

精密小型加振機と加速度無線センサによる周波数応答関数の計測精度の実験的検討

東京理科大学

学生員 ○斎藤 拓馬

東京理科大学

正会員 佐伯 昌之

1. はじめに

著者らは、構造物の保有性能を定量的に評価することを目的として、構造センシング手法の開発を試みている。本手法は、精密小型加振機と加速度無線センサを結合することで、対象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ものである。これまでに、加速度無線センサと精密小型加振機の試作機を作製し、精密小型加振機により励起された応答を、加速度無線センサで計測できることを確認している¹⁾。本研究では、上記システムの時刻同期精度及び、変位計測精度を検証した。

2. 本研究で検討するセンシング手法の概要

本手法では、対象構造物を精密小型加振機で定常振動させ、多点に配置した加速度無線センサでその加速度応答を計測する。計測終了後、加速度無線センサ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といった振動特性を同定する。

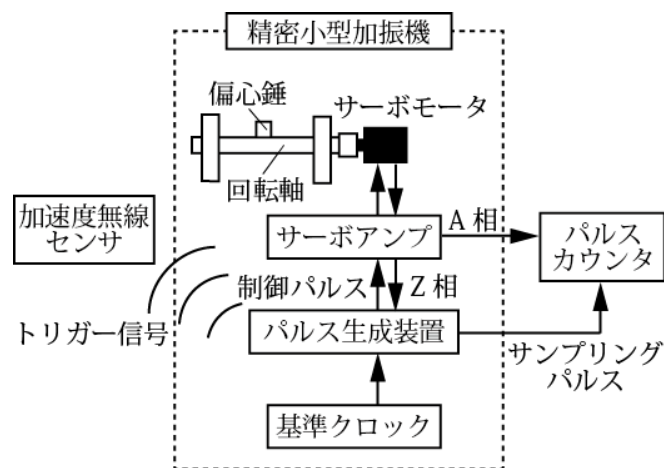


図-1 精密小型加振機の概略図

精密小型加振機の概略図を図-1に示す。精密小型加振機の制御は主にパルス生成装置で行われる。パルス生成装置は次の処理を行っている。

- 1) 周波数変調用の制御パルスを生成する。
- 2) 加速度無線センサにトリガー信号を送信する。

まず 1) について説明する。制御パルス生成装置は、

キーワード：時刻同期、加速度無線センサ、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

基準クロックを分周し、制御パルスを生成する。サーボアンプはその制御パルスに従ってサーボモータを回転させる。制御パルスを生成する際、分周比を時間的に変化させることで周波数変調する。これにより、一度の計測で多数の周波数成分を励起することができる。

次に 2) について説明する。本手法では、加速度無線センサノード上で加速度データをスタッキングし、離散フーリエ変換により、振動成分のみを抽出することで、データの質を劣化させることなく量を削減する。これを実現するには、精密小型加振機と加速度無線センサを時刻同期させる必要があるため、本手法では、パルス生成装置が変調周期毎にトリガー信号をブロードキャストすることで時刻同期を行っている。

3. 制御パルスと A 相の比較試験

偏心錘の回転は制御パルスにより制御されるが、本当に制御通りの回転であるかは不明である。そこで偏心錘の回転が制御パルス通りであるか、制御パルスとエンコーダ A 相を比較することで検証した。A 相が出力するパルス列は 1 回転毎に設定した数のパルスを出力するため、そのパルスをカウントすることで、実際の偏心錘の回転を知ることができる。始めの 9 秒で回転を速め、残りの 1 秒で元の回転数に戻るような制御とし、試験は周波数変調を 2~50Hz とした広帯域の場合と 4.5~5.5Hz とした狭帯域の場合の 2 種類実施した。狭帯域の場合の振源関数の比較結果を図-2に示す。

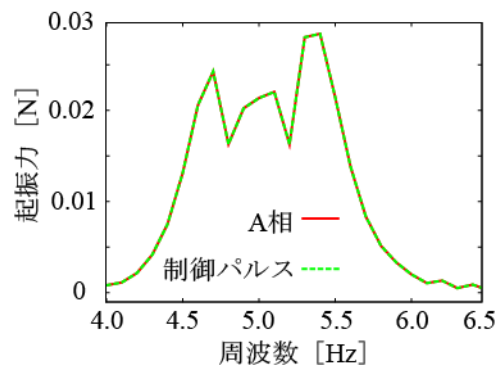


図-2 狭帯域変調時の起振力の比較結果

4.5~5.5Hz の狭帯域の場合は、A 相、制御パルス共に起振力がほぼ一致していることが分かる。そのため、制御パルス通りに偏心錘が回転していると言える。それに対して、2~50Hz の広帯域の場合、A 相と制御パルスから求めた起振力は 6%程度の誤差が生じてしまった。これは制御パルス数が急激に上昇すると、偏心錘は制御が追い付かず、位相遅れが生じてしまったことが原因である。

4. 時刻同期の精度検証

加速度無線センサは、IEEE802.15.4 に準拠するプロトコルを使用しており、その無線送信方法には、本時刻同期手法を適用する上で問題点がある。その問題点とは、ランダムな時間 (2ms 程度) 待機してから無線送信することと、無線送信ができない場合、再送信することである。そのため、トリガー信号の無線送信にかかる時間は一定でなく、ジッターが生じてしまう。そこで、待機時間を一定とし、さらに再送信を一切行わないよう設定した。

加速度無線センサがトリガー信号を受信するときの時間を計測し、上記の設定を行った上でのジッターを確認した。本検証では、始めのトリガー信号を受信したときを基準とし、次からのトリガー信号を受信するときの時間と理想時間との差を求めた。結果を図-3に示す。

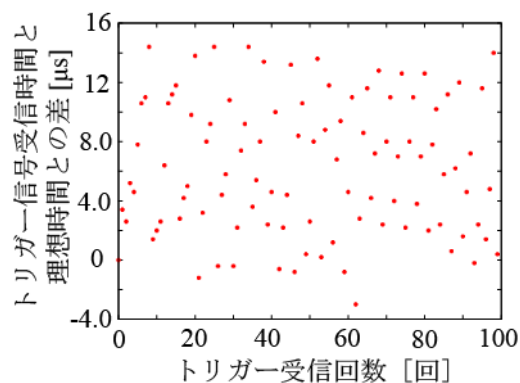


図-3 トリガー信号受信のジッター

トリガー信号受信のジッターは最大で約17.4 μ s、平均は約6.37 μ s、標準偏差は約4.49 μ sであり、ジッターは十分小さく、精度に影響しないと考えられる。

5. 加速度無線センサとレーザー変位計との比較実験

加速度無線センサの計測が正確に行われているか確認するため、レーザー変位計との比較実験を行った。その様子を図-4に示す。本実験では、2000 mm $\times$ 100 mm $\times$ 10 mmの鋼製の単純梁を用いた。中央に精密小型加振

機を設置し、起振したときの振動を、中央から左端方向に250mmの位置に加速度無線センサとレーザー変位計を設置し、計測した。精密小型加振機の制御方法は3章の狭帯域の場合と同様である。比較結果を図-5に示す。

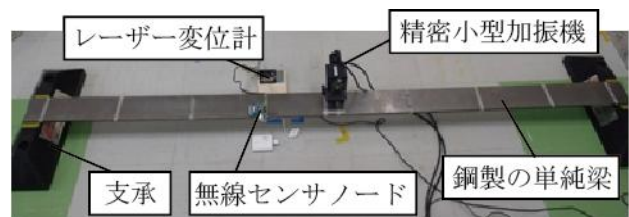


図-4 無線センサとレーザー変位計の比較実験

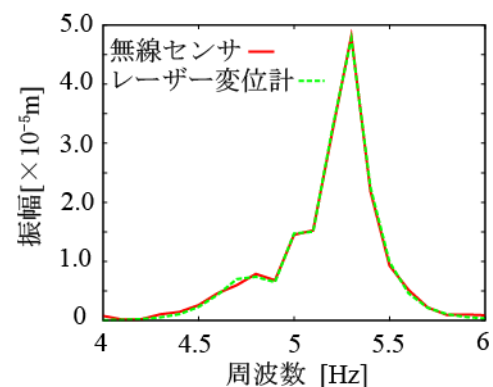


図-5 無線センサとレーザー変位計の比較結果

鋼製の梁の固有振動数は5.3Hz付近にあり、5.3Hzの変位は無線センサでは約 4.81×10^{-5} m、レーザー変位計では約 4.77×10^{-5} mであった。両者には約0.9%の誤差が生じている。しかし、加速度センサは $\pm 5\%$ の感度誤差を持っているため、1%未満と小さな誤差は十分な精度であると言える。

6. まとめ

周波数変調は狭帯域の場合、制御パルス通りに偏心錘を回転させることができる。

本手法のサンプリングのジッターは最大でも17 μ s程度であり、十分な精度であることが確認された。また、加速度センサとレーザー変位計の計測値とを比較したところ、その差は約1%未満であることが分かった。これ等のことから、無線センサノードによる周波数応答関数の計測は精度よくなされていることが確認された。

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) 日高ちはる, 斎藤拓馬, 佐伯昌之: 密小型加振機と無線センサネットワークを結合した周波数応答関数計測手法の基礎的検討, 土木学会論文集 A2, Vol.67, No.2, I_875-883, 2011