

実橋計測データへの実現理論適用による構造同定結果に対する考察

(株)日本構造橋梁研究所 正会員 小松 正貴
(株)高速道路総合技術研究所 正会員 和田 吉憲

(株)日本構造橋梁研究所 非会員 田中 義則
長崎大学工学部 正会員 西川 貴文

1. はじめに

本稿は、実現理論 (ERA 法) による振動特性推定法を、鋼単純鈹桁橋に適用し、実現理論による振動特性推定法の有効性と推定精度の評価を行ったものである。まず、実現理論による振動特性推定法の妥当性の指標となる実橋の固有周期を確認するために、数値シミュレーションを実施した。次に、本手法を実際の高速道路橋 (鋼単純非合成鈹桁橋) に適用し、実構造物に対する本手法の有効性を検証した。さらに、モード解析法との固有周期の比較により、本推定手法の推定精度について評価した。

2. 実橋計測の概要

実橋計測は、図-1 に示す橋梁の G4 主桁 (下フランジ上) に加速度計を設置してデータを集積した。計器設置は L/2, L/4, L/8 点 (L : 支間長) で 3 チャンネルとした。データ計測回数は、1 分間 × 5 回 (サンプリング周波数 100Hz) とした。なお、計測中は常時車両が走行している状態であった。

3. 解析モデルによる固有振動数の再現

竣工図を基に既設橋梁をモデル化する。解析モデルは、3次元骨組みモデル (図-2) とし、支点条件は、A1 橋台側 : 可動支承, A2 橋台 : 固定支承として、上部工のみをモデル化する。振動モードは鉛直振動のみに着目した。解析の結果は図-3 のとおりである。1 次振動数は 3.3Hz 程度であり、一般的な目安値 100/L(支間)=3.1Hz と同等となることから妥当な結果と判断した。

4. 実現理論による振動特性推定法

実現理論 (ERA 法) の概要について説明する¹⁾。計測データから逆推定する運動方程式を状態方程式で表し、時間刻み Δ で離散化すると下式となる。

$$x(k+1) = Ax(k) + Bf(k), \quad y(k) = Cx(k) \quad (1)$$

ここに、 $x(k), f(k), y(k)$ は状態変数, 外力, 観測値である。

なお、状態行列 A と外力行列 B は次式で与えられる。

$$A = e^{-\tau T}, \quad B = (e^{-\tau T} - I) A^{-1} \bar{B} \quad (2)$$

ここに、 \bar{A} と \bar{B} は連続系の運動方程式の係数行列から構成される。さらに、 C は観測行列である。

ここで、常時微動から振動特性を推定する場合、運動方程式の外力を白色雑音 $w(t)$ として考える。離散時間パラメータを τ とすると、式(3)となる。

$$f(\tau) = w(\tau) \quad (3)$$

白色雑音系列 $w(\tau)$ の平均値と自己相関関数行列は

$$E[w(\tau)] = 0, \quad E[w(\tau)w(k)^T] = Q\delta_{\tau k} \quad (4)$$

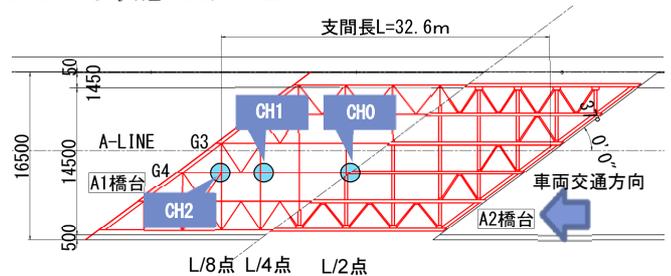


図-1. 実橋計測の加速度計配置図 (3 チャンネル)

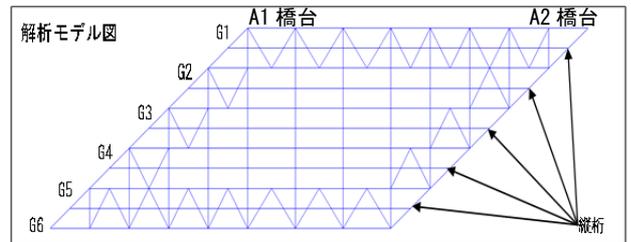


図-2. 鋼鈹桁橋の固有値解析モデル

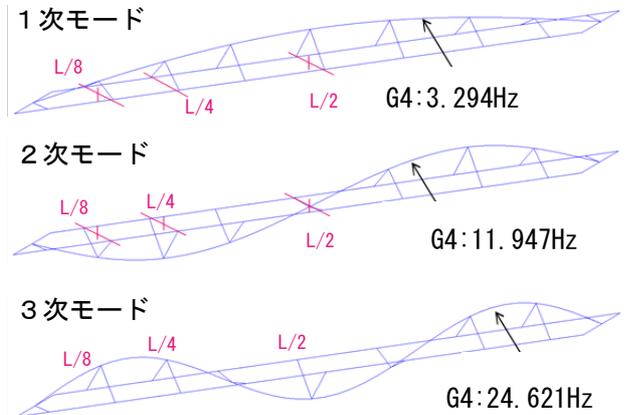


図-3. G4 桁の振動モード図

キーワード 鋼単純鈹桁橋, 実橋計測, 構造同定, 実現理論, 固有値解析

連絡先 〒101-0032 東京都千代田区岩本町3丁目8番16号NOF 神田岩本町ビル3階 TEL 03-5825-5031

で与えられる.

また, Q は白色雑音の強度行列であり, δ_{pk} はクロネッカーのデルタである. 応答 $x(\tau)$ の平均値を $E[x(\tau)] = \mathbf{0}$ とすると, 共分散行列は $R(\tau) = E[x(\tau)x(\tau)^T]$ で定義される. 式(1)の共分散を計算すると共分散方程式が得られ, 常時微動のモデルとして $\tau \rightarrow \infty$ とした場合の定常過程を考えると, 共分散方程式は, 次式で表される.

$$R = ARA^T + BQB^T \tag{5}$$

観測値 $y(\tau)$ の自己相関行列は, 次式となる.

$$A(k) = E[y(\tau+k)y(\tau)^T] = CA^{k-1}G \tag{6}$$

ここに, $G = ARC^T$ としている. 常時微動の場合は, 観測値の自己相関関数行列が, マルコフパラメータと同じ形になる. よって, 常時微動の自己相関行列を用いて, 観測振動のみから振動特性を推定することが可能となる.

5. 振動計測結果

計測した加速度波形(図-4)とパワースペクトル(図-5)を示す. パワースペクトル図において赤線が解析より求めた1次~3次振動数となる. 1次振動数についてはスペクトルのピークは解析値とほぼ一致しているが, 車両が走行状態での計測データである点, 2,3次モードの振幅が小さい点から明確なスペクトルのピークを見極めることができない. 一方, G4桁のCH0~CH2の計測データを振動特性推定手法(ERA法)により解析した結果を図-6に示す. 灰色線は目安として表示した計測データのスペクトル解析結果で, 赤丸点がERA法により振動特性を推定した結果となる. 振動数の推定は, 計測データを15秒毎に解析し, 結果をプロットしている. 結果, 2次振動数領域は, 車両交通振動の影響が大きい点, 応答振幅が最も大きくなるL/2点が2次モードでは節になる点等から明確な推定ができない結果となったが, 1次振動については, 解析値3.294Hzに対し推定平均値は3.423Hz, 3次振動については, 解析値24.621Hzに対し推定平均値は24.429Hzと高精度で推定が可能であることが判る. なお, 推定結果の精度評価は, 度数分布(図-7)より判定した.

6. まとめ

- ・実橋計測データへERA法を適用し, 固有振動数を高精度に推定することが可能であることがわかった.
- ・振動計測値から振動数を精度よく推定するためには, 車両交通の影響がない状態で計測を行う必要がある
- ・車両交通の影響を排除できる解析手法等を検証し, 低次振動領域の推定精度向上を図る必要がある.
- ・実橋計測データを蓄積し, 時系列に対比することで, 橋梁の健全度診断技術の一つとして確立させたい.

参考文献

1)小松正貴, 奥松俊博, 岡林隆敏, 下妻達也, 深田宰史: 実現理論による近接固有値を有する構造物の振動特性推定, 構造工学論文集, Vol.59A, pp.340-352, 2013.

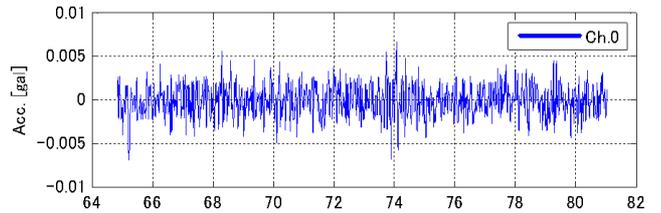


図-4. 時刻歴加速度応答波形(G4桁 CH0 計測結果)

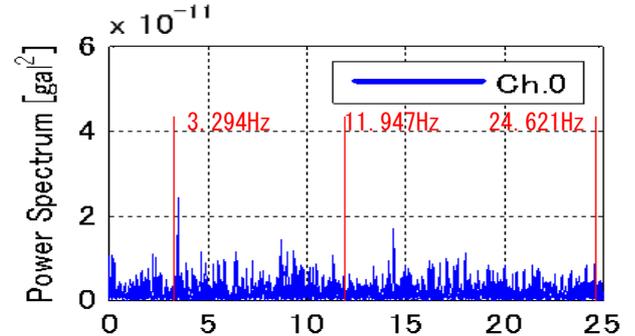


図-5. パワースペクトル (G4桁 CH0 計測結果)

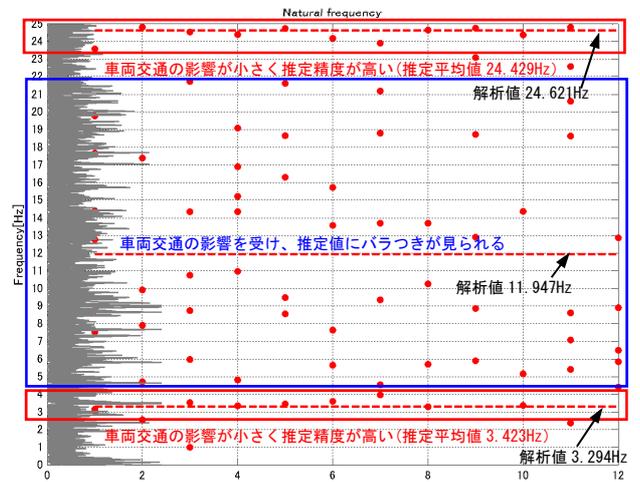


図-6. ERA法による構造同定解析結果

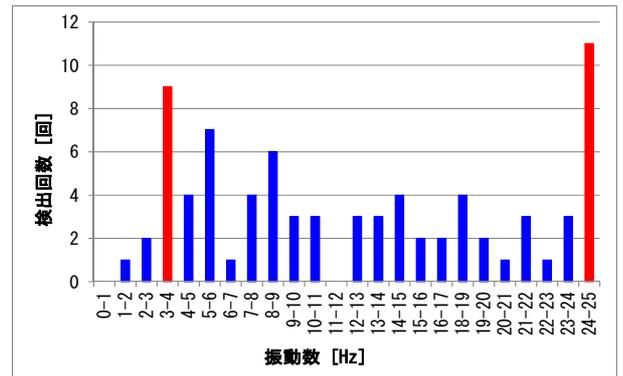


図-7. 構造同定解析結果の頻度分布