

実橋計測による振動数同定と解析モデル固有振動数の比較による考察

(株)日本構造橋梁研究所 正会員 〇小松 正貴
(株)日本構造橋梁研究所 非会員 巻島 健吾

(株)日本構造橋梁研究所 非会員 山田 達哉
長崎大学大学院 正会員 西川 貴文

1. はじめに

本稿では供用中の実橋梁 13 橋(表-1)を対象に、サーボ型加速度計を用いて加速度を検出し、検出結果を部分空間法にて振動特性の構造同定を行い数値解析結果と比較したものである。数値解析モデルは支承の損傷を想定し、拘束条件を変化させたケースとし、実測と数値解析値の差異について考察した。

2. 実橋計測概要

実橋の加速度は、歩道地覆部に設置した加速度計より有線ケーブルでデータロガーを経由し、モバイル PC にデジタルデータが集積される。計器の設置は、単純桁の振動特性を踏まえ、L/2, L/4 点 (L: 支間長) の 2 チャンネルとした。橋梁の振動特性を的確に検出するには、常時微動(地盤は地震時でなくとも常に小さく振動している)状態が望ましい。ただし、対象とした橋梁は、歩道橋や車道併設橋であることから、今回の計測では、常時車両や人が通行している状況で実施した。計測時間は、20 分間(サンプリング周波数 100Hz)計測した。

表-1 対象橋梁の諸元一覧

No	構造形式	支間長(m)	幅員(m)
1	単純鋼I桁	16.2	3.1
2	単純鋼I桁	22.6	3.1
3	単純合成鋼I桁	20.3	9.3
4	単純合成鋼I桁	22.8	20.0
5	単純合成鋼I桁	16.5	12.0
6	単純鋼床版桁	19.1	9.0
7	単純鋼床版桁	18.9	9.0
8	単純鋼床版桁	18.2	5.0
9	単純鋼床版桁	16.2	5.5
10	単純鋼床版桁	16.5	11.0
11	単純鋼床版桁	19.5	10.0
12	単純鋼床版桁	23.2	11.0
13	単純鋼床版桁	16.6	10.0

3. 計測対象橋梁の数値解析結果

解析モデルは、立体骨組み構造の 3 次元解析プログラム(解析コード:FRAME3D)を使い、竣工図を基に各部材の形状寸法・材料をモデル化した。支点の回転拘束条件は、回転自由支承(F)と回転拘束支承(R)とし 2 ケースの解析を実施した。

4. 数値解析結果

解析モデルによる固有値解析結果を表-2 に示す。対象橋梁が単純桁であるため、本稿では主要モードとなる 1 次振動数のみを記載する。

5. 実橋計測結果の構造同定

実測値より振動特性を推定する手法として、確率的部分空間法(Stochastic Subspace Identification :SSI)¹⁾(以下、SSI 法と呼ぶ)を適用した。先に示した全13橋の実橋計測結果に対して、SSI法により振動特性を推定した。SSI法は、30秒毎の加速度データより、振動特性を推定し、一組の解析結果を得る。すなわち、20分間のデータで40個の推定結果が得られる。以下の結果は、横軸に推定回数、縦軸に固有振動数(Hz)を示している。なお、SSI法の結果は、走行車両や歩行者の振動特性も同時に検出されるため、橋梁のみ振動数と判別し難い。そこで、橋梁の固有振動数は検出される頻度が高くなることに着目し、0.5Hz幅毎の頻度分布を整理し、各分布幅内の平均振動数を算出した。

次項より代表橋梁毎の SSI 法による固有周期推定結果と解析モデルによる固有値解析結果を示す。

表-2 対象橋梁の固有振動数一覧

No	実測値	解析値①F-F	解析値②R-R
	1次	1次	1次
1	5.8	4.1	9.1
2	4.3	5.6	9.9
3	7.8	6.5	7.1
4	5.7	3.6	4.1
5	6.2	4.9	7.6
6	6.2	7.1	9.0
7	6.2	5.1	8.5
8	7.7	7.0	10.1
9	7.3	5.3	6.7
10	7.8	5.5	7.3
11	5.6	4.3	5.4
12	4.8	6.3	7.0
13	6.8	4.8	6.7

キーワード 実橋振動計測, 固有値解析, 構造同定手法, 部分空間法, サーボ型加速度計

連絡先 〒101-0032 東京都千代田区岩本町 3-8-16 NMF 神田岩本町ビル 3 階 (株)日本構造橋梁研究所 設計部 TEL 03-5825-5031

6. 実橋計測結果

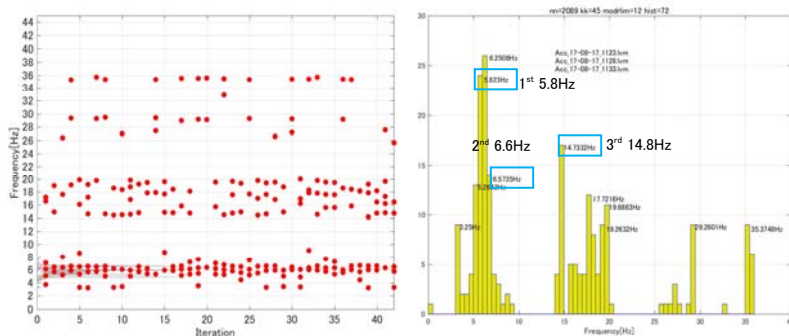
代表橋梁 2 橋の解析結果を以下に示す。

・橋梁 (No. 1)

SSI 法による解析結果を図-1 に示す。頻度分布より 1 次 5.8Hz, 2 次 6.6Hz の結果を得た。この結果 1 次は、支承の回転を自由とした場合の解析値 (1 次 4.1Hz) より高い振動数となる。一方、支承の回転拘束を固定とした場合の解析値 (1 次 9.1Hz) より実測の 1 次振動数は低い値となり、実測値は、回転自由と回転固定の中間値となる。

・橋梁 (No. 7)

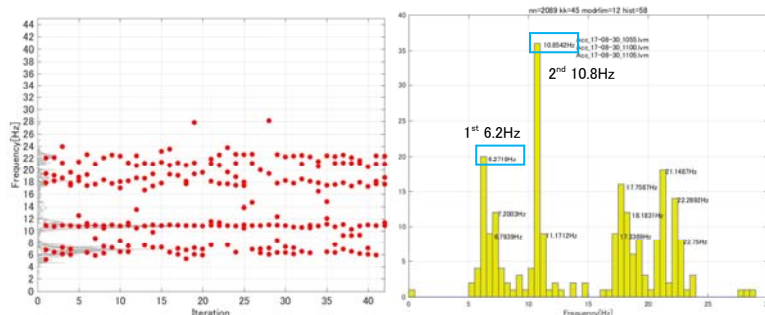
SSI 法による解析結果を図-2 に示す。頻度分布が多い順に 1 次 6.2Hz, 2 次 10.8Hz の結果を得た。この結果 1 次は、支承の回転拘束を自由とした場合の解析値 (1 次 5.1Hz) より高い振動数となる。一方、支承の回転を固定とした場合の解析値 (1 次 8.5Hz) より実測の 1 次振動数は低い値となり、実測値は、回転自由と回転固定の中間値となる。



(a) 構造同定解析結果

(b) 周波数頻度分析結果

図-1 橋梁 (No. 1) の構造同定結果



(a) 構造同定解析結果

(b) 周波数頻度分析結果

図-2 橋梁 (No. 7) の構造同定結果

7. 結果の考察

実橋計測と数値解析モデルで振動特性の比較を行った結果、以下の点が分かった。

- ・SSI 手法により、実橋の固有振動数を推定することが可能である。
- ・今回実測した 13 橋のうち 6 橋について実測値 (1 次振動数) は、支承の回転条件を自由にした値と固定にした解析値の中間に位置する傾向が確認された (図-3)。これは、常時微動の振幅レベルでは、支点位置の桁が回転変形せず、回転拘束に近い状態の振動になっている点や解析で厳密に再現できていない部材剛性の影響によるものと推察される。

8. まとめ

解析モデルの支点条件を変化させることで実測値に近い振動数とすることができ、今後は部材を含めたモデルアップデート技術を研究する必要がある。実測値を用いた解析モデルの緻密化により現状橋梁の振動特性を再現することができ、今後の維持管理に有用な閾値を設定することができると考える。

参考文献

- 1) 西川, 田代, 中村, 岡林: 実稼働モード推定のための構造同定条件に関する解析的検討, 構造工学論文集, Vol.62A.2016.3.

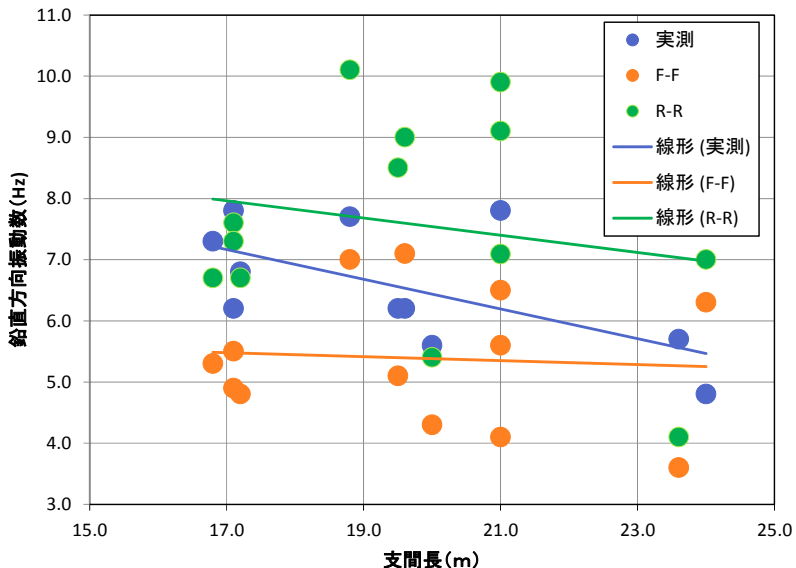


図-3 支間長と振動数 (実測値及び数値解析値) の関係