

振動計測データに基づく既設鋼合成桁橋の床版剛性推定に関する一検討

An estimation of slab stiffness on existing steel girder bridge based on experimental vibration data

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 正会員 小室 雅人 (Masato Komuro)
 構研エンジニアリング(株) 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

著者らは、既往の研究において主桁3本からなる鋼合成桁橋の合理的な床版打換え工法を提案し、その妥当性や剛性向上効果を振動実験により確認した¹⁾。その結果、床版打換え前後の振動性状より、床版打換え前に得られた上下流方向の非対称振動モードは、床版打換え後には対称振動モードに改善されるなど、橋梁全体の剛性が向上したことを実験的に明らかにしている。一方、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、床版剛性と固有振動数の関係を明らかにすることは、合理的な維持管理を行う上で重要であるものと考えられる。

このような背景より、本論文では、著者らによって実施された振動実験結果¹⁾を用いて、既設鋼合成桁橋の床版打換え前のRC床版の剛性を数値解析的に推定することを目的に、弾性固有振動解析を実施した。ここでは床版打換え後の振動特性を基本として、得られた数値解析結果と実験結果を比較することにより、可動支承条件(バネ定数)を同定し、さらに同定された支承条件を床版打換え前の解析モデルに反映させた数値解析を行い、実験結果と解析結果を比較することにより、RC床版の剛性を推定している。なお、本解析には、三次元構造解析用汎用プログラムABAQUS²⁾を用いた。

▽鉛直方向 / 15 ch × 2 = 30 ch ▼橋軸直角方向 / 15 ch ▼橋軸方向 / 6 ch

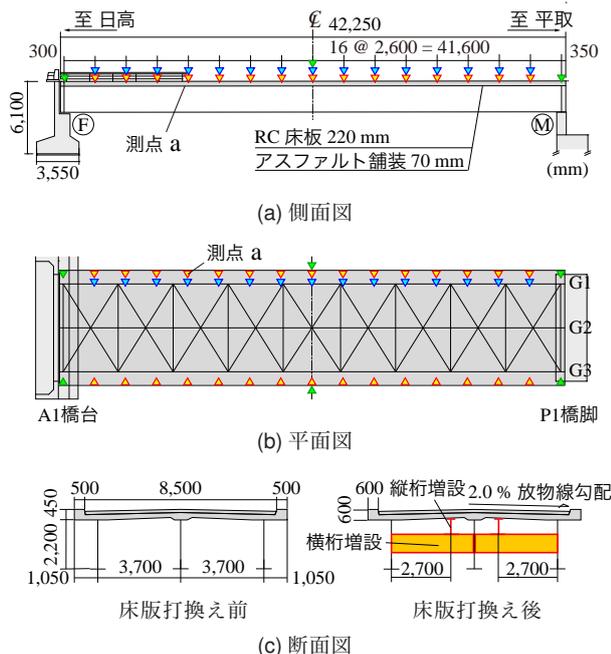


図-1 一般図

2. 対象橋梁

本研究で対象とした橋梁は、一般国道237号線に架かる日高大橋(橋長137m)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41.6m)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(c)には、増設前後の断面図を比較して示している。なお、床版打換え後は、幅員および床版厚、舗装厚に変更はないものの、地覆部が若干大きくなっている。

3. 振動実験の概要と結果

3.1 実験概要

本実験では、床版打換え前後における固有振動特性を明らかにすることを目的に、図-1に示すようにサーボ型振動計を橋梁各点に設置した。振動計は曲げおよびねじり振動モードを特定するために上・下流側の地覆部に全30点(片側15点、感度方向：鉛直方向)、橋軸直角方向の振動

表-1 日高大橋の橋梁諸元

路線	一般国道237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)



写真-1 橋梁全景

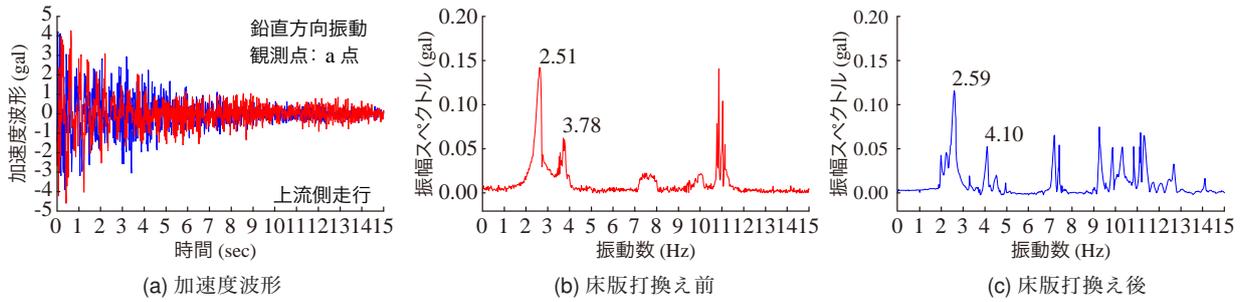


図-2 計測波形とフーリエスペクトルの一例

表-2 実験結果と数値解析結果との比較

振動モード	固有振動数 (Hz)				
	実験結果		施工後	施工前	
	施工前	施工後	バネ定数 (kN/m)	床版弾性係数 (GPa)	
曲げ1次	2.51	2.59	2.59	10	15
ねじり1次	3.78	4.10	4.09	3.79	3.98

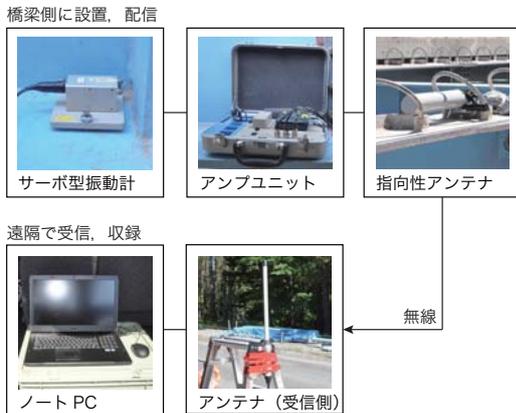


図-3 計測システム

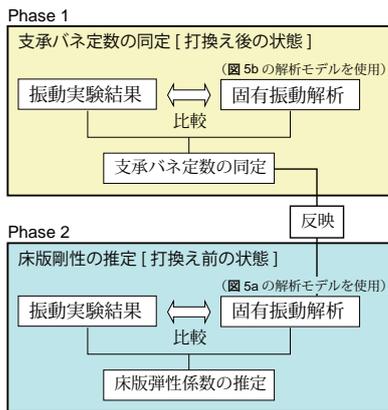


図-4 解析フローチャート

モードを特定するために上流側に15点、橋軸方向の振動モードを特定するために桁端部およびスパン中央に6点(感度方向:橋軸方向)の計51点設置し、それらの出力を無線LANを用いて同時計測した。計測は5msのサンプリングタイムで収録用PCにて一括収録している。図-3に

表-3 使用物性値一覧

使用材料	弾性係数 E (GPa)	密度 ρ (ton/m ³)	ポアソン比 ν
RC床版	30	2.5	0.1667
鋼材	200	2.0	0.3

は、本計測システムの概要を示している。なお、実際の振動実験は、床版打換え前と打換え後の他に、片側車線の床版のみがある状態の計4回実施している。

3.2 実験結果

図-2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-1参照)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振幅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-2(b),(c)より、振幅スペクトルには、複数の卓越振動数が確認され、これらの結果を基に4つの振動モードの特定を行っている¹⁾。

本研究では、特に低次固有振動数に着目して検討を行うこととし、表-2に示す曲げ1次振動およびねじり1次振動モードを対象に固有振動解析を行う。なお、その他の振動モードやモードの特定方法に関しては既往の文献¹⁾を参照されたい。

4. 固有振動解析

4.1 固有振動解析の概要

本研究では、まず始めに床版打換え後の固有振動数を真値として考え、床版打換え後の有限要素モデルによる固有振動解析を実施し、両者を比較することにより、実験結果を再現できるように支承条件の更新を行う。具体的には、可動支承の経年劣化や摩擦等を想定し、支承部に弾性バネを配置し、実験結果を再現可能なバネ定数の同定を行った。その後、更新後の支承条件を床版打換え前の解析モデ

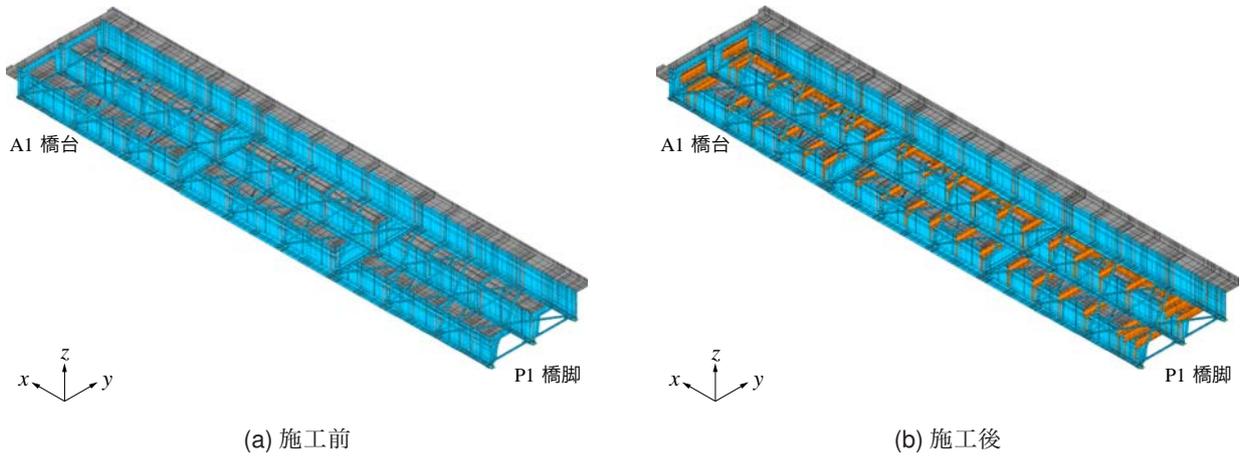


図-5 要素分割状況

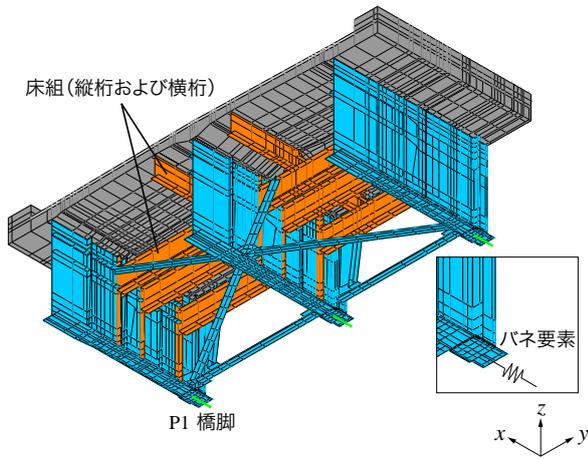


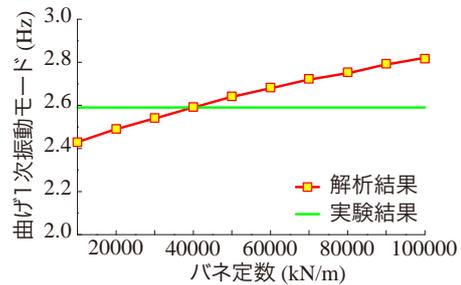
図-6 要素分割状況

ルに反映させて固有振動解析を実施し、実験結果との比較によって、床版打換え前における床版の弾性係数を推定している。図-4には解析の流れを示している。

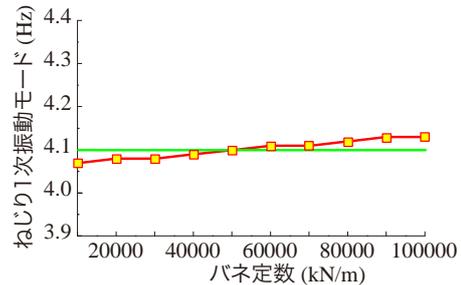
4.2 解析モデル

図-5および図-6には本解析で用いた三次元有限要素モデルの全体図および支点近傍の拡大図を示している。使用要素は、支承を除く鋼材部(主桁、横桁、横構、対傾構および施工後に増設される縦桁、横桁)には4節点シェル要素、床版、支承および舗装部には8節点ソリッド要素、可動支承におけるバネ要素には2節点トラス要素を用いた。有限要素モデルの作成に際しては、建設当時および床版打換えにおける設計図書を参考に可能な限り忠実にモデル化した。解析モデルにおける総節点数および総要素数は、打換え前はそれぞれの場合で約78,000、63,000、打換え後の場合は約85,000、73,000である。なお、高欄部分は振動特性に与える影響が小さいものと判断されることよりモデル化は省略した。

境界条件は、設計条件に基づき上部工のA1橋台を固定支承、P1橋脚を可動支承とした。なお、前述のように、本解析では可動支承に図-6に示すような弾性バネ要素を設置し、そのバネ定数を変化させることにより床版打換え後の実験結果の再現を行っている。表-3には、解析で使用



(a) 曲げ1次振動モード



(b) ねじり1次振動モード

図-7 バネ定数と固有振動数の関係(床版打換え後)

した材料物性値を一覧にして示している。

5. 実験結果と数値解析結果の比較

5.1 支承部のバネ定数に関する検討

図-7には、床版打換え後におけるバネ定数と固有振動数の関係について、数値解析結果と実験結果を比較して示している。図-7より、バネ定数の増加に伴い固有振動数がほぼ線形に増加することが分かる。また、その増加率は曲げ1次振動モードの方がねじり1次振動モードよりも大きい。また、実験結果とバネ定数の関係より、いずれの振動モードにおいてもバネ定数を 4.0×10^4 kN/mとすることにより床版打換え後の固有振動数を適切に再現することが可能であることが分かる。これより、以後の検討には可動支承に同定されたバネ定数を用いて行うこととする。

図-8には、同定されたバネ定数を用いた場合の数値解析結果と実験結果から得られた振動モードを比較している。

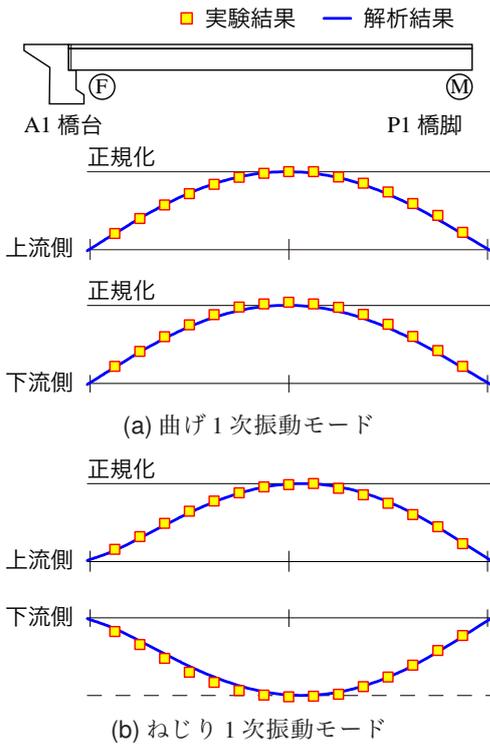


図-8 振動モード分布の比較 (施工後)

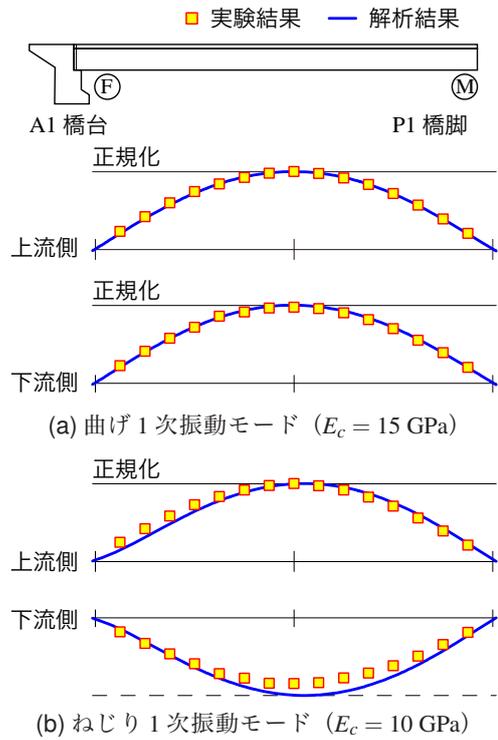


図-10 振動モード分布の比較 (施工前)

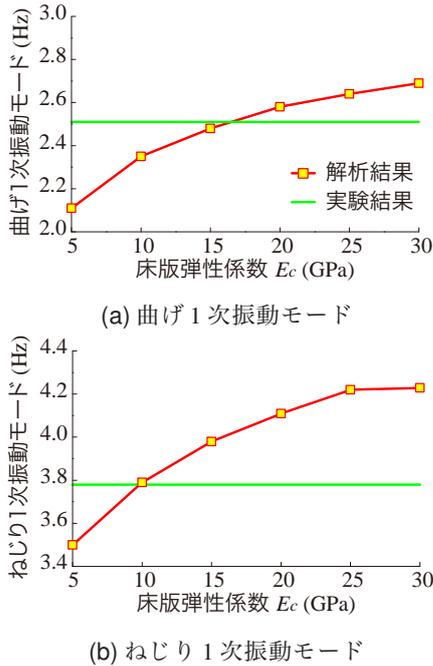


図-9 床版弾性係数と固有振動数の関係 (床版打換え前)

図より、数値解析結果と実験結果の振動モードは非常によく一致していることが分かる。これより、同定されたバネ定数を用いることで固有振動数や振動モードを適切に再現できるものと考えられる。

5.2 RC 床版の弾性係数に関する検討

図-9には、床版打換え前の解析モデルに同定されたバネ定数を与えた場合について、床版の弾性係数と固有振動数の関係を示している。また、あわせて実験結果の固有振動数も示している。図より、床版剛性(弾性係数)が小さく

なるほど固有振動数も低下することが分かる。また、図より曲げ1次振動モードの場合には、床版の弾性係数は15 GPa程度、ねじり1次振動モードの場合には、10 GPa程度とすることで、実験結果とほぼ一致することが分かる。

図-10には、それらの弾性係数を反映させた振動モードについて解析結果と実験結果を比較している。図より、ねじり1次振動モードにおいて若干の差が見られるものの、解析結果は実験結果の振動モードをほぼ適切に再現していることが分かる。これより、床版打換え前における床版剛性は、打換え後と比較して1/2～1/3程度であったものと推察される。

6. まとめ

- 1) 有限要素モデルの可動支承部に弾性バネを設置し、そのバネ定数を 4.0×10^4 kN/m とすることで、床版打換え後の固有振動数や振動モードを適切に再現できる。
- 2) また、床版打換え前における床版の剛性は、打換え後のそれと比較して1/2～1/3程度であったものと推察される。

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浦河道路事務所には多大なご協力頂いた。関係各位に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 山本修司, 小室雅人, 川瀬良司, 岸 徳光: 床版打換え前後における鋼合成桁橋の固有振動特性に関する現地振動実験, 鋼構造年次論文報告集, 21, 825-831, 2013.
- 2) ABAQUS/Standard user's manual, Ver. 6.11, Dassault Systems Simulia Corp.