

常時微動計測による歩道橋の振動モード特性の同定

名古屋工業大学 正 会 員 ○岩本政巳
 名古屋工業大学大学院 学生会員 内藤元気
 名古屋工業大学 鈴木源太 竹山和美

1. はじめに

常時微動計測は、起振器等による加振を行わない、簡便な橋梁振動モニタリング手法である。本研究では、名古屋市内の歩道橋を対象に常時微動計測を行い、得られた多チャンネルの加速度波形より振動モード特性を同定した。同定のためのプログラムは、計測・制御システムのグラフィカルな開発環境である LabVIEW により構築した。

2. 常時微動計測

計測の対象としたのは、図 1 に示す名古屋市内の歩道橋である。この歩道橋は、スパン長 21m、全長 42m の 2 径間連続鋼桁橋である。幹線道路が五叉路をなす交差点に位置しており、交通量は多い。

計測点は各スパンを 4 等分した 8 点とした（図 2）。サーボ型加速度センサー 3 台を用いて、鉛直方向、橋軸直角（水平）方向、それぞれについて配置を変化させた 4 ケースの計測を行った。サンプリング周波数は 240Hz、データ長は 72,000 点（継続時間 5 分）である。1 ケースにつき 3 回の計測を行った。得られた加速度波形の例を図 3 に示す。

3. モード特性の同定

同時計測した 3 計測点の常時微動加速度波形を $y_i(t)$ ($i=1,2,3$) とする。その中からひとつ選んだ基準波形 $y_j(t)$ と $y_i(t)$ の相互相関関数 $R_{ij}(\tau)$ ($i=1,2,3$) を求めると、3 計測点で同時計測した自由振動波形と見なせる。本研究では、この 3 点の波形データから複数個の振動モード特性（固有振動数、減衰定数、モード形状）を一括同定した。文献 1) と同様、多自由度系の自由振動解と実測データとの曲線適合を行った。ただし本研究では、グラフィカル開発環境 LabVIEW により新たに作成した同定プログラム（図 4）を使用した。

各データは 6 等分し、12,000 点で同定を行った。高周波ノイズ除去のため、12Hz（鉛直動）、16Hz（水平動）のローパスフィルタを用いた。そのため、リンク効果による波形の乱れを考慮して、波形データの前後端各 1,000 点を切り捨てた。したがって、実際の曲線適合は 10,000 点のデータについて行っている。



図 1 対象とした歩道橋

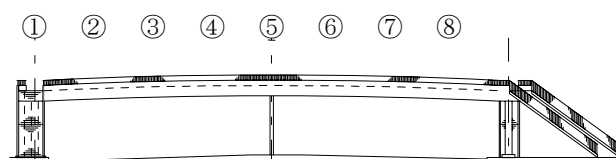


図 2 常時微動計測点

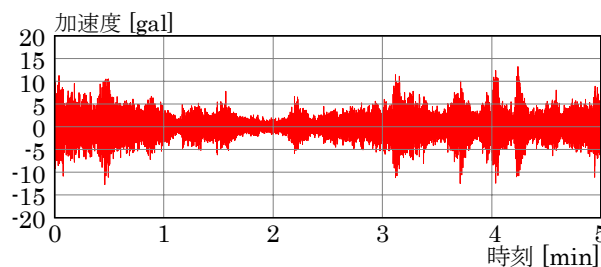


図 3 加速度波形例（計測点③，鉛直）

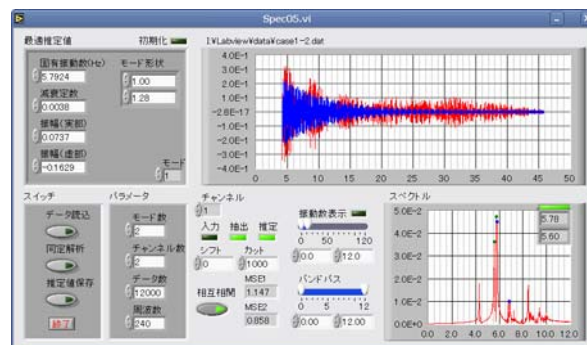


図 4 同定プログラムのフロントパネル

キーワード 橋梁振動，構造同定，常時微動，振動モード，LabVIEW

連絡先 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 都市社会工学科 TEL 052-735-5495

4. 同定結果

同定に際しては、相互相関波形のフーリエスペクトル（常時微動波形のクロススペクトル）をモニターしながら、そのピーク値により、求める振動モードの個数、固有振動数の初期推定値等を決定した。多チャンネル・多モードの同定では未知パラメータ数も多く、適切な初期推定値を与えないと推定値の収束性が悪くなる。そこで、1つのモードから曲線適合を始め、得られた推定値を初期推定値としながら、推定モード数を順次増やしていく方法をとった。曲線適合した波形の例を図5に示す。この例では6モードの組み合わせとして同定を行っており、原波形のうなりが再現できていることが分かる。

鉛直、水平、各方向について、4ケース×3回計測×6分割＝72 データの同定を行った。その結果から得られた振動モードの固有振動数、減衰定数の平均値を表1に示す。鉛直方向では5つ、水平方向では4つのモード特性がそれぞれ得られた。この表より鉛直1次、2次モードの固有振動数がかかなり近接していることがわかる。また、各方向4ケースの同定結果を組み合わせ求めてモード形状を図6、7に示す。鉛直1次、水平1次モードはともに、対称モードと逆対称モードの形状を重ね合わせたような形状となっている。鉛直2、4次モードと水平2次モードは対称モード、鉛直3、5次と水平3、4次モードは逆対称モードと考えられる。鉛直5次と水平3次モードは振動数もほぼ一致しており、連成している可能性がある。なお、1データあたりの推定モード数は1～6の範囲にあり、平均は3程度であった。

同定結果の標準偏差を平均値で除した変動係数を表2に示す。固有振動数の変動係数はほぼ1%程度で、安定した同定ができています。一方、減衰定数の変動はかなり大きいことが分かる。図3に見られるとおり、交通量の変動により歩道橋の応答に増減があることが、その一因と考えられる。図6、7に示した、計測点③の値を1としたモード形状値の標準偏差は、最大で0.35程度、平均すると0.05程度であった。

5. まとめ

歩道橋の常時微動計測を行い、LabVIEWで作成した同定プログラムにより、複数の振動モード特性を一括同定した。その結果、固有振動数、振動モード形状についてはおおむね良好な同定結果が得られた。

参考文献

1) 安川ほか: P C床版鋼2主桁橋(大津呂川橋)の自由振動解析, 土木学会第57回年次講演会, I-588, 2002.

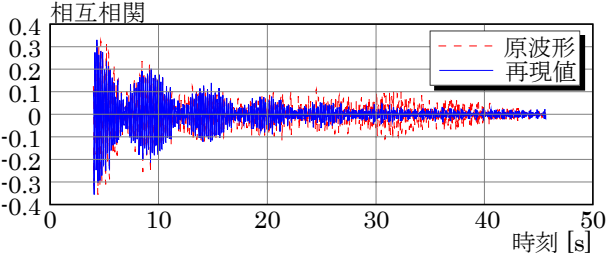


図5 曲線適合例（計測点③，鉛直）

表1 同定結果の平均値

モード 次数	固有振動数(Hz)		減衰定数	
	鉛直	水平	鉛直	水平
1	5.61	3.80	0.0025	0.0029
2	5.80	4.29	0.0030	0.0017
3	6.89	9.97	0.0013	0.0008
4	8.43	13.15	0.0012	0.0008
5	9.94	—	0.0008	—

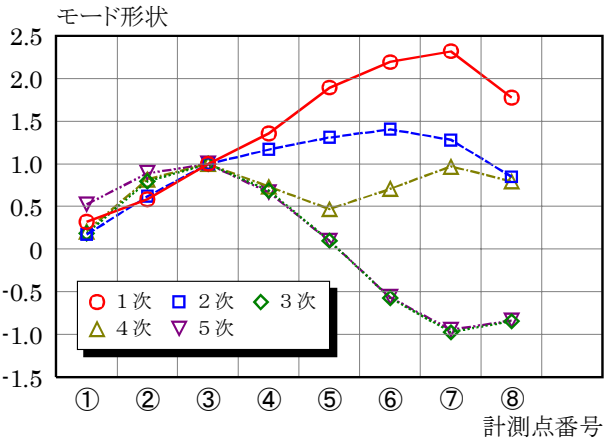


図6 モード形状（鉛直）

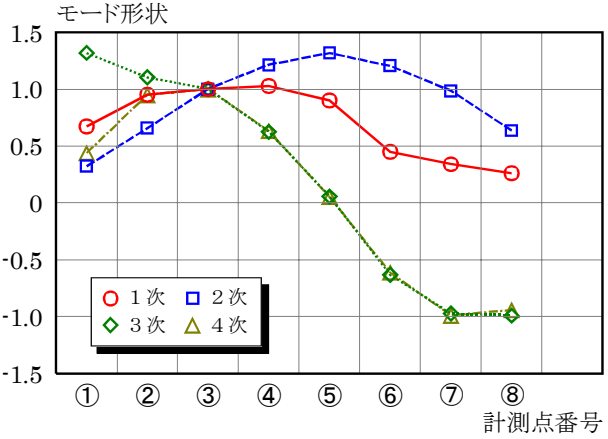


図7 モード形状（水平）

表2 同定結果の変動係数（標準偏差／平均）

モード 次数	固有振動数		減衰定数	
	鉛直	水平	鉛直	水平
1	0.6%	2.4%	192%	69%
2	0.5%	0.9%	91%	84%
3	0.6%	2.8%	107%	136%
4	1.0%	0.6%	133%	160%
5	0.8%	—	79%	—