

橋梁長期モニタリングシステムの開発と遠隔計測への適用

長崎大学工学部 フェロー 岡林 隆俊
日本道路公団 正会員 室井 智文

(株)オーデックス 正会員 縦山 好幸
長崎大学大学院 学生会員○増田 大樹
長崎大学工学部 正会員 奥松 俊博

1. はじめに

従来、橋梁の損傷箇所の発見は主に目視点検で行なわれてきたが、道路資産の蓄積・増加に伴い、作業コストと効率性の両面から効率的な維持管理を支援するための技術が求められている。その手法の一つとして、遠隔モニタリングシステムの導入が考えられる。本研究は、長期的な橋梁遠隔計測から、老朽化に伴う固有振動数の変動を明らかにすることで、橋梁の健全度診断を実現しようとするものである。

2. モニタリングシステムの概要

(1) システムの構成

システムの構成を図-1に、サーバの構成機器一覧を表-1に示す。本システムは、橋梁の加速度応答および表面温度を測定するためのサーバと、一切の解析処理を行い固有振動数を算出するためのクライアントから構成されている。サーバ・クライアント間は PHS によるダイヤルアップ通信でオンライン化し、相互に通信することができる。このため、機器のメンテナンスを除けば現場に赴く必要がないため、効率的な動態観測を実現することができる。遠隔モニタリングシステムを構築するにあたっては、以下の3点を開発目標とした。

- ① 常時の計測の完全自動化
- ② 現場内計測機器の遠隔制御
- ③ 固有振動数の高精度推定

(2) 高精度振動数自動推定のアルゴリズム¹⁾

構造物に損傷が発生した場合、剛性の低下に伴い構造物の固有振動数は低下する傾向がある。この振動数の変化を検知することで、構造物の損傷発生を検知することができる。しかし、そのためには、微小な振動数変化を検出することのできる高精度なアルゴリズムが必要となる。そこで、本システムでは、AR モデルを用いて橋梁の固有振動数を高精度に算出する構造同定アルゴリズムを開発した。図-2にクライアントにおける解析フローを示す。加速度応答を y とすると、AR モデルは

$$y(k) + \sum_{s=1}^n a_s y(k-s) = e(k) \cdots (1)$$

で表される。ここで、 a_s は AR モデルパラメータである。(1)式の特性方程式とその根は

$$z^n - a_1 z^{n-1} - a_2 z^{n-2} - \cdots - a_n = 0 \cdots (2) \quad z_k = X_{k \text{ Re}} + i X_{k \text{ Im}} \cdots (3)$$

となる。この根と振動パラメータの関係が

キーワード：維持管理、橋梁振動、ヘルスモニタリング、遠隔計測

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科 TEL：095-819-2626

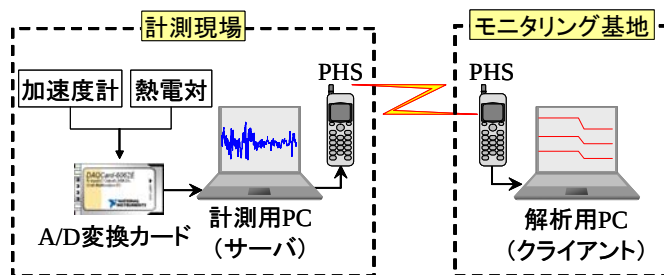


図-1 システムの構成

表-1 サーバ使用機器一覧

機 器 名	メーカー (型番)	数量
圧電型加速度計	TEAC (707LF)	4
圧電型加速度計用アンプ	TEAC (SA610-H)	4
信号調節用キャリア	National Instruments (SC-2345)	1
フィールドスルーモジュール	National Instruments (SC-FT01)	4
熱電対	山里産業	2
熱電対入力モジュール	National Instruments (SCC-TC02)	2
DAQ Card	National Instruments (6062E)	1
PC	Panasonic (CF-28)	1
PHS	日本無線 (AH-J3003)	1
外部アンテナ		1

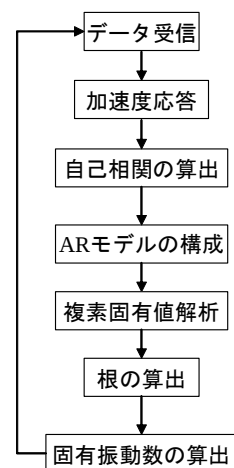


図-2 解析フロー

$$h_k \omega_k = (-1/\Delta) \log \sqrt{X_{Re}^2 + X_{Im}^2} \cdots \cdots (4)$$

$$\omega_k \sqrt{1 - h_k^2} = (1/\Delta) \tan^{-1}(X_{Im} / X_{Re}) \cdots \cdots (5)$$

となることから、振動数 ω_k と減衰定数 h_k が推定できる。 $e(t)$ は白色雑音過程、 Δ は推定データのサンプリング時間である。

3. 実橋観測

(1) 計測の目的および対象橋梁

橋梁の固有振動数と健全度の関係について、長期的な動態観測から検証した例は少ない。また、橋梁の固有振動数は、老朽化による影響だけではなく、気温の変化によっても変動すると思われる。したがって、固有振動数の変化から橋梁の健全度を診断するためには、温度変化による影響を把握する必要がある。そこで、開発した計測システムを、日本道路公団の協力を得て近畿自動車道の高架橋（PC 合成桁）に適用し、約 1 年間の連続計測を行う。対象橋梁とモニタリング基地との位置関係を図-3 に、センサー・計測機器の設置箇所を図-4 に示す。



図-3 対象橋梁の位置

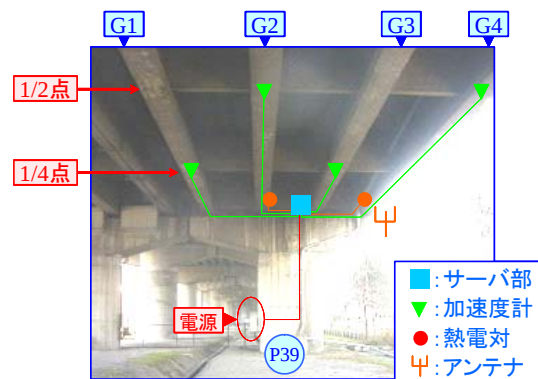


図-4 センサー・計測機器の設置箇所

(2) 計測方法

本計測において、サーバは 24 時間稼働させ、4 時間ピッチで計測データをクライアントへ自動送信することとした。加速度応答に関しては当該区間内で最大振幅を含む 5 分間分のデータを、表面温度に関しては 5 分毎に算出した平均温度をそれぞれ送信する。長崎大学に設置したクライアントでは、これらのデータを受信し、前述の方法で固有振動数を算出する。これを長期的に繰返し蓄積することで、固有振動数の経時変化を明らかにすることができる。

4. 観測結果

固有振動数の変動波形に着目すると、気温の低下とともに、固有振動数が 4 主桁とも増加している傾向が顕著に表れている。また、主桁ごとに変動波形を比較すると、各固有振動数の波形がほぼ同様の傾向で変化していることから、温度変化による影響が各主桁に一樣に及ぼされていることがわかる。各主桁の年間の固有振動数の変動量は表-2 に示す通りで、本実橋計測においては、最大 0.15Hz 程度の変動を確認した。

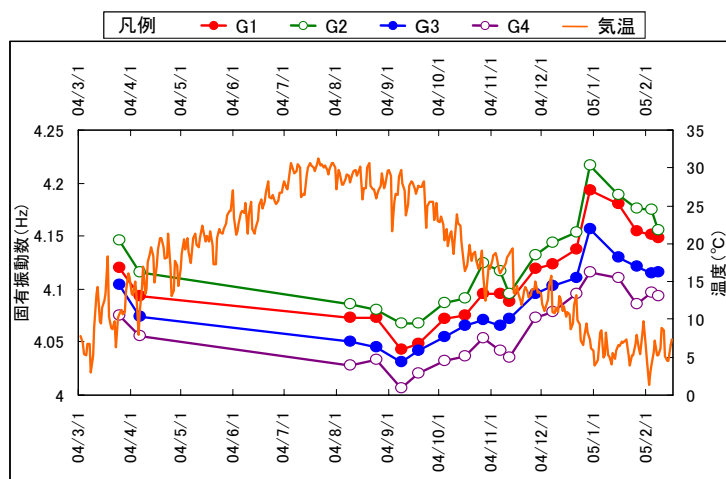


図-5 観測結果

表-2 固有振動数の年間変動量

	G1	G2	G3	G4
固有振動数の年間変動量 (Hz)	0.150	0.149	0.126	0.110

5. まとめ

常時微動から固有振動数を推定する遠隔モニタリングシステムを開発し、実橋の長期計測に適用した。その結果、主桁の固有振動数が温度変化とともに変動することを確認した。

振動数の変化から健全度診断を行うためには、温度の変化による影響を含めて適正に評価する必要がある。

【参考文献】

1) 木村, 岡林, 奥松, 中宮: 高精度振動特性推定法による道路橋損傷の検出可能性の検討, 土木学会第 58 回年次学術講演概要 第 I 部門, pp.1279-1280 (2003.9)