

縦断勾配 5%を有する中路式ローゼ橋の振動および床桁の載荷特性

Vibrations and loading Characteristics of half-through type Lohse bridge having longitudinal slope 5%

(株) 砂子組 ○正 員 古川 大輔 (Daisuke Furukawa)
 札幌開発建設部 千歳道路事務所 正 員 坂 憲浩 (Norihiro Saka)
 (株) 砂子組 正 員 川村 正之 (Masayuki Kawamura)
 (株) 砂子組 正 員 佐藤 昌志 (Masashi Sato)

1. はじめに

近年、既設橋梁の老朽化が進む中で、供用中の橋梁を適切に維持管理し長寿命化を図ることが重要な課題となっている。中でも鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版と記す。）はひび割れや剥離、抜け落ちなどの損傷が報告されており、維持管理上の重要な部材の一つとなっている。一方、供用中の橋梁の振動は車両と橋梁の連成振動により発生していると考えられ、床版の損傷の要因の一つとなっていると推察されるが、橋梁の振動特性については、橋梁全体系としての健全性を診断する方法の一つの方法とした研究は多いが、床版の損傷に着目した研究は少ない。

このような状況の中で、RC 床版の損傷が著しく床版上面のコンクリートの打ち替えを行うに至った道路橋について、車両通行時の振動計測および床桁のひずみ計測を行う機会を得たので、車用通行時の振動が RC 床版に損傷を与える要因の一つになっているのではないかと考え、振動特性および床桁の載荷特性についての検討を行った。

建設後 31 年が経過し、床版上面の砂利化や剥離に加えて、直接の原因は定かではないが、床版上鉄筋のほぼ直下で膚割れを起こすなどの著しい劣化が確認された。そのため、床版全面を対象に上鉄筋下側までコンクリートを切除し、有機系繊維コンクリートで打ち替える対策工がとられることとなった。写真-1 に対象橋梁の全景を示す。なお、振動計測は、対策工が実施される前後に行っている。



写真-1 対象橋梁全景

2. 対象橋梁

図-1 に対象とした橋梁の概要を示す。本橋は 1984 年に竣工したアーチ支間 128m の中路式ローゼ橋であり、補剛桁は 3 径間連続桁で支間長 12.8m + 133.6m + 12.8m である、また、アーチのライズ比が小さいことや、5% の縦断勾配を有していること、両端部の道路線形が曲線となっているため端部の床組で調整されていることなど厳しい架設条件となっている。

3. 振動測定の概要と結果

3.1 振動測定の概要

振動計測は、補剛桁に加速度計を設置し一般車両通行時の鉛直方向の加速度を全点同時計測した。加速度計の設置位置図を図-1 に示す。なお、加速度計の出力波形は 5 msec のサンプリング速度で一括収録している。

得られた加速度波形から、以下の手順で固有振動数および固有振動モードを求めた。

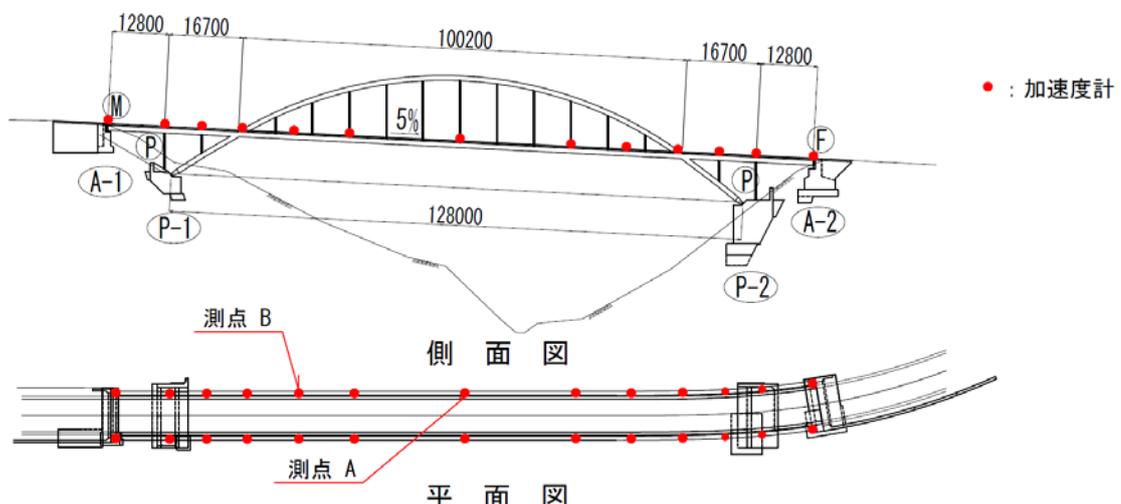
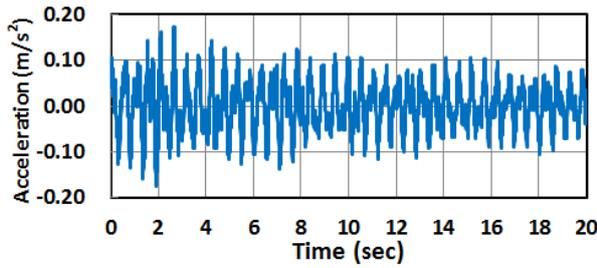
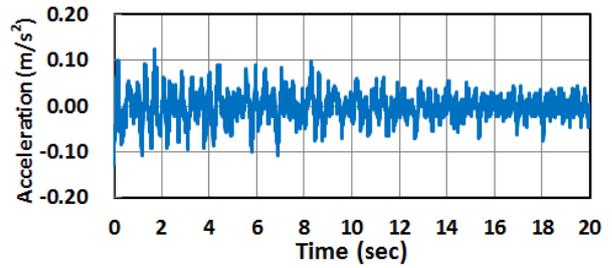


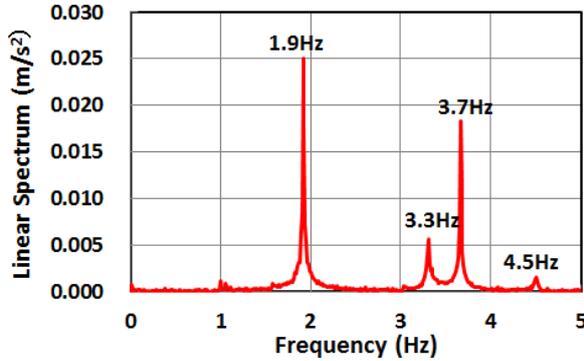
図-1 加速度計設置位置図



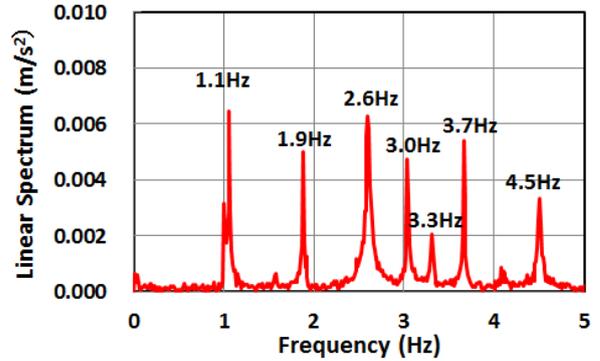
a) 測点 A の振動波形の一部



c) 測点 B の振動波形の一部



b) 測点 A のリニアスペクトルの分布



d) 測点 B のリニアスペクトルの分布

図-2 加速度波形とリニアスペクトルの分布

- 1) 車両通行後の減衰部分の実測振動波形データに対して FFT 処理を施し、リニアスペクトルを求める。
- 2) 主な測点についてリニアスペクトルの分布から固有振動数であると考えられる卓越振動数を抽出する。
- 3) 上記で求めた卓越振動数における各測点のリニアスペクトル値および位相スペクトル値を抽出する。
- 4) 時間軸を統一し最大振幅で正規化した後に各測点の振幅を測定位置でプロットし振動モードを求める。
- 5) 得られた振動モードの分布状況を確認し、固有振動モードおよび固有振動数を決定する。

3.2 振動測定結果

測定結果の一例として、図-1 に示す測点 A および B の加速度波形の一部と加速度波形から求められたリニアスペクトルの分布を図-2 に示す。図より複数の卓越振動数が確認でき、その範囲は概ね 1~4.5Hz である。これらの卓越周期における振動モード図を図-3 に示すが、いずれも良好な振動モードでこれらの卓越振動モードは固有振動モードと評価した。なお、3Hz 以上の振動モードはいずれもねじり振動である。

一方、本橋梁では別途、数値解析による固有値解析が行われており、図-4 に示す 1~3 次の低次の固有振動数が求められている³⁾。これらの固有振動数はいずれも 1Hz 以下の振動数であり、実橋での計測結果とは異なる。この要因として以下が考えられる。

- ・実橋での計測は車両通行時の振動結果から固有振動数を求めているため、車両のバネ上振動数に近い 1~3Hz 程度の振動⁴⁾が励起されやすい。
- ・数値解析での振動モードはアーチ部材と補剛材結合部が節になっているのに対し実測結果では P1 付近が節となっており、車両通行時は補剛材を介して加

振されるため異なったモードになっていたことも考えられる。

- ・図-1 に示すように道路線形が端部で曲線となっており、床桁で調整されていることから、ねじり振動モードが励起されやすい。

本橋は、3 径間連続の中路式ローゼ橋でありその構造上の特性や縦断勾配 5% など厳しい架設条件を有していることから振動特性も複雑なものとなっていると考える。

一方、前述のように本橋では床版全面を対象に床版上面コンクリートの打ち換えの対策工が行われており、振動計測は対策工実施前後に行った。計測結果から得られた固有振動数について、対策工実施前後を比較して表-1 に示す。表から、補修前後ともに同程度の固有振動数が得られ、補修前後の固有振動数の差はわずかである。

固有振動数もしくは固有振動モードから部材の損傷が生じるかを判定するのは難しいと考えられるが、高次の固有振動数が卓越するのは、著者らのこれまでの計測経験では初めての事例であり、本橋における著しい床版劣化の一要因になったとも考える。

表-1 固有振動数の比較

振動モード	固有振動数	
	補修前	補修後
曲げ 1.1Hz	1.04 Hz	1.06 Hz
曲げ 1.9Hz	1.96 Hz	1.96 Hz
曲げ 2.6Hz	2.56 Hz	2.61 Hz
ねじり 3.0Hz	2.98 Hz	3.04 Hz
ねじり 3.3Hz	3.25 Hz	3.30 Hz
ねじり 3.7Hz	3.63 Hz	3.66 Hz
ねじり 4.5Hz	4.43 Hz	4.50 Hz

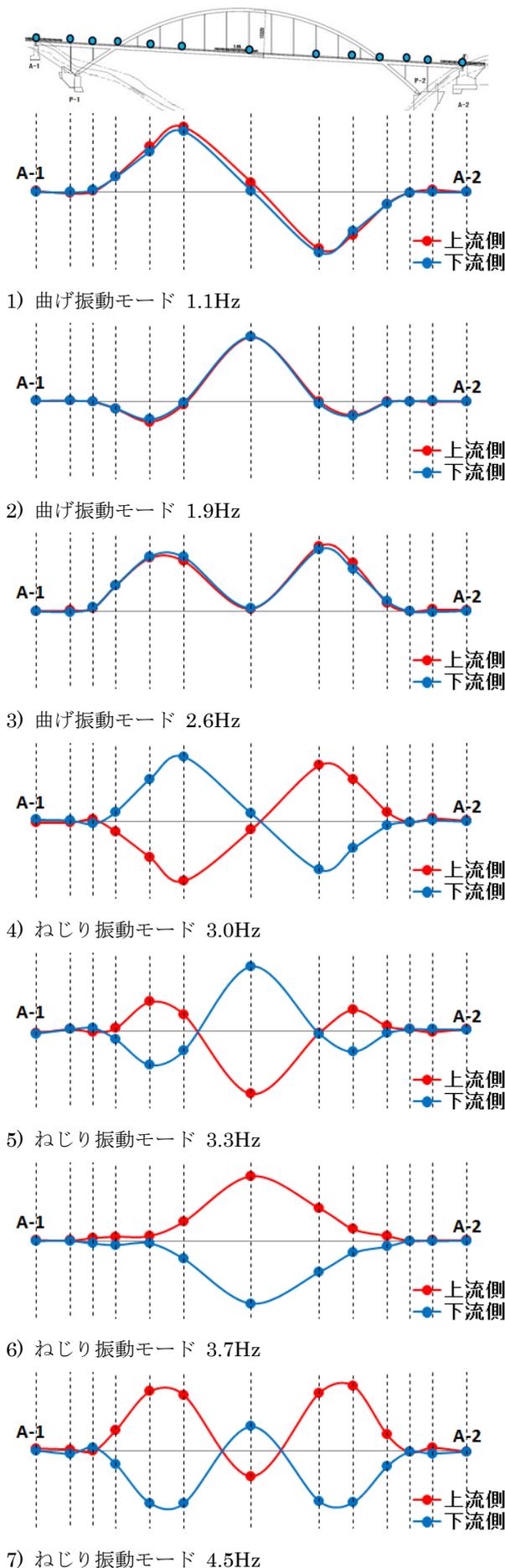
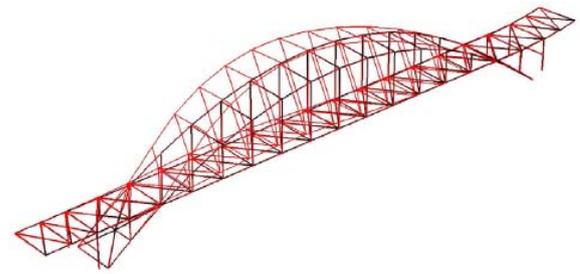
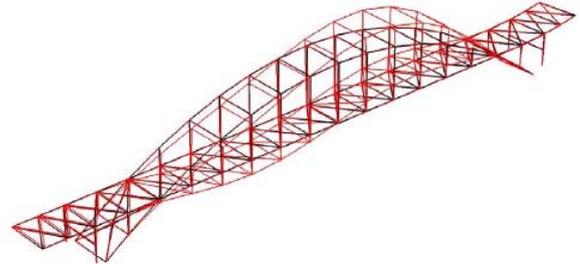


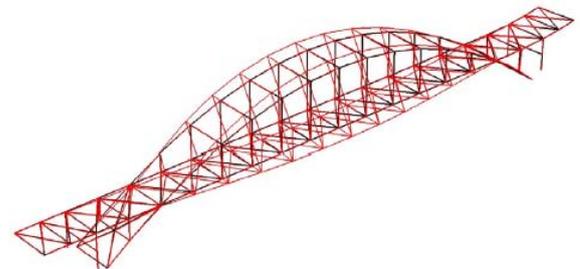
図-3 卓越振動数における振動モード分布図



1) 1次振動モード (0.729 Hz)



2) 2次振動モード (0.747 Hz)



3) 3次振動モード (0.949 Hz)

図-4 数値解析による固有振動モード³⁾

4. 床桁の載荷試験の概要と結果

4.1 床桁の載荷試験の概要

床桁の載荷試験は、図-5に示す測定断面において床組縦桁の上フランジおよび下フランジにひずみゲージを設置し、荷を積載し総重量 20 t 程度に調整したダンプトラックを 1mピッチで移動および停止を繰り返すことにより載荷し、各載荷位置での縦桁に発生するひずみを静的に測定した。

4.2 床桁の載荷試験結果

測定結果の一例として、図-6に山側縦桁のひずみ測定結果について載荷位置(ダンプトラック後輪中心位置)との関係で示す。上フランジは中立軸に近い測定ひずみが小さいことから下フランジに着目し特徴を以下にまとめる。

- 1) 載荷位置が隣接する横桁間である FB-1~FB-2 でも引張りひずみが発生している。
- 2) 載荷位置が測定断面付近でひずみは最大となる。
- 3) 載荷位置が川側の隣接する横桁間である FB-3~FB-4 でひずみは引張りから圧縮に転じ、その後ほぼゼロになる。
- 4) 載荷位置が FB-5 を過ぎると僅かではあるが、再び圧縮ひずみが発生している。

なお、上記 4)の圧縮ひずみは橋梁中間点付近まで継続していることが走行試験で確認されている。一般に、床桁の設計は横桁間の梁として設計されるが、本橋はその

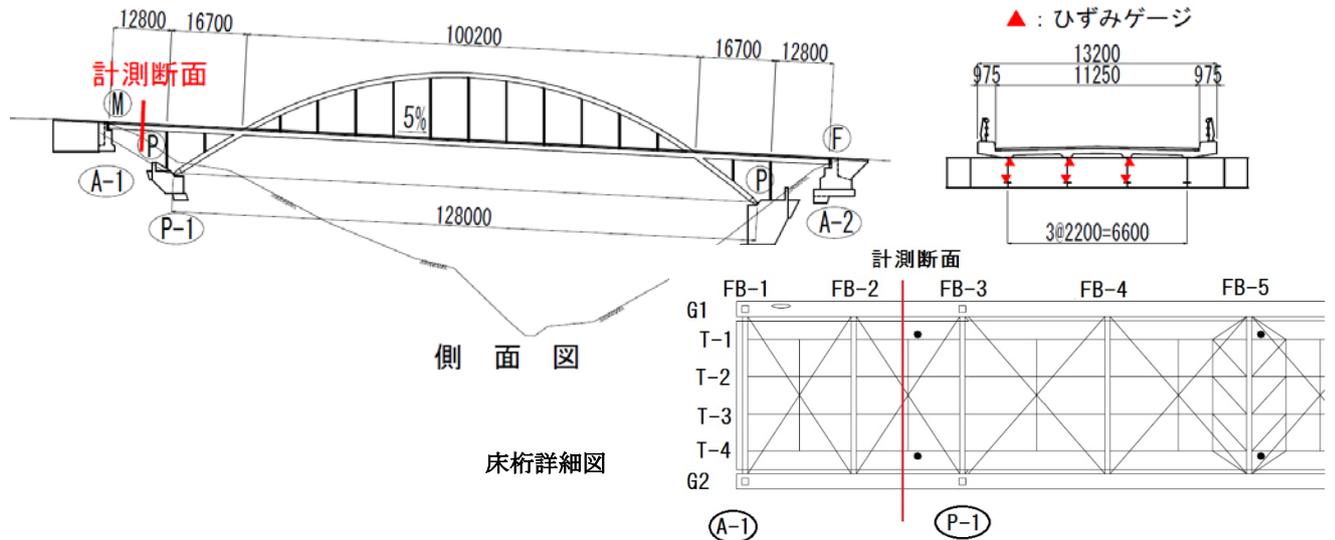


図-5 床桁載荷試験概要図

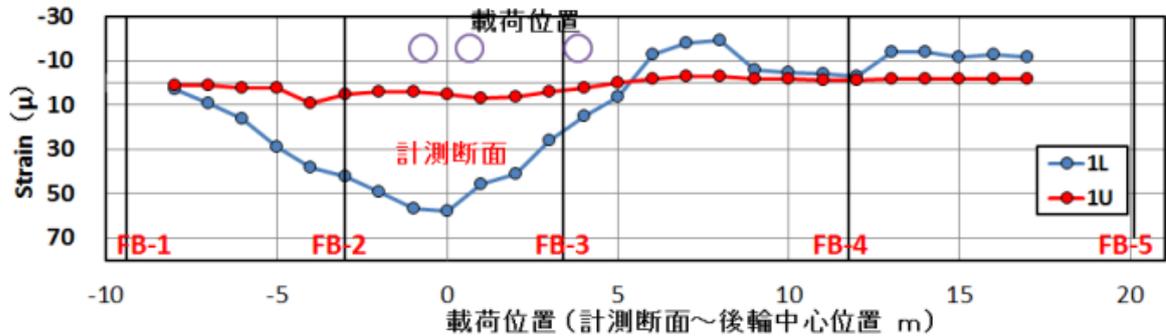


図-6 床桁載荷試験結果

構造形式や架設条件の影響で複雑な挙動となっていると考えられる。

5. まとめ

中路式ローゼ橋について、車両通行時における振動計測および床桁のひずみ計測を行い、床版の損傷の要因となる振動特性および床桁の載荷特性について計検討を行った。結果を以下にまとめる。

- 1) 振動測定の結果から1~4.5Hzで7つの固有振動モードが確認できた。なお、3Hz以上の振動モードはいずれもねじり振動である。
- 2) 別途実施されている数値解析では、1Hz以下の1~3次の固有振動数が求められているが、いずれも計測結果からは確認できなかった。
- 3) 対策工実施前後ともに同程度の固有振動数が得られており、その差はわずかであった。
- 4) 床桁載荷試験の結果では、床組縦桁のひずみが複雑な挙動を示し、A1端部付近の測定断面が橋梁中間点付近まで影響を受けていた。

本橋は、3径間連続の中路式ローゼ橋でありその構造上の特性や厳しい架設条件から、振動特性や床桁の載荷特性は複雑なものとなっていると考える。特に縦断勾配5%という架設条件は面内非対称となることや、道路線形が曲線となるため橋梁端部の床組で調整されていることの影響は大きいと考えられるが、どのような影響が

あったのか言及するのは難しい。

しかし、高次の固有振動数が卓越することや床桁の複雑な載荷特性は、著者らのこれまでの計測経験では初めての事例であり、本橋における著しい床版劣化の一要因になったとも考える。

参考文献

- 1) 吉岡勉, 原田政彦, 山口宏樹, 伊藤信: 斜材の実損傷による鋼トラス橋の振動特性変化に関する一検討, 構造工学論文集, Vol.54A, 2008
- 2) 岸徳光, 小室雅人, 岡田慎哉, 伊藤有希恵, 吉澤佳展: 新石狩大橋ランガー橋部の強制加振実験と固有振動性評価, 土木学会北海道支部論文報告集, 第62号, 2006
- 3) 北海道開発局札幌開発建設部千歳道路事務所, 株式会社ドーコン: 平成24年度一般国道276号千歳市支笏大橋補修検討外一連業務報告書, 平成25年3月
- 4) 深田幸史, 梶川康男, 北村洋太郎, 原田政彦, 清水英樹: 車両走行によるニールセンローゼ桁橋の振動使用性, 構造工学論文集, Vol.50A, 2004