

精密小型加振機と無線加速度センサネットワークを結合した構造センシング手法の基礎的検討

東京理科大学 学生員 ○斎藤 拓馬

元東京理科大学 非会員 日高 ちはる

東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

1. はじめに

構造物の維持管理を目的として、構造物の保有性能をより定量的に把握する構造センシング手法の研究が進められている¹⁾。近年、構造センシングに無線センサネットワークを適用することで、より高次のモード形状を捉える試みがなされている。さらに、振動源を既知とする研究も行われ、偏心した錘を回転させることで生じる遠心力を利用した振動源が開発されている²⁾。

本研究は無線センサネットワークと振動源を用い、構造物の固有振動数やモード形状といった振動特性を高精度に同定するためのシステムを開発することを最終目的とする。そこで本研究では無線センサノードと振動源の試作機を作製し、さらに無線センサネットワークに時刻同期、スタッキング、離散フーリエ変換の機能を実装させる。また、実証試験により振動源が励起する振動成分を高精度に取得できることを検証した。

2. 本研究で検討するセンシング手法の概要

本研究では振動源を精密小型加振機と呼ぶこととする。本手法では、まず精密小型加振機で構造物を振動させ、多点に配置した無線センサノードで加速度応答を計測する。そして、無線センサノードはその情報をサーバに無線送信し、サーバで解析することで構造物の固有振動数やモード形状等を同定する。精密小型加振機は、偏心させた錘を回転させることで遠心力を発生させ、構造物に伝達させることで振動させる。回転周波数を高精度に制御することで周波数変調を可能とし、これにより同時に多成分の応答を励起できる。また、精密小型加振機の起振力は構造物に損傷を与えない程度に小さくする。そのため、長時間の計測により、S/N を向上させる必要がある。メモリ不足でデータ長が限られる無線センサノードで長時間の計測を行うため、無線センサノードと精密小型加振機を時刻同期させ、スタッキングを行いながら加速度応答をサンプリ

ングする。さらに無線センサノード上で離散フーリエ変換を行い、精密小型加振機が励起した周波数成分のみを抽出することで無線送信するデータ量を削減する。

3. 精密小型加振機

図-1 に試作した精密小型加振機を示す。回転軸には偏心錘をネジにより取り付けられている。回転軸

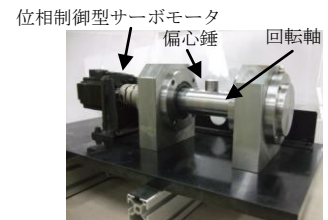


図-1 精密小型加振機の試作機

を位置制御型サーボモ

タで回転させることで遠心力を発生させ、これを起振力とする。偏心錘は取り外しが可能であり、様々な重さの錘を取り付けられる。図で示した偏心錘では、20[Hz]の回転で約 18.9[N]の力を励起する。

4. 無線センサノード

図-2 に試作した無線センサノードを示す。この無線センサノードには 3D 加速度計、16bitADC、高性能無線モジュール TWE-001 が搭載されている。



図-2 センサノードの試作機

5. 時刻同期手法の実装と性能評価

スタッキングを正常に行うためには精密小型加振機と無線センサノードを時刻同期させる必要がある。本システムの概略図を図-3 に示す。本時刻同期手法は、1つの基準クロックで無線センサノードへのトリガー信号とサーボアンプへの制御パルスを生成させることで実現する。精密小型加振機が 10 秒毎に計測のトリガー信号を無線でブロードキャストし、信号を受信した無線センサノードは周波数 100Hz で 1000 回計測を行う。計測終了後は次のトリガー信号を受信するまで待機する。この手法より、10 秒間の中ではクロック誤差が生じるもののクロック誤差が累積することはない。

キーワード：時刻同期、スタッキング、無線センサネットワーク、精密小型加振機、周波数変調

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科 TEL：04-7124-1501

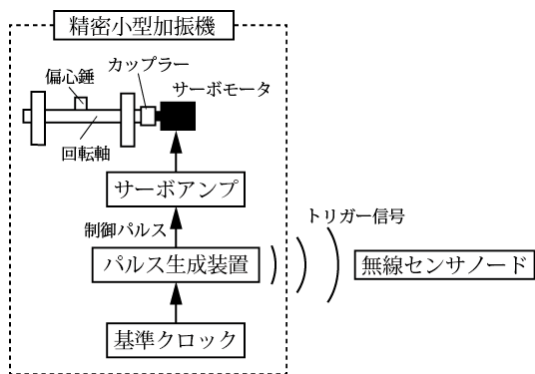


図-3 システムの概略図

また、時刻同期実証試験としてスタッキングなし、時刻同期あり・なしの場合で加速度応答の計測を行った。精密小型加振機を 20Hz の一定周波数で起動させ、100 回スタッキングを行った。時刻同期ありのシステムで得られたフーリエスペクトルを図-4 に示す。また、表-1 に比較結果を示す。S/N は 20Hz の信号の振幅を

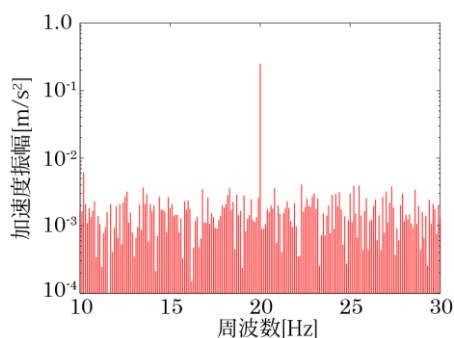


図-4 100 回スタッキングにより得られた周波数応答関数

表-1 時刻同期あり／なしによる S/N の比較

スタッキング	時刻同期	振幅 [m/s²]	ノイズ平均 [m/s²]	S/N
なし	—	0.2529	1.654×10^{-2}	15.3
あり	あり	0.2488	1.569×10^{-3}	158.5
あり	なし	0.2003	1.540×10^{-3}	130.0

19.0Hz~21.0Hz のノイズの振幅の平均値で除すことで求めた。表-1 のスタッキングなしと 100 回スタッキングを比較するとノイズレベルが 1 オーダーほど低下しているのが分かる。スタッキング回数を N とすると、理論的に S/N は $\sqrt{N}$ 倍改善されることが知られており、本実験はほぼ理論値通りとなった。また、時刻同期ありとなしを比較すると、時刻同期なしの場合、スタッキングにより振幅が減少してしまっている様子が見られる。一方で、時刻同期ありの場合は、スタッキングなしの場合と比較して振幅の低下は見られない。

6. 精密小型加振機の周波数変調

本システムは精密小型加振機の回転周波数を変調させることで、同時に多成分を観測できるようにする。周波数変調は、図-3 の制御パルスの出力間隔を変調することで行う。本論文では FM 周期を 10 秒とし、始めの 5 秒で 10Hz から 20Hz まで 13 段階に分けて変化させ、その後の 5 秒で 10Hz まで 13 段階で変化させる。精密小型加振機を実際に周波数変調させ、サーボ加速度計で 50 秒間計測した結果から得られた周波数応答関数を図-5 に示す。図-5 を見ると、10Hz~20Hz のあた

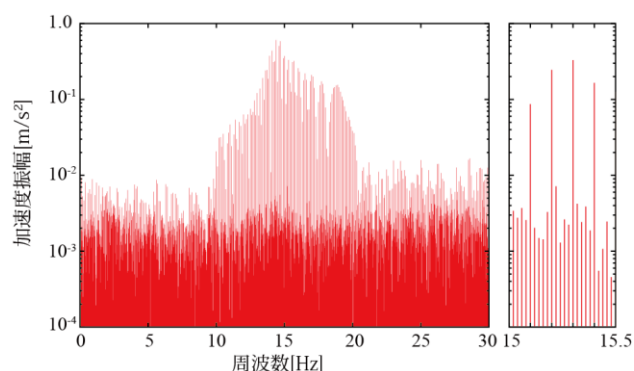


図-5 FM 制御時に計測された周波数応答関数

りで応答が大きくなっている様子が見える。また、右の拡大した図を見ると、0.1Hz 間隔で振幅が大きくなっているのが分かる。データ長を 50 秒としたため、周波数成分の分解能は 0.02Hz であり、0.02Hz 刻みにノイズが生じる。一方で、本システムでは FM 周期を 10 秒としているため、精密小型加振機のシグナルは 0.1Hz 刻みとなる。よって、シグナルとノイズを分離することに成功していると判断できる。

7. まとめ

本研究では精密小型加振機の試作機と無線センサノードの試作機を作製し、時刻同期手法の実装及び性能評価を行い、正常にスタッキングが動作することを確認した。また、精密小型加振機の周波数変調により多成分のデータ取得が行えた。

謝辞

本研究は科学研究費補助金（若手研究(B):22760347）の助成を受けたものである。

参考資料

- 1)山本鎮男：ヘルスマニタリング，共立出版株式会社，2008.
- 2)古川愛子：未知の加振力によるフーリエ振幅比を利用した損傷同定手法の実橋梁による検証，構造工学論文集，vol.53A，p258-267，2007.