

1. はじめに

現在，高度経済成長期（1955年～1973年）に建設された構造物の劣化や老朽化対応が課題となっている．特に道路構造物は，報告されている損傷の事例が多く，今後も飛躍的にその数が増えることが予想される．

一方，近年では，MEMS に代表されるナノテクノロジー技術の発展が著しい．中でも，省電力・小型化端末で，多種類のセンサデータを収集可能な無線センサネットワーク技術は，保守管理の効率化やコストダウン，CBM（Condition Base Maintenance）等を実現するための技術として注目されており，建設分野においても，既に多くの用途について検討を行った報告書や研究論文が発表されている．

本研究では，これまでに発表された無線センサネットワークに関する文献を基礎として，より現場での実利用化を意識した研究を試みた．具体的には，無線センサネットワークの特徴と技術動向及び，構造物管理の現状を整理し，無線センサネットワークの構造物管理への適用性を検討した．さらに，遠隔地から構造物の状況をモニタリングするための手法を検討し，機能確認のための計測を行った．

2. センサネットワーク技術の概要

センサネットワークとは，通信技術を持った微小なセンサ端末により収集されたデータを，ユーザや制御機器に送信し，高度に活用していくネットワークのことである．センサには，加速度・温度・光・音など様々な種類があるが，これらセンサのセンシング機能と通信機能等を集積化したデバイス（センサ端末）を製造する手段として，MEMS に代表されるナノテクノロジー技術が必要になる．

現在，センサ端末のさらなる小型・省電力化に向けた研究・開発が行われている．

3. 構造物管理の現状

現在，橋梁やトンネルなどに代表される構造物の点検は，多くが目視で行われており，さらに，詳細な調査が必要であると判断された場合にのみ，打音検査¹⁾や局部破壊試験などが行われている．このため，莫大な数の構造物を効率的に点検することは，現状の手法では困難である．さらに目視点検は，4段階判別等で行われていることもあるが，専門知識が不可欠なことや調査員により判別基準が異なること，見逃しが発生する問題等も指摘されている．

4. 機能確認実験

先に述べた通り，現状の管理手法での，膨大な数の構造物の維持管理は困難である．そこで，構造物の状況を客観的かつ簡易な方法で得る手段として，無線センサネットワークの適用を試みた．しかし，無線センサネットワークは，簡易な方法でセンサデータを得られるという特徴を有する一方，通信距離が短いことや他の機器との連携が困難といった問題点もある．このため，本研究では，無線センサネットワークと既存の無線LAN技術を連携する手法を検討しその機能の確認を行った．

4.1 実験の概要

屋外にセンサ端末を2台設置し，約6m離れた場所にゲートウェイ装置を設置した．ゲートウェイ装置で収集されたセンサデータは，既存の無線LAN端末による無線伝送を実現するためにUDP変換を行い，そこから200mほど離れた室内に設置したパソコンで，遠隔モニタリングを行った．今回，測定に使用したセンサの種類は，自身の電力消費量，温度，光，音の4種類である．

以上のような方法で，日没から朝方までのセンサデータを遠隔且つ人手を介さずに取得するという実験を行った．実験システムの概念図を図-1に，使用したセンサ端末（右）とゲートウェイ装置（左）の写真を図-2に示す．

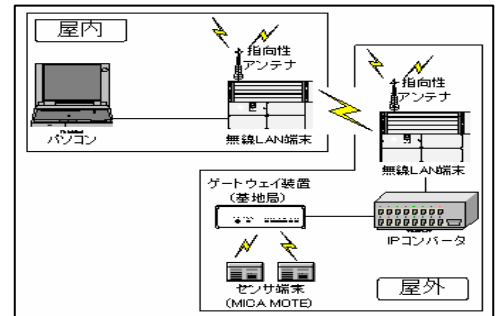


図-1 実験システムの概念図



図-2 MICA MOTE

4.2 実験の結果

前記の方法で、離れた場所のセンシングデータを得ることができた。各種センサの測定データの中から、電力量と温度センサの時系列測定結果を図 - 3 に示すグラフから、計測時間が進むにつれて電圧が下がっていることが分かる。また、温度センサの測定結果からは、大まかな温度変化の推移は分かるものの、図中のような誤差や、2 台のセンサ端末間の大きな温度差が生じてしまった。考えられる要因として、温度センサ内に含まれている抵抗により、電気信号を観測する際に電氣的な乱れ（ノイズ）が発生していたのではないかとということ、感知した値によって抵抗を調整し、流す電力量を変化させることによって温度を決定するという測定手法に問題があるのではないかとこのふたつが挙げられる。後者の場合、電圧は常に一定でなければならないが、グラフからも電圧は時間が経つにつれて変化しているため、精度が低くなってしまったと考えられる。その温度測定式（式 - 1 ~ 式 - 3）を以下に示す。また、図中を見て分かるように、2 台のセンサ端末の電圧に差があるため、それぞれの温度測定データに差が生じたと考えられる。

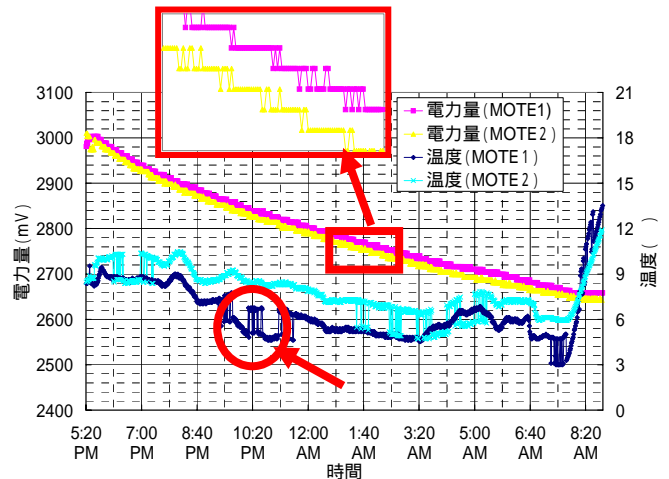


図 - 3 電圧と温度センサの関係

$$\cdot \text{温度センサ抵抗値変換式: } R_{thr} = R1 * (\text{ADC_FS} - \text{ADC}) / \text{ADC} \quad (\text{式 - 1})$$

$$\cdot \text{流れる電圧の割合} = 1 - \{R_{thr} / (10000 + R_{thr})\} \quad (\text{式 - 2})$$

$$\cdot \text{温度決定変換式: } \text{temperature}(\quad) = 1 / [a + b * \log(R_{thr}) + c * \text{pow}\{\log(R_{thr}), 3\}] \quad (\text{式 - 3})$$

- ・ 温度センサが感知した値（変数）: ADC
- ・ 温度センサ抵抗値（変数）: Rthr
- ・ 温度（変数）: temperature
- ・ 定数: a=0.00130705, b=02000214381, c=0.000000093, R1=10K=10000, ADC_FS=1023

一方、センサ端末からパソコンに送られる際に発生するデータの欠損は、両センサ端末とも 1 パケット（931 パケット中）ずつであり、本実験に関する通信精度は、信頼性の高いものであったといえる。しかし、さらなる通信機能の確実性検証に関しては、今回（1 分間に 1 回の間隔）よりも測定周波数を増やして検証する必要があると考えられる。

5. まとめ

無線センサネットワークを現場で実用することを意識した本研究の機能確認実験において、既存の無線 LAN 端末と連携することで、200m 以上離れた屋外のセンサデータを、室内のパソコンに簡易に転送することができた。この結果から、無線 LAN の他にもインターネット等と連携することにより、さらなる遠隔モニタリングも事実上可能であると言える。この多種類・複数のセンサデータを遠隔モニタリングできる機能を用いることで、大型構造物に発生する亀裂や変形、異常振動といった劣化に対応するためのシステムを構築することが可能であると考えられる。今までは、亀裂が起こってから、目視点検により損傷を発見し、修復するという流れであったが、もし発見が遅れれば異常振動が起こった際、破断に至ってしまうといった恐れも有していた。リアルタイムに遠隔モニタリング可能であれば、従来作業の効率化や安全性の向上等に寄与するのは間違いない。将来的には、積み重なったデータベースから異常な振動と判断し、劣化を未然に防ぐための予測にも役立つのではないかと考えられる。また、大型地震等で、突然作用する異常振動による損傷に対しても、その後のスムーズな点検作業につながると考えられ、さらにその情報の精度が高いものであれば、交通可能かどうかの判断をすばやく下す助けにもなるだろうと考えられる。

また、設置における作業の簡素化や人員の削減、低コスト化、安全性の向上など、ワイヤレスおよび電源一体型といった特徴から得られる効果はとても大きいと、実験からも確認することができた。

以上のような利点から構造物管理への無線センサネットワーク適用による効果は大きいと考えられる。しかし、そのための課題も多く、中でも建設分野におけるセンシングの重要性を考えると測定精度に対する不安が大きい。また、無数の端末を人が立ち入ることが難しい場所等にばらまいてその同期測定したデータを活用していくことが多く求められるであろうセンサネットワークにおいて、センサそのものの価格がまだまだ高額なこと、電力供給が困難なこと、現状では通信距離が限られていること等、克服すべき課題は多い。これらの課題をひとつずつクリアしていくために、研究・開発がより盛んに行われていくことが望まれる。

《参考文献》

1) 土木学会メンテナンス工学連合小委員会：社会基盤メンテナンス工学，2004.3.15。