

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ることで, 任意の位置に高密度で設置されたセンサネットワークが構築される. しかし, まだ MEMS を土木構造物のモニタリングへ応用した事例が少ないため, 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といった課題がある. ここでは, 施工中のテールアルメの安定性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る. ただし, センサが計測できる物理量は限られており, 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 を使い, 計測された加速度を式(1)により傾斜角へ換算することによって高精度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.

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

ここで Acc は加速度を表し, x, y, z は 3 軸方向を示す. 角度はロール, ピッチおよびヨーの 3 軸の角度を計測する. 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. この基地局を通じて Web 上にデータがリアルタイムに表示され, いつでも, どこでもパソコンで対象物の挙動が監視できる. この計測システムは有線の部分がないことからセンサを自由な位置に設置することができ, また雷による被害を受けないなどの利点も生じる. 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通信を実現させる²⁾.

計測対象の擁壁は幅 318m, 高さ 20m の施工完了後 5 ヶ月経過したテールアルメであり, 20 個の MEMS を試行的に設置した. その際, トータルステーションによって MEMS の設置箇所近辺の 3 次元座標を同時に計測し, 両者の計測精度等を比較することで, MEMS の

計測値の施工管理への可能性を検討した. ただし, 式(1)による加速度から角度への変換において, 三角関数の性質上, 水平あるいは鉛直からの角度の変化量の精度が劣る傾向が出現する. そこで本研究では, 図2に示すような治具上に MEMS を固定して対象部に設置することにより計測値の高精度化を図った. この高精度化の工夫に関しては, 図3に示すような検証実験を実施してその効果を確かめた. これは図2に示す治具上に固定した MEMS を 0.1°刻みで傾けることが可能な架台に設置し, 横軸に架台の傾斜角, 縦軸に MEMS によって計測された当架台の傾斜角をプロットしたものである. なお架台の傾斜角は, 0.02°の精度をもつ傾斜計により, 別途計測している. 図3より, ロール, ピッチおよびヨーがそれぞれ 0.009°, 0.015°および 0.014°の標準偏差で計測でき, 高精度傾斜計としての使用が可能であることが分かる.



図1. MEMS の外観

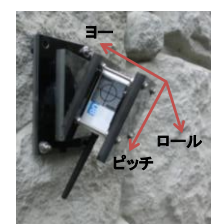


図2. 設計した治具

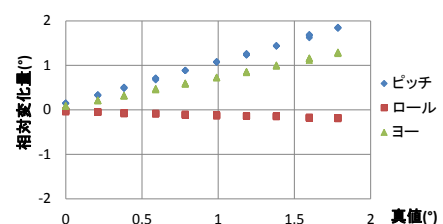


図3. MEMS の各要素に対するコレログラム

Nao MINAKATA, Satoshi NISHIYAMA, Takao YANO, Mamoru MIMURA

Mail:minakata.nao.34n@st.kyoto-u.ac.jp

3. 現場への適用例

図4に施工中のテールアルメの挙動をトータルステーションで計測した例を示す。図4はテールアルメの挙動を横断面の変化で表したもので、構成パネルごとに複雑な変位挙動を示すことが分かる。この中の二つのパネルの傾斜挙動をMEMSによって計測した結果を図5および図6に示す。図4に示すMEMS_Aの結果を図5に、MEMS_Bの結果を図6に示す。実線はピッチの角度の変化を時系列的に示したもので、点線は24時間の移動平均によって実践の計測値を平滑化したもの、さらに平滑化した値を線形近似し、パネルの傾斜挙動のトレンドを抽出したものを一点鎖線で示す。24時間の移動平均で平滑化したのは、図7に示すようにコログラムを作成すると、3軸の傾斜角ともに24時間周期を示すことから考慮したものである。これらの結果より、MEMSのノイズは温度の影響によるものであることが分かり、平滑化処理によって計測値の標準偏差は0.1°にまで低減できることが分かる。また図5および図6においてトレンドが変化しているのは、降雨によってテールアルメ全体に微小な変形が発生したことによるもので、トータルステーションで把握できない挙動を迅速かつ高精度に検出することが可能となっている。このように高密度に設置できるMEMSの利点を活かして、構造物全体の微小な挙動を捉えるモニタリング手法の構築が可能となることを明らかにした。

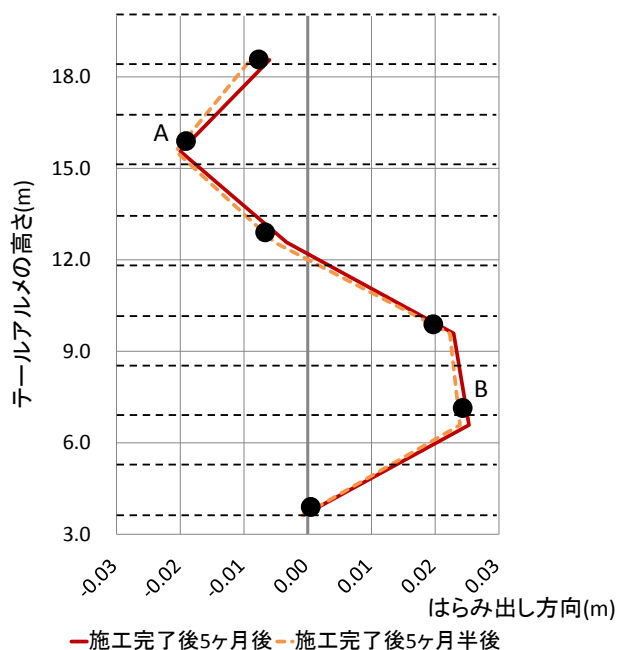


図4. トータルステーションによる計測結果

● TS および MEMS の計測位置

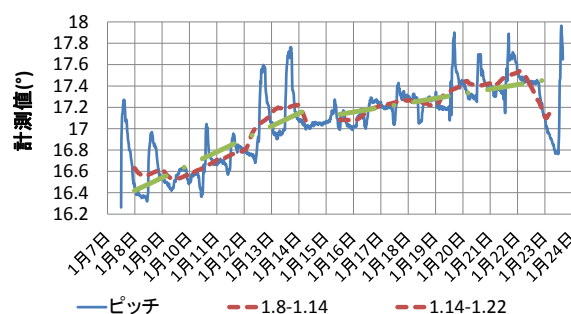


図5. MEMS_A の計測結果

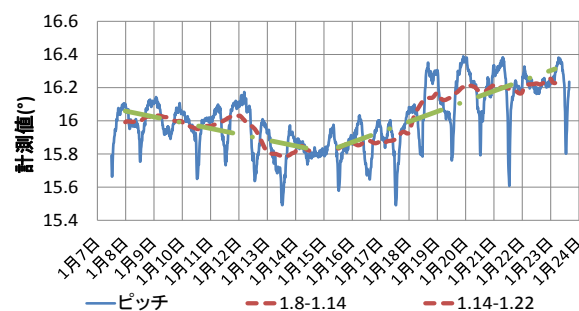


図6. MEMS_B の観測結果

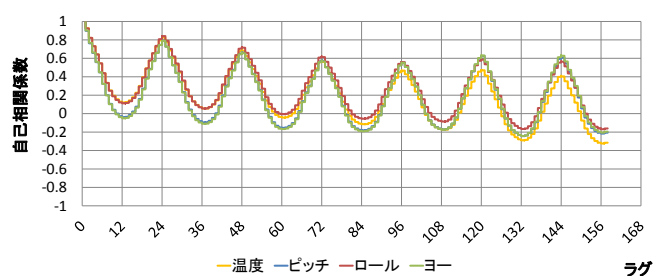


図7. MEMS の各要素に対する移動平均の結果

4. まとめ

施工中のテールアルメの挙動を、MEMSを利用した計測システムによって監視した例をもとに、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とその解決策を報告した。高精度化に伴って温度の影響を受けたノイズが発生するが、簡便な処理によってテールアルメの挙動を正確に把握できる。温度とノイズの相関関係が把握できているためリアルタイムでの計測も可能であり、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