

吊床版橋計測データのスプライン関数によるリサンプリング化と実現理論による振動特性推定

長崎大学大学院 学生会員 張 葉絲 長崎大学工学部 フェロー 岡林隆敏
 長崎大学大学院 学生会員 Md.Rajab ALI 日本構造橋梁研究所 正会員 小松正貴

1. はじめに

橋梁の軽量化や景観を考慮した吊床版橋，吊構造形式の橋梁，アーチ構造形式の橋梁における振動問題では近接した振動モードが存在することがあり，このような橋梁の振動実験においてうなりの発生が確認されている．これは，近接した複数の固有振動数が存在する場合に発生し，同現象が発生すると従来の慣用的な手法では振動特性推定を行うことが困難である．著者等はモード解析法を適用した非線形最小二乗法による振動特性推定手法¹⁾を提案した．さらに，実現理論による振動特性推定法を適用し，近接固有値を有する構造物の振動特性推定が有効であることを報告²⁾した．本研究は，スプライン関数で測定データを内挿することによりリサンプリングを行い，過去に計測したデータを修復し，現在の先端の手法で解析することが可能になってきた．本研究では，過去に計測したデータを高密度にリサンプリングし，実現理論を適用する手法を提案し，吊床版橋に適用して，本手法の有効性を確認したものである．

2. 実現理論

今回は，振動特性推定に実現理論の ERA/DC 法を用い，推定流れは図 - 1 に示し，以下に詳細を示す．

計測データより，データ相関行列 $R_R(k-1) = H(k-1)H(0)^T = P_\alpha A^{k-1} Q_c$ を作成する．ここで， P_α は可観測行列， Q_β は可制御行列である．このとき， $k=1, 2$ の場合の特異値分解を行うと次式を得る．

$$H_R(0) = USV^T = US^{1/2} S^{1/2} V^T = P_\alpha Q_\beta \quad H_R(1) = P_\alpha A Q_\eta = US^{1/2} AS^{1/2} V^T$$

上式より，係数行列は次式で定義される．

$$A = S_n^{-1/2} U_n^T H_R(1) V_n S_n^{-1/2} \quad C = E_m^T U_n S_n^{1/2}$$

また，係数行列 A の固有値の実数部分 X_{Re} と虚数部分 X_{Im} から，固有円振動数 ω_k および減衰定数 h_k が次式より得られ，係数行列 C より振動モードが計算できる．

$$h_k \omega_k = -(1/\Delta) \log \sqrt{(X_{Re}^k)^2 + (X_{Im}^k)^2} \quad \omega_k \sqrt{1-h_k^2} = (1/\Delta) \tan^{-1}(X_{Im}^k / X_{Re}^k)$$

3. 観測記録のスプライン関数による内挿とリサンプリング

測定時間 $[t_1 \dots t_n]$ において n 個計測データ $[y_1 \dots y_n]$ が与えられているものとする．測定区間 $[t_1 \dots t_n]$ を $(n-1)$ 個のセグメントに分割し， k 番目のセグメント $[t_k, t_{k+1}]$ において，関数値が測定データ $[y_k, y_{k+1}]$ となるような，3 次多項式を考える．

$$S_k(t) = a_k + b_k(t-t_k) + c_k(t-t_k)^2 + d_k(t-t_k)^3$$

次のような条件を考える．セグメント k 番目の補間関数 $S_k(t)$ は， t_k 点

及び t_{k+1} 点において $S_k(t_k) = y_k$ ， $S_k(t_{k+1}) = y_{k+1}$ の値となる．端点を除いた測定点 $[t_2 \dots t_{n-1}]$ において，隣り合うセグメントの補間関数の 1 階微分係数と 2 階の微分係数が等しい．すなわち， $S_{k-1}(t_k)' = S_k(t_k)'$ ， $S_{k-1}(t_k)'' = S_k(t_k)''$ である．両端の境界条件として， $S_1(t_1)'' = S_{n-1}(t_n)'' = 0$ ， $S_1(t_1)' = y_1'$ ， $S_{n-1}(t_n)' = y_n'$ が与えられているものとし，図 - 2 のように示す．

4. 過去の観測記録への適用

(1) 対象橋梁と衝撃加振実験

図-3 のような支間長 78.0m の吊床版橋を対象橋梁とし，1/4L 地点にて

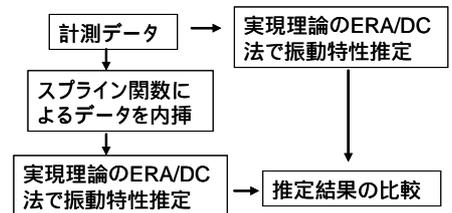


図-1 推定の流れ

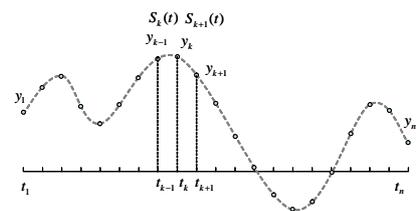


図-2 スプライン関数の内挿

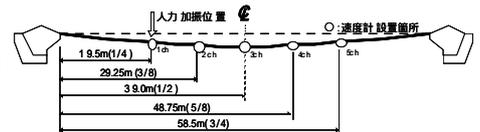


図-3 吊床版橋一般図

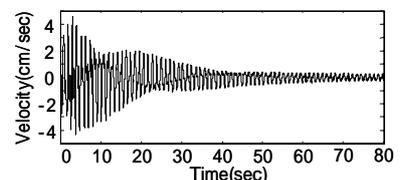


図-4 計測した速度応答

人力加振を行った場合の速度応答を計測した。速度計は支間中央から左右に2点ずつ、計5点設置し、サンプリング周波数を100Hz、計測時間は80secとした。図-4に計測した速度応答を示す。

(2) スプライン関数による計測データの内挿
吊床版橋における衝撃加振データのサンプリング時間は $dt=0.01\text{sec}$ である。3次スプラインによりデータのリサンプリングを行うことで時間刻みを $dt=0.003\text{sec}$ にし、高次の振動数の推定精度を図る。

5. 振動特性推定結果

(1) 振動数推定結果

図-5に、ERA/DC法により推定した振動数を示す。今回は、20回の推定を行い、図より、元データは1~6次まで比較的近接した振動数を推定することができる。また、リサンプリングを行っていたデータは1~8次まで比較的近接した振動数を推定することができた。

また、表-1は推定結果の平均値、標準偏差、変動係数を示したものである。表より、リサンプリングを行っていたデータは、計測データより変動係数は若干小さくなり、振動数の推定精度を高まったことを確認した。

(2) 減衰定数推定結果

図-6に、ERA/DC法により推定した減衰定数を示す。表-2は、推定結果の平均値、標準偏差、変動係数を示したものである。表より、4次だけリサンプリングを行っていたデータは計測データより変動係数が小さくなった。

(3) 振動モード推定結果

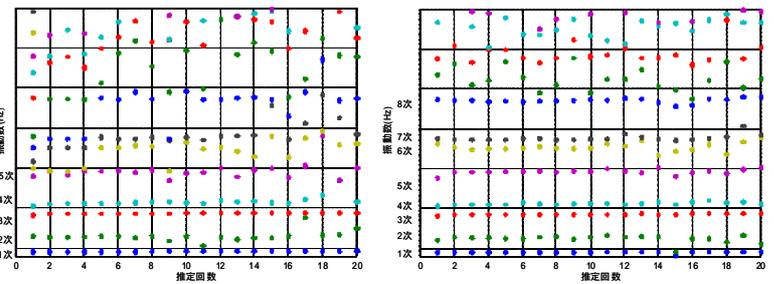
図-7に示すように、振動モードを推定できることを確認できた。

6. まとめ

スプライン関数で過去計測したデータを内挿することによりリサンプリングを行い、実現理

論を適用する手法行で近接固有値を有する吊床版橋に適用することが確認した。吊床版橋について、スプラインにより計測データのリサンプリングを行い、時間刻みを小さくすることで高次振動数の推定精度が向上することが確認できた。減衰定数の推定では、リサンプリング処理により推定精度は向上することができなかった。この点については、今後検討する必要がある。振動モードは、いずれの手法でも良好な推定結果が得られた。

【参考文献】1)岡林 他：近接固有値を有する構造物の振動特性推定，土木学会論文集 No.633/I-49pp.93~102，1999 2)下妻 他：近接固有値を有する構造物の実現理論による振動特性推定，平成20年度土木学会西部支部研究発表会，pp.125-126,2009

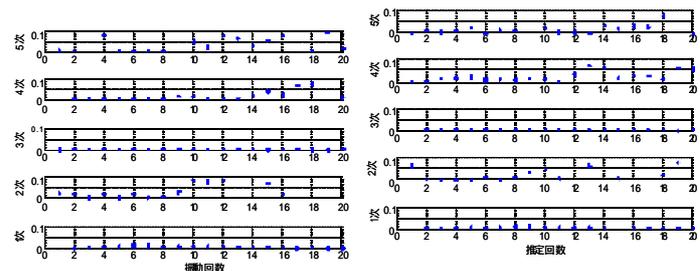


(a)計測データ (b)リサンプリングデータ

図-5 振動数推定結果

表-1 振動数推定の評価

次数	平均値Hz		標準偏差Hz		変動係数%	
	計測データ	リサンプリングデータ	計測データ	リサンプリングデータ	計測データ	リサンプリングデータ
1次	0.927	0.918	0.009	0.020	1.05	2.25
2次	1.311	1.254	0.133	0.093	10.2	7.42
3次	1.874	1.872	0.011	0.010	0.59	0.55
4次	2.184	2.138	0.132	0.032	6.05	1.51
5次	2.943	2.941	0.229	0.064	7.79	2.18
6次	3.417	3.557	0.308	0.110	9.03	3.08
7次	3.841	3.789	0.371	0.084	9.66	2.21
8次	4.532	4.729	0.555	0.060	12.2	1.26



(a)計測データ (b)リサンプリングデータ

図-6 減衰定数の推定結果

表-2 減衰定数推定の評価

次数	平均値		標準偏差		変動係数%	
	計測データ	リサンプリングデータ	計測データ	リサンプリングデータ	計測データ	リサンプリングデータ
1次	0.005	0.019	0.005	0.060	97.0	309.3
2次	0.089	0.058	0.121	0.089	136.1	152.7
3次	0.004	0.004	0.002	0.003	40.6	69.3
4次	0.034	0.024	0.060	0.023	117.5	96.5
5次	0.064	0.012	0.076	0.021	118.3	171.7

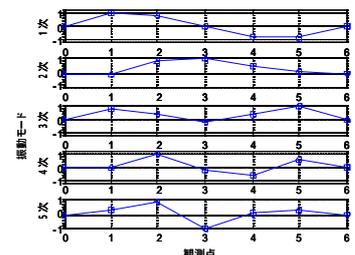


図-7 振動モード推定結果