

## 橋梁維持管理のための振動特性長期遠隔モニタリング

|           |     |        |           |      |       |
|-----------|-----|--------|-----------|------|-------|
| 長崎大学工学部   | 正会員 | ○奥松 俊博 | 長崎大学工学部   | フェロー | 岡林 隆敏 |
| (株)オーデックス | 正会員 | 室井 智文  | (株)オーデックス | 正会員  | 樺山 好幸 |
|           |     |        | 長崎大学大学院   | 学生会員 | 田代 大樹 |

## 1. はじめに

振動特性の変化を指標に健全度評価を行なう場合、振動特性を高精度に推定できる同定理論の開発が必要となる。当研究室では、高精度振動特性推定法<sup>1)</sup>による遠隔モニタリングシステムを開発し、健全度診断への可能性について検討してきた。ここで、損傷・劣化が構造物の振動特性に与える影響は一般的に微小であるため、温度等の環境変動によって生じる振動特性の変化を予め把握しておく必要がある。そこで本研究では、本システムを用いて実橋梁（PC 剛性桁）の長期遠隔モニタリングを実施し<sup>2)</sup>、温度等の環境条件が振動数変化に与える影響について検証する。

## 2. 遠隔モニタリングシステム

構造物に劣化・損傷が発生すると、剛性低下に伴い固有振動数は低下する傾向にあるが、その変化量は微小である。そこで振動数変化から健全度評価を目的とし、微小な振動数変化を検出することのできる高精度振動数推定法を用いる必要がある。遠隔モニタリングシステムおよび **AR** モデルによる高精度振動数推定法を以下に示す。

### (1) 遠隔モニタリングシステム

本システムは、計測現場の加速度応答および表面温度を測定するためのサーバ PC と、固有振動数を算出するためのクライアント PC から構成されている。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。両 PC 間のデータ通信は PHS による PIAFS 接続を利用した。本システムにより、計測の完全自動化、計測機器の遠隔制御、固有振動数の高精度推定を同時に実現している。

## (2) 高精度振動数自動推定法

図-2 に AR モデルによる高精度振動数自動推定の解析フローを示す。また本システムによる図-3 にモニタリング画面（クライアント）を示す。AR モデルを以下に示す。

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

(1) 式の特性方程式と根は以下で表される。

$$z^n - a_1 z^{n-1} - a_2 z^{n-2} - \dots - a_n = 0 \quad \dots (2)$$

$$Z_k = X_{\text{Re}}^k + iX_{\text{Im}}^k \quad \dots(3)$$

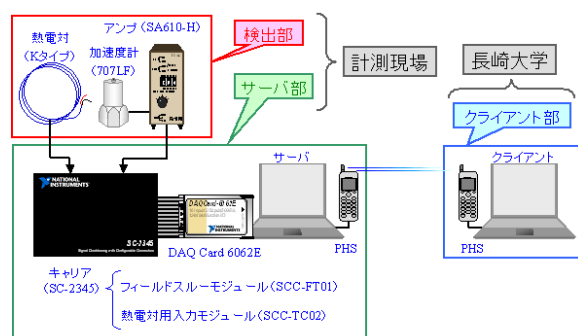


図-1 システムの構成機器

表-1 サーバの構成機器

| 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  |
| フィードスルーモジュール | National Instruments（SCC-FT01） | 4  |
| 熱伝対          | 山里産業                           | 2  |
| 熱伝対入力モジュール   | 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  |

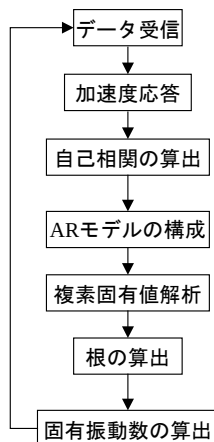


図-2 解析フロー

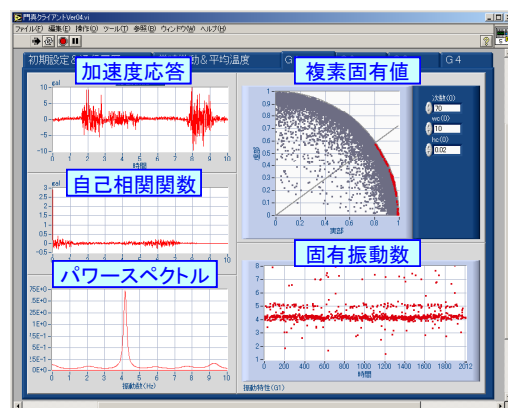


図-3 モニタリング画面

根と振動パラメータの関係より振動数 $\omega_k$ と減衰定数 $h_k$ が推定できる。 $e(t)$ は白色雑音過程、 $\Delta$ はサンプリング時間である。 $a_c$ はARモデルパラメータである。

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

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

### 3. 実橋梁の長期観測

#### (1) 対象橋梁

実橋梁における固有振動数の経時変化を明らかにするため、PC 合成桁 (4 主桁、橋長 33m) を対象として、長期的な動態観測を実施した。モニタリングサイトである長崎大学と、対象橋梁所在地との位置関係を図-3 に示す。また対象橋梁に設置したセンサー類、計測機器の位置を図-4 に示す。

#### (2) 計測方法

現場に設置したサーバより、予め設定したデータ転送スケジュールに基づき計測データをクライアントである長崎大学へ自動送信する。桁表面温度は 5 分毎に算出した平均温度を、加速度データは最大応答振幅を含む 5 分間分のデータを、それぞれ 4 時間おきに転送する。クライアント PC では、これらのデータを受信した後、固有振動数を算出する。長期観測により固有振動数の経時変化を明らかにする。



図-3 サーバ/クライアント位置

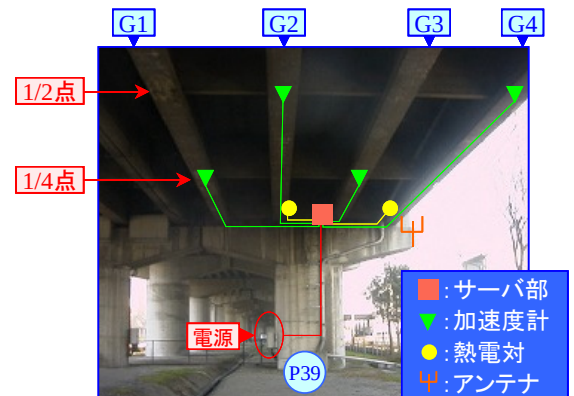


図-4 センサー・計測機器の設置箇所

### 4. 温度変化と振動数変化の関係

図-5 は、平成 17 年 10 月～12 月の PC 桁表面温度と G3 主桁の平均固有振動数の変化を表したものである。正午付近に測定した桁鉛直方向の加速度データより、AR モデルで同定した 1 次(4Hz 程度)の固有振動数を示している。桁表面温度が 25℃から 7℃付近まで低下する間に、振動数は、3.95Hz から 4.2Hz の範囲で、ばらつきながらも徐々に上昇していく様子が伺える。同傾向は回帰曲線（線形近似）からも見て取れる。既報<sup>2)</sup>において、春～夏の温度上昇期に桁振動数が低下する傾向を確認しているが、このような傾向は、温度変化による橋軸方向の桁の微小な伸縮が影響しているものと思われる。橋梁部材の劣化・損傷により生ずる振動数の変化は微小と言えるため、橋梁の健全度評価を行うためには、年間温度変化により生ずる振動数変化分を予め考慮しておくことが必要である。

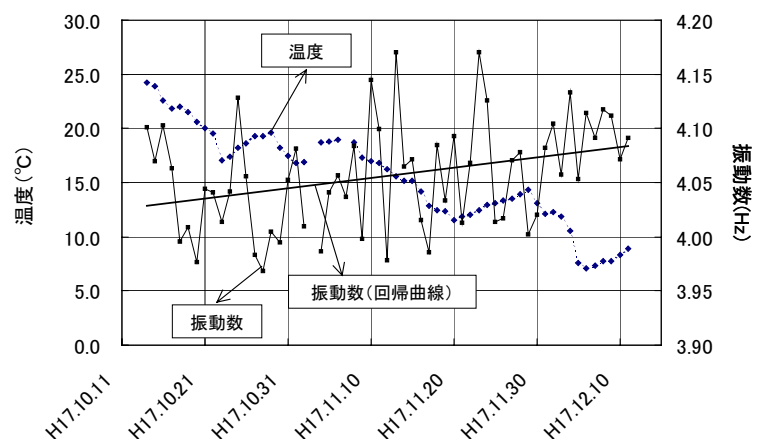


図-5 温度変化に伴う振動数の変化

### 5. まとめ

開発した遠隔モニタリングシステムが効率的な維持管理ツールとなることを確認した。また、振動数の変化から健全度評価を行なうためには、温度変化に伴い発生する振動数の年間（季節）変動も考慮することが必要であることを確認した。さらに長期的な観測により、振動数の年間変動量を明確にすることを今後の課題とする。

[参考文献] 1) 岡林, 奥松, 中宮: 常時微動に基づく AR モデルによる構造物振動数の高精度自動推定, 土木学会論文集 No.759/I-67, pp.271-282, 2004、2) 長期遠隔モニタリングシステムの開発と遠隔計測への適用, 土木学会第 60 回年次学術講演会梗概集(第 I 部門), pp.109-110, 2005