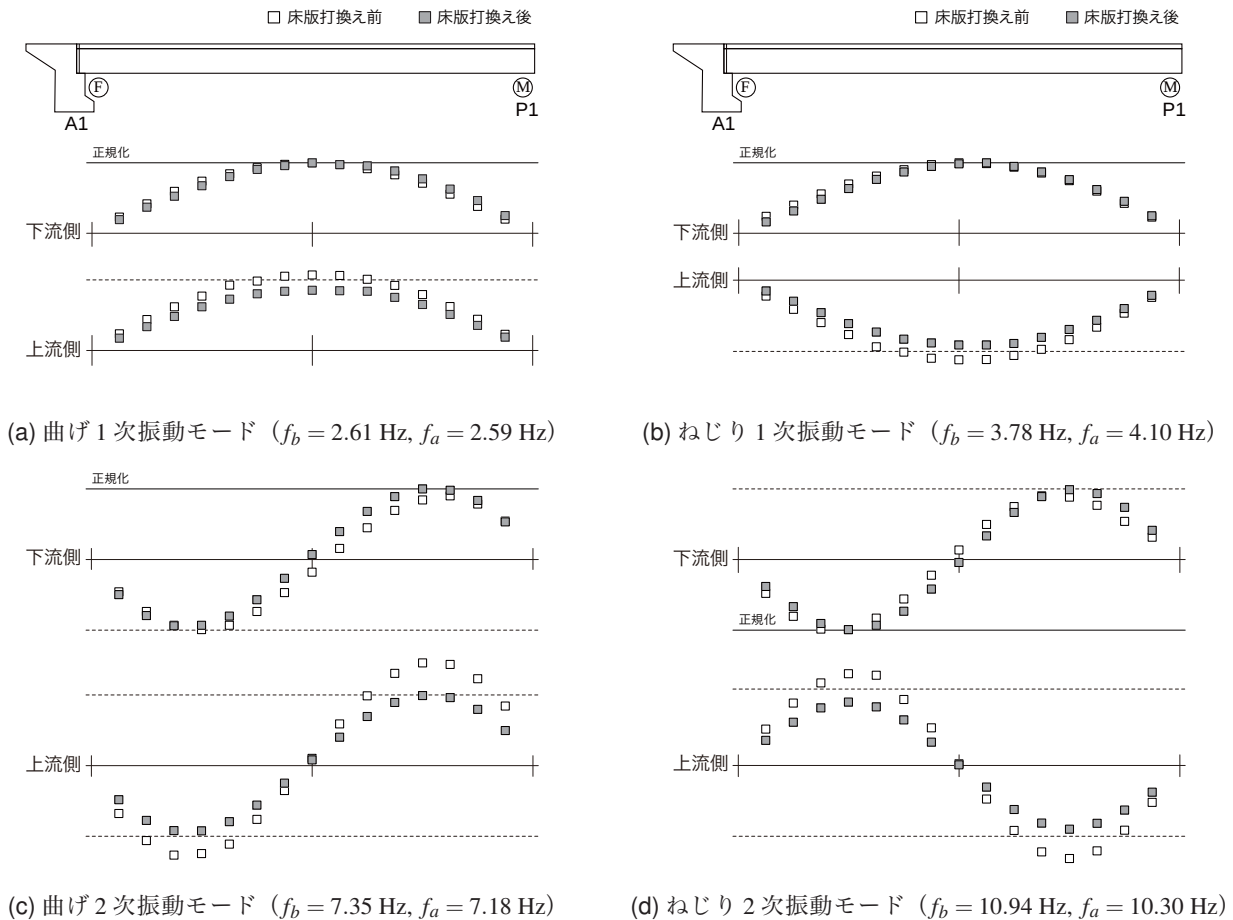
図－5 に示すフーリエスペクトルの卓越振動数を参考に、前述の方法（3.3 節）によって固有振動モードの特定を行った。表－2 には、床版打換え前後において特定された各振動モードとそれに対応する固有振動数を一覧にして示している。

4.2 振動モード分布

図－6 には、床版打換え前後の振動実験から特定された各固有振動モード分布を比較して示している。なお、全ての振動モードは下流側の最大加速度が 1 となるように正規化したものである。また、図中の実線は、基準となる下流側の正規化振幅を示している。

表－2 および 図－6 (a) より、曲げ 1 次振動モードにおける床版打換え前後の固有振動数の差は、0.02 Hz と非常に小さいことが分かる。床版打換え時には床組（縦桁および横桁）を増設しており、その重量は約 24.6 tf である。増設前の橋全体の重量は約 344 tf であるため、床組の増設によって自重は約 7.2 % 増加していることになる。しかしながら、実験結果をみると固有振動数に顕著な差は確認できない。これは、床組の増設による剛性増加と自重の増分量による影響が相殺されたことによるものと推察される。

一方、床版打換え前後の振動モード分布に着目すると、上流側の振幅に差異が見られる。すなわち、床版打換え前には下流側よりも上流側の振幅が大きいのにに対し、床版打換え後では下流側振幅と同程度か若干小さくなっていることが分かる。これは、床組増設による補強効果や



図－6 振動モード分布の比較

床版打換えによる効果によるものと考えられる。

また、表－2のねじり 1 次振動モードの床版打換え前後の固有振動数を比較すると、床版打換え後には 0.32 Hz ほど大きく示されている。これは横桁を増設したことにより、ねじり剛性が向上したことに起因するものと考えられる。また、振動モード分布 (b 図参照) を比較しても、曲げ 1 次振動モードの場合と同様に上流側の振幅が小さくなっていることが分かる。

次に、(c) 図に示す振動モードに着目する。床版打換え前の振動モード分布を見ると、下流側のスパン中央点が下側にずれていることや上流側の振幅が下流側に比較して大きくなっていることが分かる。一方、床版打換え後では上・下流側ともに類似の振動モードを呈している。また、(d) 図に示すねじり 2 次振動モードに関しても、曲げ 2 次振動モードの場合と同様の傾向が見られ、床版打換え後には上下流側でほぼ対称な振動モードに改善されていることが確認される。

以上より、床版打換え前後における固有振動数には顕著な差は見られないものの、その振動モード分布は大きく異なることを実験的に確認した。さらに、床組の増設効果や床版打換え効果によって、上・下流側の振動モードがほぼ対称な振動モードに改善されていることより、今回の床版打換えによって橋梁全体としての剛性は向上したものと考えられる。

5. まとめ

- 1) 床版打換え前後に実施した車両走行後の自由振動状態を計測することによって、固有振動数および振動モード分布を特定することができた。
- 2) 床版打換え前後における固有振動数に顕著な差は確認されなかった。
- 3) しかしながら、その振動モード分布は大きく異なることを確認した。特に床版打換え後では、上下流側でほぼ対称な振動モードに改善されていることより、今回の床版打換えによって橋梁全体の剛性は向上したものと考えられる。

謝辞

本実験を遂行するにあたり、国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部日高道路事務所には多大なご協力頂いた。また、現地計測の実施にあたり、(株) 小林組長井宏樹課長のご協力を頂いた。関係各位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, 土木学会, 構造工学論文集, 47A, 1093-1102, 2001.3.
- 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検討, 鋼構造年次論文報告集, 15, 269-276, 2007.11.