

鋼方杖ラーメン橋の固有振動特性評価に関する振動実験と固有振動解析

室蘭工業大学大学院 正会員 ○小室 雅人
 釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光

(株)構研エンジニアリング フェロー 川瀬 良司

1. はじめに

本研究では鋼方杖ラーメン橋の耐震補強や合理的な維持管理に資するための基礎資料の収集を目的に、その固有振動特性を把握するための振動実験を実施した。ここでは、車両走行後における自由振動を計測することによって、鋼方杖ラーメン橋の固有振動特性の把握を試みた。なお、別途有限要素法による固有振動解析も実施し、両者の比較による振動実験結果の検証を行った。

2. 対象橋梁の概要

本研究で対象とした橋梁は、一般国道 236 号に架かる深山橋(全幅 6.5 m, 橋長 98 m)であり、昭和 54 年に竣工された鋼方杖ラーメン橋である。図 1 には、深山橋の一般図を示している。本橋は約 2.7 % の縦断勾配を有し、側径間部(P2 橋脚～A2 橋台区間)は上流側に緩やかにカーブしている。

3. 振動実験の概要

本実験では、図 1 に示すようにデジタルサーボ型加速度計を上流側に 11 ch, 下流側に 15 ch × 2(計測箇所 2 点)、橋脚部に 4 ch, 合計 45 ch 設置して、各自由振動状態における加速度波形に関する計測を行った。実験では、下流側に設置した加速度計の感度方向を変えることにより、上部工の鉛直振動モードおよび水平(橋軸直角)振動モードの測定を行っている。なお、振動計測は、無線 LAN を用いて大型車両通行後の加速度データを 5 ms のサンプリングタイムで PC に収録する形で実施した。

4. 数値解析の概要

深山橋は縦断勾配や緩やかな曲線を有していることから、数値解析モデルは建設当時の設計図書を参考に橋脚を含む橋梁全体をモデル化した。図 2 には、解析に用い

た有限要素モデルを示している。使用要素は主要鋼材部(主桁、橋脚、縦桁、横桁)には 4 節点シェル要素、床版部および舗装部には 8 節点ソリッド要素、対傾構および横構には 2 節点ビーム要素を用いた。総節点数および総要素数は、それぞれ約 80,000, 72,000 である。なお、高欄や照明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した。境界条件は、両橋脚基部をピン支承とし、1) 設計条件に基づき上部工両端の支承を理想的な可動支承とした場合、および 2) 経年劣化により支承が十分に機能していないことを想定し、上部工両端の支承を固定支承とした場合の 2 種類について検討を行った。なお、数値解析には構造解析用汎用プログラム ABAQUS を使用した。

5. 実験結果と数値解析結果および考察

図 3 には、実験結果の一例として、大型車両通行後に計測点 a(図 1 参照)で計測された 20 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示している。図より、上部工で最大約 5 gal の加速度が励起されていることが分かる。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。

図 4 には、数値解析結果から得られた振動モードの一例

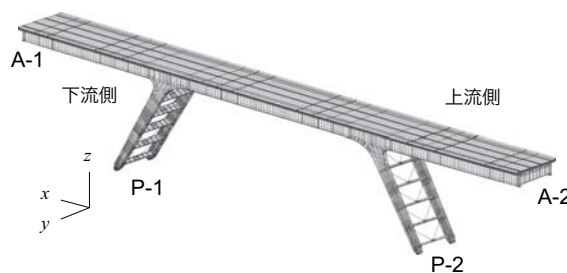


図 2 有限要素モデル

- ▼ 鉛直, 橋軸方向 / 鉛直, 橋軸直角方向 15 ch @ 2 set = 30 ch(下流側)
- ▼ 鉛直方向 11 ch(上流側) ▼ 法線方向 4 ch(橋脚部)

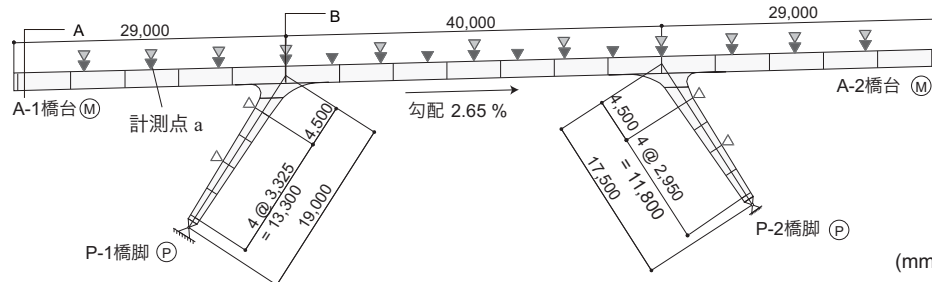
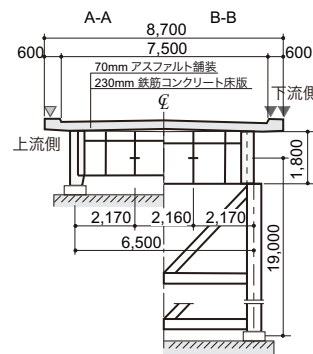


図 1 一般図および加速度計配置図



キーワード：鋼方杖ラーメン橋, 固有振動数, 振動実験, 固有振動解析

連絡先：〒 050-8585 室蘭工業大学大学院 くらし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX:0143-46-5228

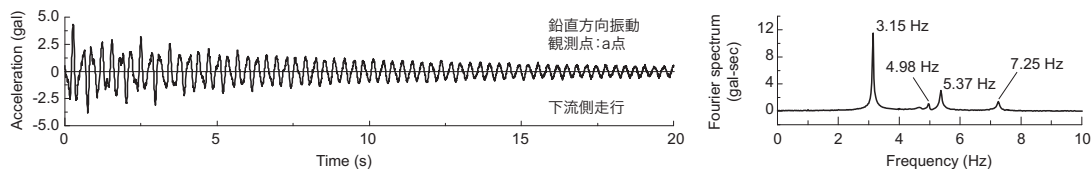


図3 計測波形とフーリエスペクトルの一例



曲げ対称 1 次振動モード ($f_{am} = 3.12 \text{ Hz}$)

図4 固有振動モードの一例(可動支承の場合)

として、曲げ対称 1 次振動モードを示している。

図5には、実験結果および数値解析結果から得られた上部工における固有振動モード分布および固有振動数を比較して示している。モード分布は振動モードの最大値が1となるように正規化している。なお、ねじり振動以外のモード分布は全て下流側の加速度計出力から求めたものである。また、固有振動数に関しては、実験結果を f_e 、上部工両端の支承を可動とした場合および固定とした場合における解析結果をそれぞれ f_{am} 、 f_{af} と表記している。

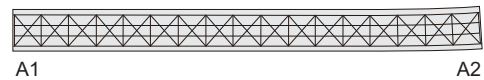
(a) 図に示す水平 1 次振動モードに着目すると、固定支承と仮定した場合の数値解析結果は、実験結果よりも若干過小に評価しているのに対し、可動支承とした場合は実験結果と類似した傾向を示していることが分かる。また、実験結果における固有振動数は可動支承と仮定した数値解析結果に近い。

次に、(b) 図および (c) 図に示す曲げ対称 1 次、および 2 次振動モードに着目すると、側径間部で実験結果と解析結果に若干の差異が見られるものの、全体的には大略一致していることが分かる。また、実験結果における固有振動数は両数値解析結果の範囲内に分布している。

(d) 図に示すねじり対称 1 次振動モードにおける実験結果と解析結果を比較すると、曲げ対称振動モードの場合と同様に、側径間部では両者に若干の差異はあるものの、中央径間部ではよく一致していることが分かる。しかしながら、固有振動数に着目すると、実験結果は約 5 Hz であるのに対し、解析結果では約 7 Hz と約 40 % 程度大きい。

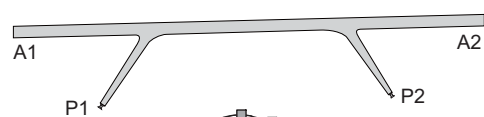
以上より、実験から得られた固有振動数は、ねじり振動モードを除き、上部工の支承を可動および固定と仮定した場合の中間に分布することを確認した。また、振動実験より特定された固有振動数は、可動支承と仮定した数値解析結果に近似していることから、支承の経年劣化による影響は少なく、可動支承としての機能を十分に保持していることが推察される。

■ 実験結果 — 解析結果(可動) - - - 解析結果(固定)



(a) 水平 1 次振動モード

($f_e = 2.32 \sim 2.34 \text{ Hz}$, $f_{am} = 2.27 \text{ Hz}$, $f_{af} = 2.59 \text{ Hz}$)



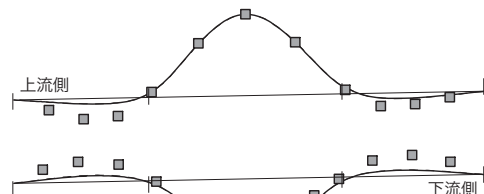
(b) 曲げ対称 1 次振動モード

($f_e = 3.13 \sim 3.15 \text{ Hz}$, $f_{am} = 3.12 \text{ Hz}$, $f_{af} = 3.26 \text{ Hz}$)



(c) 曲げ対称 2 次振動モード

($f_e = 5.37 \sim 5.40 \text{ Hz}$, $f_{am} = 5.14 \text{ Hz}$, $f_{af} = 5.61 \text{ Hz}$)



(d) ねじり対称 1 次振動モード

($f_e = 4.98 \text{ Hz}$, $f_{am} = 7.02 \text{ Hz}$, $f_{af} = 7.02 \text{ Hz}$)

図5 実験結果と解析結果におけるモード分布の比較

6. まとめ

- (1) 車両通行後の振動計測より、固有振動数および固有振動モードの特定ができた。
- (2) また、得られた固有振動数は、ねじり対称振動モードを除き理想的な可動支承と仮定した固有振動解析結果に近いことを確認した。
- (3) これより、実橋梁における支承状態は、経年劣化による影響は少なく未だ可動支承としての機能を十分保持しているものと考えられる。

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する。