

第VI部門

MEMS センサーネットワークを用いた擁壁のモニタリング手法の構築

京都大学大学院 工学研究科 学生会員 ○南方 菜緒, 正会員 矢野 隆夫, 正会員 三村 衛
岡山大学大学院 工学研究科 正会員 西山 哲

1. はじめに

本論文は, MEMS (Micro Electro Mechanical System) と無線ネットワークを活用した土木構造物に対するモニタリング手法の開発成果をまとめたものである. MEMS 技術により小型で安価なセンサの製作が可能になり, さらに無線によるデータ転送技術と組み合わせた結果, 任意の位置での高密度なモニタリングが可能となる. しかし, MEMS を屋外で用いたことはなく, 土木構造物などのモニタリングへ応用した実例が少ないため, 温度や湿度の影響等により発生するノイズが把握されておらず, MEMS の計測値から構造物の挙動を抽出するフィルターも適用事例ごとに設計する必要がある. ここでは, 施工中のテールアルメをモニタリングする目的で実用化を図った MEMS の開発成果を報告する.

2. MEMS の概要

MEMS とは, シリコンの基板上に各種センサを一体化させた小型デバイスであり, 本研究では安価に入手できる静電容量型加速度センサを搭載した MEMS を用い, 計測された加速度を式(1)により換算することによって傾斜計として活用することを考える¹⁾. 図1は開発した MEMS の概観である.

$$\theta_i = \text{Arccos} \left(\frac{\text{Acc}_i}{\sqrt{\text{Acc}_x^2 + \text{Acc}_y^2 + \text{Acc}_z^2}} \right) \quad i = x, y, z \quad (1)$$

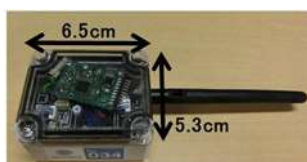


図1. MEMS の外観

ここで Acc は加速度を表し, x, y, z は各軸の方向を示す. この MEMS 基板に無線通信機器を組み込み, 遠方に設置した基地局へ計測データを転送する. 本研究では低周波数帯(429MHz)の特定小電力無線を導入し, 植生等の障害物の影響を受けることのない遠距離通信を実現させ, 構造物の挙動をモニタリングする計測システムを開発する. 具体的には幅 318m, 高さ 20m のテールアルメの施工中の挙動をリアルタイムにて監視する計測システムの構築を試みた. この際式(1)にて加速度から傾斜角を計算するために, 三角関数の性質から MEMS の設置角度によって分解能が変化する欠点が生じる. また高精度のセンサを使用した場合に, 気

温など構造物の挙動以外の変動の影響も同時に受けやすくなる課題が生じる. 本論文では高精度の傾斜計を実現するための設置角度の工夫と気温の影響を除去するデータ処理を検討したので, その成果を報告する.

3. 高精度計測システムの実現

テールアルメには1断面6個の MEMS を3断面設置した. TS(トータルステーション)で計測した値を基にして, 施工中のテールアルメのある断面の形状を示すと図3のようになる. 上部と下部では変位する方向が異なっており, 全体として柔構造に起因した複雑な挙動をすることが分かる. このテールアルメに図4に示す治具を取り付け, その治具上に MEMS を設置する. この治具を使用するのは, 式(1)において傾斜角が 0° および 90° では分解能が劣ることを避けるためである. そこで, あらかじめ傾けた状態から MEMS の傾斜角を計測する. この効果を検証するため, 別途室内実験によって MEMS が検出する傾斜角の分解能を実測した結果が図5である. 図は本治具に設置した MEMS を人為的に傾け, 計測されたピッチの角度変化をプロットしたものである. 図に示すように, 傾斜させた角度に対して計測値は 0.99 の相関係数で直線近似でき, 0.1° の分解能を有する本治具の効果が実証されている. 次にテールアルメの挙動を MEMS によって計測した結果を図6および図7に示す. 20個設置された MEMS は30m離れた計測小屋内のパソコンに15分間隔でデータを無線で配信し, さらにパソコンによってリアルタイムに計測結果を Web に表示する. 図における実線

キーワード MEMS, 傾斜計, 加速度, テールアルメ

連絡先 〒615-8540 京都市西京区桂京都大学桂キャンパス C1-2-213 TEL 075-338-3306

は、それぞれ図3に示すA点およびB点のピッチの傾斜角の変化である。前述の治具の使用により角度変化の分解能を向上させたが、周期的な変化を示す計測値となっている。そこで計測値のコレログラムを図8のように作成すると、3軸方向の傾斜角はいずれも12時間および24時間周期を示すことが分かり、気温の影響を受けたものであることが分かる。これより図6および図7において24時間の移動平均をとったものを点線に示す。1月14日には降雨があり、その影響によるパネルの傾斜変化を検出しており、高密度に設置できるといった利点を活かした構造物全体の微小な挙動の把握が可能となることが実証された。

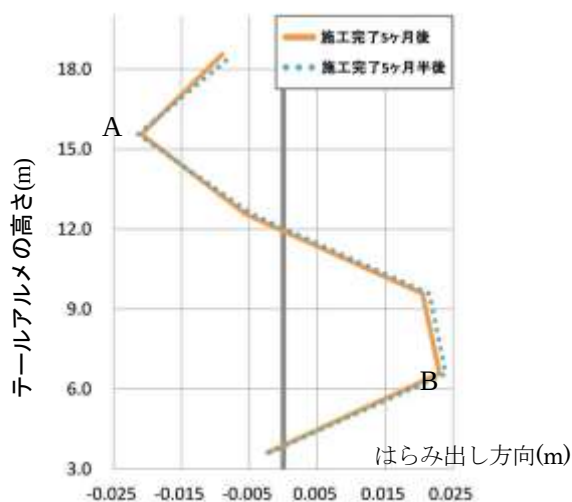


図3. 施工中のテールアルメの横断面

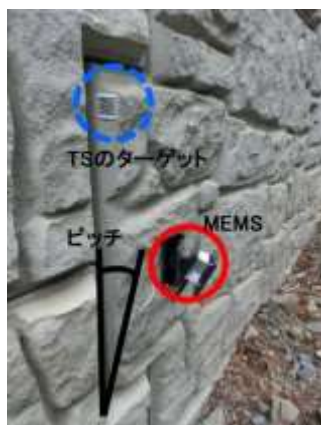


図4. 治具に設置したMEMS

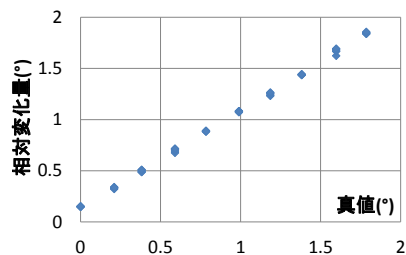


図5. 精度検証実験

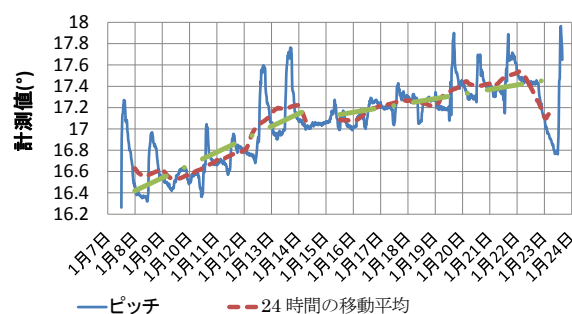


図6. MEMS_Aの計測結果

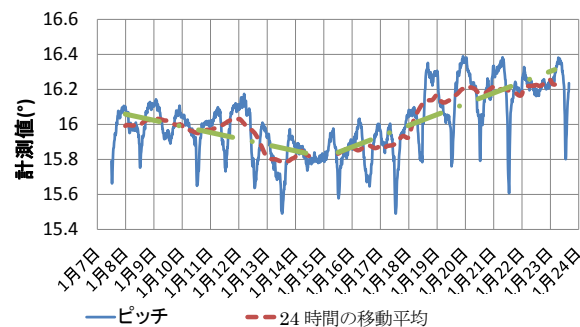


図7. MEMS_Bの計測結果

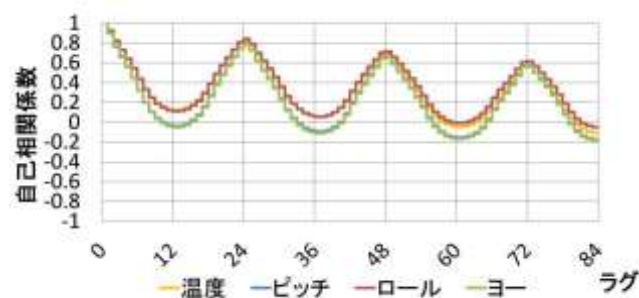


図8. MEMSの各要素に対するコレログラム

4. まとめ

施工中のテールアルメの挙動の計測に本手法を適用することで、加速度センサを高精度な傾斜計として活用するための技術的課題、その解決策および土木構造物のモニタリングを行うためのMEMSの開発成果を報告した。高精度化に伴い、温度の影響を受けたノイズが生じるが、簡便な処理によりTSでは把握できないテールアルメの微小な挙動を正確に把握できた。今後、本研究の成果を活かした計測システムを広範囲に展開していく予定である。

参考文献

- 1) 中山俊一：MEMS 開発&活用スタートアップ，CQ出版株式会社，pp9-10，2004
- 2) 小野武・西山哲：無線センサデバイスを活用した道路管理手法について，平成23年度近畿地方整備局研究発表会 論文集 新技術・新工法部門，No.5，p3，2011