

(52) MEMS 加速度センサ IC タグを利用したモニタリングの可能性

Possibility of the monitoring using the MEMS acceleration sensor IC tag

齋藤 修¹・大楽章文²・酒井直樹³・村上 哲⁴

Osamu Saitou, Akifumi Dairaku, Naoki Sakai and Satoshi Murakami

抄録：環境情報を安価に多点測定する目的でセンサICタグの研究が盛んである。加速度・温度・湿度・気圧や CO₂などのセンサをRFID(Radio Frequency IDentification)に組み合わせた技術である。また常時微動や振動を利用した橋梁などの構造物や、地盤や盛土、切り土など土構造物の健全性評価のためのモニタリングには加速度センサが有効である。特にMEMS(Micro Electro Mechanical System)加速度センサは小型で安価であることから、ICタグと組み合わせることにより多点計測によるモニタリングが可能になる。

今回、茨城県のご協力で橋梁の交通振動によるモニタリングを、また、独立行政法人防災科学技術研究所のご協力で降雨による斜面崩壊実験に参加する機会を得た。これらの異なるモニタリングにMEMS加速度センサICタグを利用した多点計測の可能性について述べる。

キーワード：センサ IC タグ 加速度センサ モニタリング MEMS

Keywords : Sensor IC tag Acceleration sensor Monitoring MEMS

1. センサ IC タグの構造物健全性評価への応用について

構造物の健全度を把握する方法の一つとして、構造物の振動を計測して分析する方法がある。具体的には構造物に入力される振動をモニタリングして、その振動特性から構造物の健全性評価を行うものである¹⁾。入力される振動としては常時微動や有感地震、車両通過時の振動である。常時微動測定には高感度のセンサが必要となるために高価となる。また、有感地震の場合は地震発生まで延々と振動を待ち構えるために計測システムに長時間の動作を求めるバッテリー駆動を必要とする現場では現実的ではない。小型で低下価格、低消費電力の MEMS 加速度センサ IC タグは、このような計測に有効である。しかし、バッテリー駆動時間は有限であるために計測方法を検討する必要がある。

茨城大学ではこれまで MEMS 加速度センサ IC タグを利用した、橋梁の車両通過時の振動測定によるモニタリング²⁾ や列車通過による振動を用いた盛土・切土に着目した地盤モニタリング³⁾、降雨による大型斜面崩壊実験を行ってきた**図-1**⁴⁾。これらの測定には、加速度センサ IC タグとして小型汎用センサ IC タグ S-NODE **図-2**、さらに改良を行い多目的振動測定に適した HMB 有限協同組合の 3 軸加速度センサ IC タグ **図-3**を用いてきた。**表-1**に HMB 加速度センサ IC



図-1 斜面崩壊実験施設(施設遮蔽)

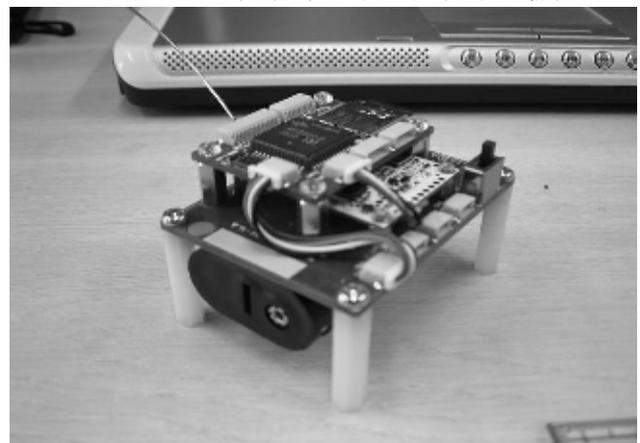


図-2 加速度センサ IC タグ(S-NODE)

1 : 正会員 工博 茨城大学 客員研究員 工学部都市システム工学科防災環境地盤工学研究室(福山コンサルタント)
(〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1, Tel :090-2157-2165, E-mail : o-saitou@ijsnet.ne.jp)

2 : 学生会員 茨城大学 工学部都市システム工学科

3 : 正会員 工博 主任研究員 (独) 防災科学技術研究所

4 : 正会員 工博 茨城大学 准教 工学部都市システム工学科

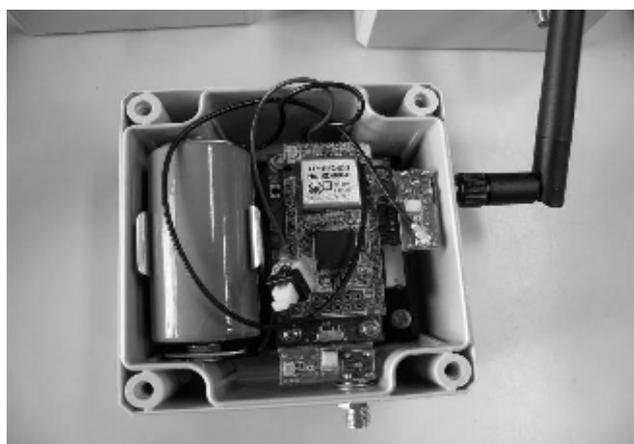


図-3 加速度センサ IC タグ (HMB)

表-1 加速度センサ IC タグ仕様 (HMB)

項目	加速度センサICタグ
加速度計タイプ	静電容量
サンプリング周波数	200Hz
A/D分解能	16bit
計測成分	3軸(X軸、Y軸、Z軸)
最大加速度	±70gal(±1G)
大きさ	80(W)X80(D)X55(H)
通信方式	IEEE802.15.4(準拠)
重量	250g
電源	一次電池

タグの仕様を示す。

2. 無線通信技術の必要性和問題点

従来、振動などの計測システムは高価で大型である。データは信頼性を維持するために有線を利用するのが一般的である。しかし、複数の計測器を利用して多点測定を

行う場合には膨大な長さのケーブルングが必要になる。また計測点の変更にはバリエーションに対応するには非常な手間を要する。そこでケーブルングが不要で、計測点の変更が容易な近距離無線通信が必要となる。特に多点計測では消費電力の少ないことや、構成される部品(半導体チップ)の価格が安いことが重要である。さらに目に見えない無線は様々な環境影響を受けデータ通信上、不安定要素を抱えるため、これら熟知した運用が必要である。

表-2に近距離無線通信技術の比較表を示す。PC通信の代表的な3種類と電子タグ(RFID)である。3種類を比較すると、消費電力においてIEEE802.15.4/ZigBeeが優れている。本研究に利用する加速度センサ IC タグでは伝送方式としてIEEE802.15.4(準拠)を採用し本実験に使用した。

3. 大型降雨実験について

(1) 実験概要

図-3に今回、利用した斜面実験模型とセンサの配置を示す。実験模型の寸法は、斜面長10m、幅4m、高さ1m、傾斜角30°となる。斜面盛土には、笠間市友部から採取された含水比7.5%のまさ土を用い、1層20cm毎に試料を踏み固め、計25層全ての密度を測定し、初期乾燥密度が約1.6g/cm³となるように盛土を築造した。斜面には間隙水圧計をはじめとしたセンサを配置した。センサ IC タグの配置は、20kgの鉄球を落下させ振動を発生させる落錘位置から近い順にID01~07を直線上に設置し、ID08は斜面上端中央、ID09は斜面側面の鉄板上にそれぞれID07と平行になるように設置した。測定方法は、ID01からID09まで9個の加速度センサ IC タグが測定する加速度データを、計測用ノート PC で近距離無線通信を利用して受信し格

表-2 近距離無線通信技術の比較(総務省情報通信統計データベース)

種類	ZigBee	Bluetooth	無線LAN	電子タグ (パッシブタグ)
規格	IEEE802.15.4	IEEE802.15.1	IEEE802.11b/a/g	ISO/IEC15693 ISO/IEC18000
周波数	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz 5GHz	135kHz 13.56MHz 2.45GHz
到達距離	10m~75m程度	10m~100m程度	100m~300m程度	密着~数m程度
伝送速度	250kbps	1Mbps	11Mbps 54Mbps	-
消費電力	60mW以下	120mW以下	3W程度	0
小型・軽量	小型・軽量	小型・軽量	小型	超小型
価格	安価	安価	安価	安価
接続数	約65,000個	最大7個	最大32個	- リーダーとの 接続のみ

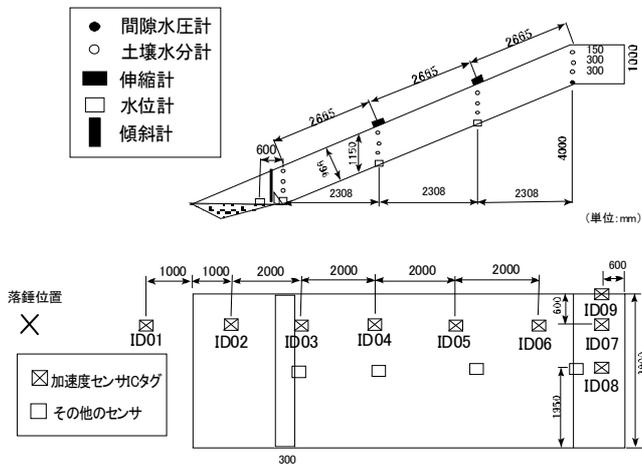


図-3 斜面実験模型とセンサ配置
(作図:茨城大学 M1 大楽)

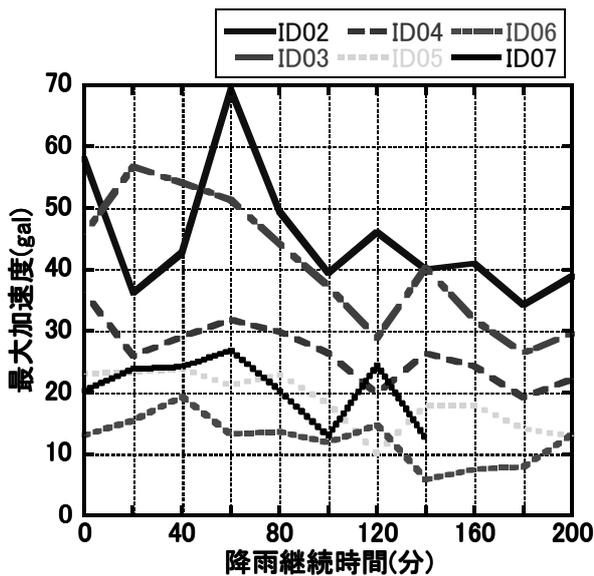


図-4 最大加速度の推移
(作図:茨城大学 M1 大楽)

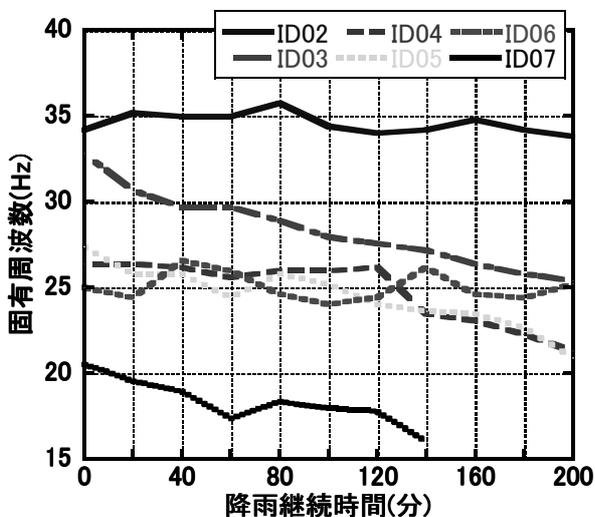


図-5 卓越周波数の推移
(作図:茨城大学 M1 大楽)

納する。ノート PC でデータを受信するために、USB インタ



図-6 万代橋外観



図-7 ケーブルへの設置状態

ーフフェイスを持つアクセスポイント(受信機)を PC と接続する。また、1 台の PC で受信できる加速度センサ IC タグは最大 5 台であり、今回、2 台のノート PC を用いてシステムを構成した。それぞれの PC は通信周波数内のチャンネルを変えて混信を防いだ。

(2) 測定結果

図-4に今回の降雨実験の測定結果を示す。降雨時間の推移にともない、最大加速度の変化が捉えられている。この加速度データから卓越周波数を求め、水位データと比較することにより、地盤の状態推移が可能になると考える。図-5に卓越周波数の推移を示す。

4. 橋梁の振動測定

(1) 万代橋での測定

茨城大学では 2007 年から茨城県ならびに茨城県内市町村の協力を得て、県内の橋梁を選択して MEMS 加速度センサ IC タグによる振動測定を開始し、MEMS 加速度センサ IC タグやシステムの改良を継続してきた²⁾。今回、実証実験を兼ねて選択した茨城県水戸市に架かる万代橋はケーブルで橋げたを吊る茨城県内初の斜張橋であり

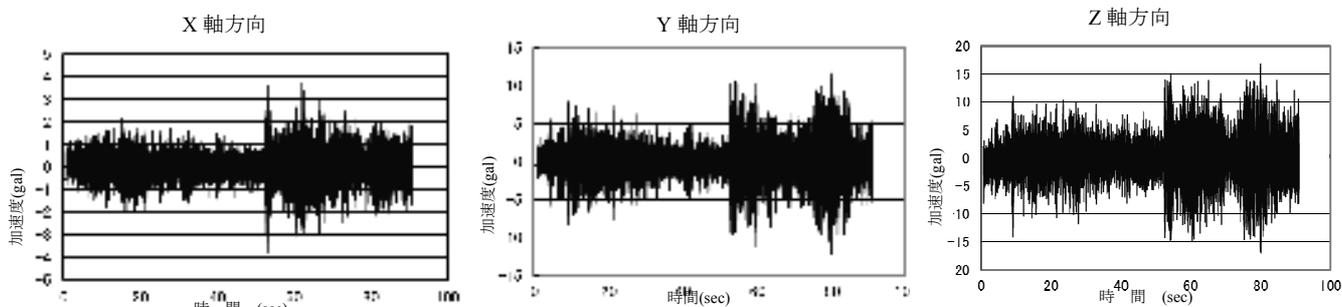


図-8 ケーブル(78.87m)の加速度測定

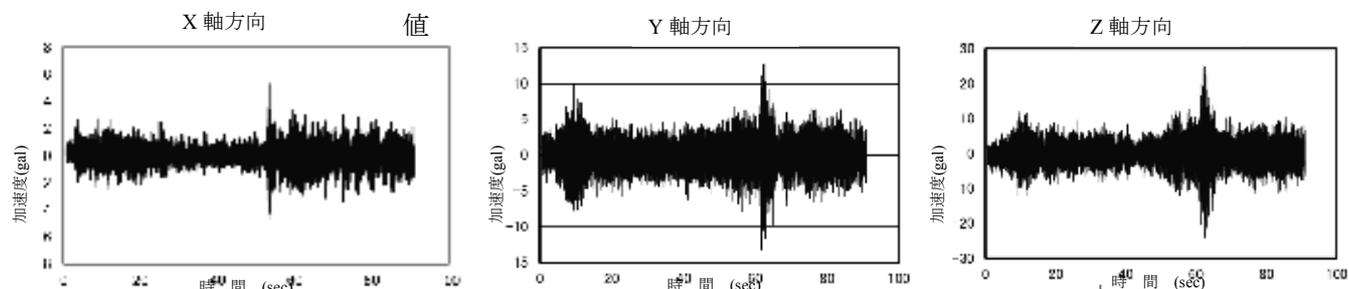


図-9 ケーブル(69.01m)の加速度測定

平成7年9月に開通した(図-6参照). 橋長357m, 幅25mの4車線, 高さ34mの2本の主塔から, 外径139mm, 136mm, 162mmのケーブルそれぞれ24本で本体を吊っている. 今回, ケーブルの振動を測定し解析を目的とした現地計測を行った. HMB加速度センサICタグのケーブル設置状態を図-7に示す. ケーブルの取り付け面から鉛直上向120cmの位置にそれぞれセンサを取り付けた. 利用した加速度センサICタグは6個である. 取り付けにあたっては, 直径の異なるケーブルへ加速度センサICタグを取り付けるためにケーブルを挟むようにスチール板を2枚利用し4本のボルトで締めこむ様にした. センサICタグ本体(ケース部)は木片の上に固定し, スチール板にその木片をボルトで固定する. 振動測定は橋上を通過する車両の振動を入力として一定時間の振動を測定した. 車両走行はランダムであるが, 橋梁付近にある交通信号の点滅により片側車線の交通量は予想できる. 加速度センサICタグは測定した加速度データをリアルタイムに送信し, ノートPCに接続されたアクセスポイント(受信機)を経由してノートPCのディスクに書き込むものである. センサは2本の主塔から橋の中心に向かうケーブルにそれぞれ3台計6台を設置し, 橋梁歩道部分にアクセスポイント, ノートPCを置いた.

(1) 測定結果とシステム考察

測定は測定間隔10分で90秒間の加速度測定を3回行った. 図-8, に水戸方面の主塔から日立方面に伸びる長さケーブル条長78.87m, 図-9に69.01m, 10m間隔で隣りあわせの2本のケーブルの加速度測定例である. 現在6本のケーブル加速度データを, 交通量・測定時刻などの項目を変えて測定中であり, 最終的には10本のケーブルを測定し, 卓越周波数に注目した分析を行う予定である.

5. 結論

今回, 2つのケースでセンサICタグを用い実証実験

を行った. 計測結果から構造物の健全性や挙動把握のツールとして有効であると考えられる. 小型で安価なセンサICタグは多点観測が可能であり, 計測方法を検討すれば有効なデータ収集が可能である. しかし, 連続計測時の電源の確保, 遠隔でのデータ収集に必要なネットワーク回線の確保など課題は多い. インターネットを利用する多点計測で, 如何に通信コストを下げて, 高速で高品位な通信を実現するかが, 今後の大きな課題である. そのため, 近距離無線でも900MHz以下の帯域を利用して1km以上の通信距離を確保することも必要である.

謝辞: 本研究にあたり大型降雨実験では(独)防災科学技術研究所, 橋梁振動測定では茨城県土木部に多大なご指導とご協力をいただいた. また本実験の一部は(財)日本建設情報総合センター研究助成の一環として行われたものである. ともに記して深甚なる感謝を表します.

参考文献

- 1) 山本 紘希, 水野 祐介, 藤野 陽三, 長山 智則: 構造物のモニタリングの開発とそのリスク評価への応用 土木学会平成19年度全国大会第62回年次学術講演会, pp.801-802, 2007
- 2) 齋藤 修, 安原 一哉, 桑原 祐史: 無線ICタグを利用した水戸市千歳橋での橋梁振動測定方法の検討 土木学会平成19年度全国大会第62回年次学術講演会, pp.767-768, 2007
- 3) 齋藤 修, 桑原 祐史, 村上 哲, 安原一哉: センサICタグを核としたアンビエントネットワークの地盤技術への応用, 地盤工学会誌 第58巻 第5号(2010), Vol.58, No. 5, Ser. No.628, pp. 10-13, 2010
- 4) 大楽章文, 村上 哲, 小峯 秀雄, 千葉 宣朗, 酒井 直樹, 石澤 友浩, 齋藤 修: 加速度センサICタグを用いた大型降雨模型実験における斜面の振動特性の調査, 第46回地盤工学研究発表会, 2011