

精密小型加振機と無線加速度センサノードを用いた

振動計測における時刻同期精度の検証

東京理科大 学生員 奥村昂史

東京理科大 会員 佐伯昌之

1. 研究の背景と目的

効率的な維持管理をするためには、定量的に構造物の健全性を把握できることが必要であると考えられる。そのため、著者らは精密小型加振機と無線加速度センサノードを用いた構造センシング手法の開発を行ってきた¹⁾²⁾。

本システムでは、精密小型加振機が構造物を振動させ、その応答を無線加速度センサノードで計測する。その際、センサノードは精密小型加振機が発信する計測トリガ信号を受信した直後に、加速度の計測を開始するが、このとき計測遅延が発生する。この遅延量は、ARX モデルを用いた Green 関数の推定において精度を低下させる要因となる。

そこで、本研究では、無線加速度センサノードの計測遅延量を計測し、その計測遅延が対象構造物の Green 関数の推定に及ぼす影響を定量的に評価することとした。

2. 構造センシング手法の概要

精密小型加振機と無線加速度センサノードの写真を図 1 に示す。精密小型加振機は、偏心錘を回転させることで遠心力を発生させ、構造物を振動させる。本システムでは、偏心錘の回転を 10 秒周期で周波数変調させ、ある周波数帯域の振動を繰り返し励起する。また、精密小型加振機は周波数変調の開始にあ

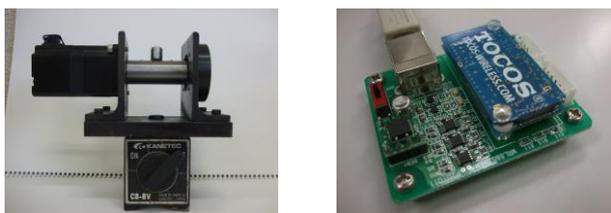


図 1 精密小型加振機と無線加速度センサノード

わせて、10 秒毎に計測のトリガ信号を無線で送信する。

無線加速度センサノードはトリガ信号を受信したら、10 秒間だけ加速度を計測し、次のトリガ信号を待つ。このようにして得られた加速度データは、逐次メモリ上でスタッキングされ、加速度データの SN 比が改善される。

計測された加速度応答は、無線でサーバに転送された後、変位の時系列波形に変換され、加振力の時系列波形とともに ARX 法で解析することで、対象構造物の Green 関数を推定する。

3. 無線加速度センサノードの計測遅延の検証

精密小型加振機は周波数変調を開始する瞬間、トリガ信号を無線で送信する。その信号は、無線加速度センサノードによりパケットとして受信され、バッファに蓄積される。バッファに保存されたパケットは順次処理され、トリガ信号と判断されたときに、センサノードは計測を開始する。そのため、精密小型加振機が周波数変調を開始してから、センサノードが実際に計測を開始するまでの間に計測遅延が発生してしまう。

この計測遅延のために、加振力と変位の時系列波形の時刻は同期されない。そのため、ARX 法を用いて Green 関数を推定する際、その精度が低下する。特に、減衰パラメータは応答遅延を表すことから、計測遅延量の誤差は、減衰パラメータの推定精度を低下させる要因となる。そこで、精密小型加振機が送信するトリガ信号に対して、無線加速度センサノードが計測を開始するまでの遅延量を計測した。

この計測では、精密小型加振機が 10 秒毎にトリガ信号を送信する瞬間に、電気信号（パルス）を発生

キーワード：時刻同期，無線加速度センサノード，スタッキング

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

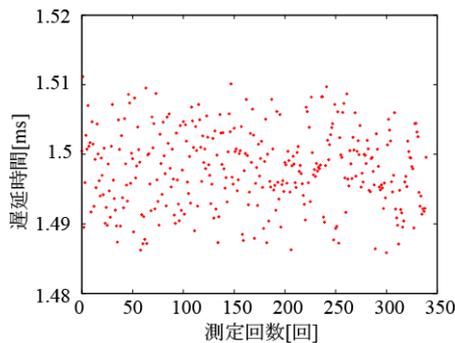


図2 計測した計測遅延量の時間変化

させるようにした。また、これと同様に、無線加速度センサノード上ではトリガ信号を受信し計測を開始する瞬間にパルスを生成させることにした。これらのパルスを、サンプリング信号としてパルスカウンタに入力することで、2つのパルス間の時刻を計測することとした。使用したパルスカウンタは5nsecの精度で時刻を計測することができる。計測された遅延量の結果を図2に示す。横軸は測定回数、縦軸は遅延時間 [ms]である。この結果より、平均遅延時間は1.498ms、その標準偏差は5.5 μ sであった。

4. 計測遅延が Green 関数の推定に及ぼす影響

上記の計測遅延が Green 関数の推定精度に及ぼす影響を調べるために、数値シミュレーションを行った。まず、1自由度系の減衰振動の Green 関数を計算し、これに精密小型加振機の振源関数をかけ、逆フーリエ変換することで変位の時系列波形を計算した。これと、振源関数を逆フーリエ変換して求めた加振力の時系列波形を用いて ARX 法で Green 関数を推定した。この Green 関数と、1.5ms の時刻遅延を与えて作成した変位の時系列波形を用いて推定した Green 関数を比較し、時刻遅延がどの程度推定結果を変化させるかを調べた。

図3に位相遅延を与えた場合に推定された Green 関数の振幅と位相を示す。横軸は周波数、縦軸は振幅または位相である。位相遅延がない場合についても、ほぼ同じような推定結果が得られている。その変化を詳細に調べたところ、固有振動数で0.00022%、ピーク振幅で0.0012%、位相差はおおよそすべての周波数成分において0.047[rad]程度であった。この様に、1.5ms程度の時刻遅延の与える影響を定量的に把握することができた。位相においては0.047

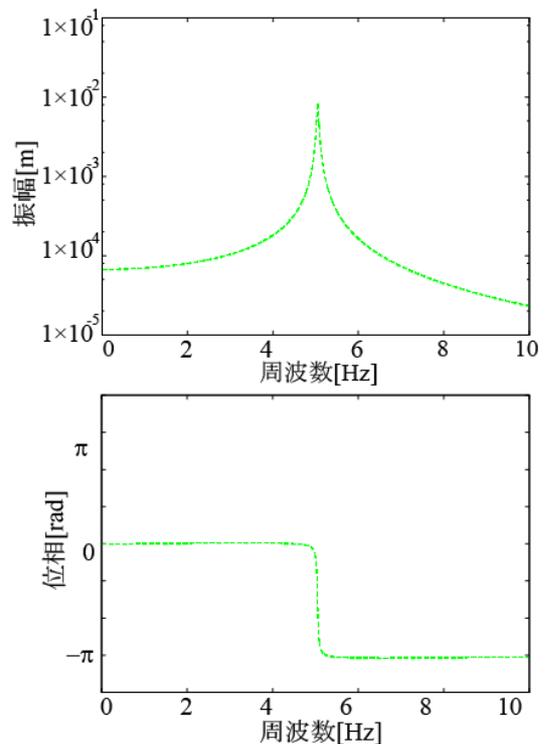


図3 ARX法で推定された Green 関数

[rad]の変化が見られたことから ARX 法を用いて Green 関数を推定する際に計測遅延を補正する必要があると考えられる。また、5.5 μ sのふらつきについては、1.5msと比べて十分に小さいので5.5 μ sの影響は無視しえるほど小さいと考えられる。

5.まとめ

本研究では、無線加速度センサノードで計測する際に生じる遅延を計測した。また、その計測遅延が ARX 法を用いて Green 関数を推定する際に及ぼす誤差について定量的に推定した。その結果、1.5msの計測遅延は主に Green 関数の位相に影響を与えることから、補正する必要があることが分かった。

6.参考資料

- 1) 斎藤拓馬, 渡邊和樹, 佐伯昌之: 精密小型加振機と無線センサネットワークを結合した構造センシング手法の精度検証, 応用力学論文集 15 巻, p. I_761-I_769, 2012.
- 2) 栗原幸也, 塚原美佳, 渡辺和樹, 佐伯昌之: 精密小型加新規を用いた単純梁振動実験における周波数伝達関数の推定, 応用力学論文集 16 巻, p. I_625-I_632, 2013.