

橋梁振動計測を意図した無線機能付き加速度センサーの基本性能の検証

愛媛大学大学院 学生員 ○山口 政義
愛媛大学大学院 正会員 中畑 和之
愛媛大学大学院 正会員 大賀水田生

1. はじめに

近年、機械工学の分野では、ナノテクノロジーを応用した MEMS センサー¹⁾(加速度、GPS、温度、赤外線等)が実用化されており、特に MEMS 加速度センサー(以下、MEMS センサー)は小型・堅牢・低消費電力で、3 方向の加速度が計測可能な商品が安価に市販されている。一般に、土木構造物は大断面を有しており、過酷な自然環境下で使用される場合が多く、それ故に計測したい場所にアクセス困難であることがある。そのような場合、センサーを一度設置したら、その場所に再び赴くことなくデータを定期的に取得できれば便利である。このとき、データを遠隔地で受信することになるが、近年これをローコストで実現可能とされているのが ZigBee という通信規格²⁾を用いた無線センサーネットワークである。このネットワークでは、センサー部で計測された波形データを無線配信で基地局に送信するだけでなく、基地局に直接電波の届かない場合でもセンサー間の中継機能によってデータ送信が可能である。

MEMS センサーは、自動車のエアバックセンサーなどの用途で実際に使用されているが、主として大きな加速度(一般的に数 G、1G=980gal)を計測するために設計されている。これを橋梁のモニタリングに適用しようとした場合、センサーを設置する場所にもよるが、加速度レベルとして数十 gal 程度であって、大きい場合であっても数百 gal を超えることはほとんどない。そこで、本研究では、MEMS センサーを橋梁の振動計測に適用することを意図して、低加速度振動のピックアップ性能と無線データ転送レート範囲での時間分解能について検証し、さらに無線計測システムとしてデータ転送距離の把握を行う。

2. 加速度波形無線計測システム

ここで作成した無線計測システムの概要を図-1 に示す。本プロトタイプは、センサー部、基地局、ノート型 PC で構成される。センサー部は防水・防塵のためアクリル製の箱に収納し、総重量は 606g である。センサー部は MEMS センサー、A/D 変換用のマイコン(CPU)、無線転送用の ZigBee モジュールで構成され、単三電池 2 本で駆動する。また、MEMS センサーは Freescale Semiconductor Japan 社製の静電容

量式¹⁾を用いており、3 軸方向の加速度が計測できる。制御部には ZigBee モジュールと、パソコンにデータを転送するための RS-232C 用コネクタで構成され、データは有線で PC に転送される。ノート型 PC にはデータ処理を行うプログラムが作成されている。

データの取得・転送方法であるが、加速度を検知すると MEMS センサーが DC 電圧信号に変換しマイコンに転送する。ここで 5msec 毎に A/D 変換を行いこれを 1 サンプルとする。さらに 9 サンプルをひとまとめ(1 パケット)にして無線転送する。ここでの 1 パケットのデータ量は 81byte(648bit)であり、45msec 毎(5msec×9 サンプル)に送信されるため、データの転送レートは 14.4Kbit/s である。PC では転送された電圧信号は変換式によって gal に換算され、タイムスタンプと共に保存される。なお、MEMS 加速度センサーの仕様書には、電圧を加速度に変換するための理論式が与えられているもの、実際には電気回路等の影響で誤差を生じる。従って、ここでは、別に用意した圧電素子型加速度センサー(以下、圧電センサー)を用いて、キャリブレーションを行っている。

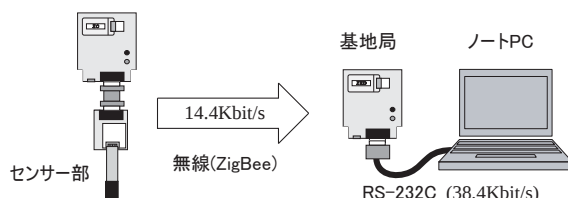


図-1 MEMS 加速度センサーを用いた無線計測システム

3. 加速度波形無線計測システムの性能検証

(1) 計測された加速度波形の精度

車両走行時に橋梁に通常発生しうる範囲の周波数、加速度の振動が精度よく MEMS センサーで計測でき

キーワード：無線データ転送、ZigBee、MEMS、加速度センサー、振動計測

〒790-8577 松山市文京町 3, TEL: 089-927-9812, FAX: 089-927-9840, E-mail: nakahata@dpc.ehime-u.ac.jp

るかについて実験を行った．ここでは，振動試験装置によって地面に水平な方向に振動を発生させ，振動台側面に取り付けた MEMS センサーで加速度を計測した．図-2 に，25gal，10Hz の一定周期で振動を与えた場合の加速度応答を示す．ここでは，圧電センサーで得られた波形もプロットしている．圧電センサーに比べて，MEMS センサーは全体的にノイズ(最大誤差で 10gal 程度)が見られるが，波形の周期は適切に表現できている．もともと，圧電センサーに比べて MEMS センサーは小型で質量が小さいため感度が低下するおそれがあることが指摘されているが，本実験の結果から，土木構造物の計測には十分許容できる誤差範囲だということがわかる．また，図-3 に，400gal，10Hz の一定周期で振動を与えた場合の加速度応答を示す．圧電センサーとの誤差は高加速度領域では多少大きくなるが，全体的にはよく一致し

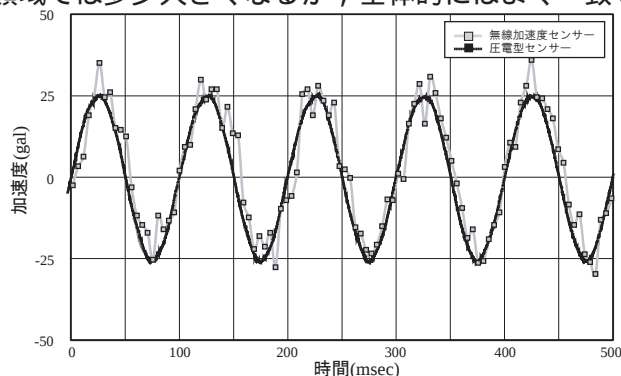


図-2 最大加速度 25gal の一定周期の振動を与えた場合に計測された波形

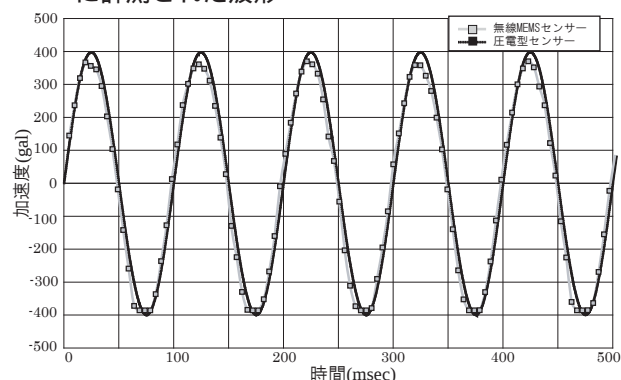


図-3 最大加速度 400gal の一定周期の振動を与えた場合に計測された波形

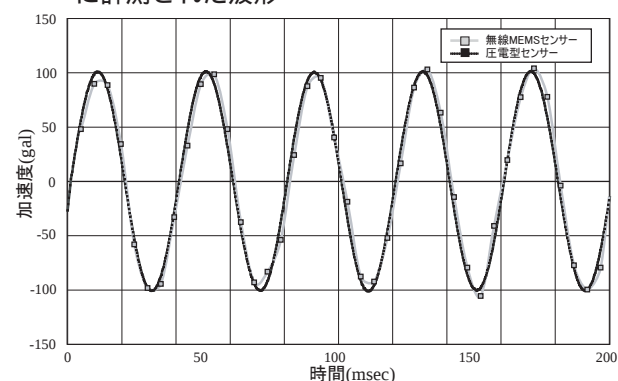


図-4 25Hz の一定振動を与えた場合に計測された波形

ているといえる．

図-4 に，100gal，25Hz で一定振動を与えたときの，加速度応答を示す．これ以上高周波領域になると 1 つの波形を表すのが困難になる (1 波長あたり 8 サンプル) が，25Hz までの周波数帯域であれば，圧電センサーと良い一致を示している．

(2) 無線通信が可能な距離について

基地局からセンサー部が見通せる環境を選び，周りに建物がない場合と，建物がある場合 (両側に高さ 20m の建物がある場合) について，無線通信が可能な距離について検討を行った．基地局及びセンサー部は地上から 0.3m 離して設置し，基地局とセンサー部の距離を 1，10，…，80m，85m と変化させた場合のデータ受信状況を調べた．データ受信の失敗した割合 (パケット落ち率) と距離の関係を図-5 に示す．ここでは，合計 112 パケットを送信し，データが送信されなかったパケット数の割合をパケット落ち率と定義している．パケット落ち率は，天気・計測時間でも微妙に変わるため，同一距離内で何度か実験を行い，平均したものをプロットしている．50m 付近からパケット落ちの割合が大きくなり 3 割のデータが欠落するが，80m 程度まではデータ転送が可能である．また，建物が無い場合の方がパケット落ちる割合が大きかった．

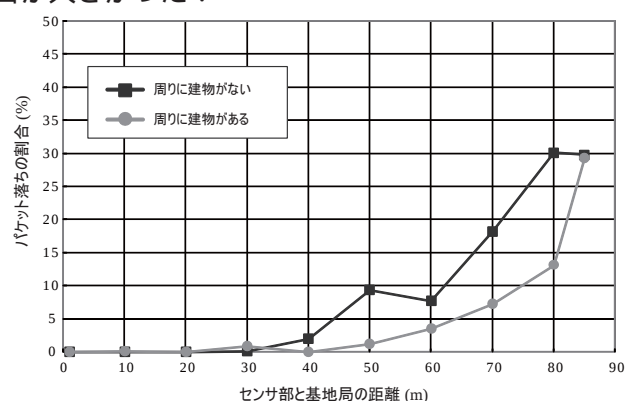


図-5 基地局とセンサー部の距離を大きくした場合のデータ受信率 (パケット落ちの割合)

4. 結論

本研究では，MEMS 加速度センサーの土木構造物の振動計測への適用性の検討および，無線データ転送による加速度計測システムの構築を行った．センサの精度は今後改良が必要であるが，橋梁の加速度計測システムとして使用できる可能性があることを示した．

参考文献

- 1) 前田龍太郎，池原毅，小林健，単学伝：MEMS のはなし，日刊工業新聞社，2005．
- 2) 阪田史郎，西室洋介，福井潔，田中成興，川崎光博，ユビキタスネットワークングフォーラムセンサーネットワーク部会：ZigBee センサーネットワーク通信基盤とアプリケーション，秀和システム，2005．