

地震による構造物被害を IoT で監視する 3 軸加速度計の開発

オムロン ソーシアルソリューションズ(株) 正会員○黒田卓也 正会員 中野公太 正会員 高瀬和男

1. はじめに

近年、高度経済成長期に一斉に建設された橋梁や建物など構造物の老朽化が進む中、その健全性を維持・管理していくことが社会的課題となっている。構造物の健全性を維持するためには、自然災害などで被害を受ける構造物の状態を適切に把握し、メンテナンスすることが不可欠である。特に、突発的に大きなダメージを与える地震の影響を把握し対策するための仕組みづくりは急務である。しかし、これまで地震によって構造物に作用する振動を計測するには、高価な加速度計を組み合わせたシステムの構築が必要で、複数個所への取り付けは容易ではなく、それに伴い構造物の適切な補強や整備すべき個所の特定に時間を要しているのが現状である。そこで、筆者らは、MEMS 技術(Micro Electro Mechanical Systems)を用いた 3 軸の低加速度センサと、データ処理機能、ネットワーク通信機能をコンパクトに一体化した「3 軸加速度計」を開発したので報告する。

2. 装置の特徴

「3 軸加速度計」装置を写真-1、システム構成図を図-1、機器仕様を表-1 に示す。

①優れた施工性を実現

センサとデータ処理機能をコンパクトな筐体を集約すると共に、ケーブル敷設の省力化を図るため LAN ケーブルを使って電力を供給する PoE 電源供給方式を採用した。さらに IP67 相当の防水性能を有し、屋外を含む様々な箇所への設置を可能とした。

②従来の加速度計よりも安価で、数多くの場所に設置可能

独自の MEMS 技術により、地震動の計測に必要な 0.1～30Hz の「長周期加速度」を、サーボ加速度計や地震計と同等の精度計測と安価なシステム構築を実現した。

③ネットワーク通信により遠隔地から監視可能

無線 LAN を搭載した通信装置と組み合わせることで、計測したデータを事業所側のサーバに収集することが可能である。よって、計測結果を元に、遠隔地から地震発生時の状況を把握することができる。また、通信装置にバッテリーを搭載することで、停電時にも計測を続けることが可能である。さらに、サーバとの通信が途絶えた時は、3 軸加速度計本体に内蔵した SD カードにデータを保存し、通信復旧時に計測データを取得するシステムとしている。

3. 社内計測結果

4 月 29 日 23 時 27 分の熊本市南部（震央 32.46N, 130.44E）震源の深さ 10km, M3.9、震度 3.0 の熊本地震の余震を熊本の弊社グループ会社施設（熊本市南区平成 1 丁目）にて 3 軸加速度計とサーボ式加速度センサを設置し、同時に計測を行った。図-2 に上記地震における地震波形、図-3 に加速度応答スペクトルを示す。加速度応答スペクトルの比較を見ると、周期 1 秒以下の加速度成分の大きな早い周期帯については、ほぼ同等な値であった。



写真-1 3 軸加速度計

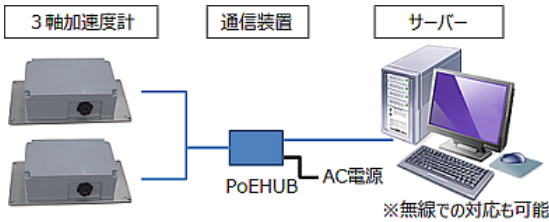


図-1 システム構成

表-1 機器仕様

項目	仕様
サイズ	W107mm×D160mm×H56mm（コネクタなど突起物は除く）
使用条件	周辺温度：-10～+50℃ 周辺湿度：35～70%Rh（結露なきこと）
保管条件	周辺温度：-20～+70℃ 周辺湿度：30～80%Rh（結露なきこと）
電源	PoE給電
通信方法	Ethernet（100base-TX）
検出方向	3軸
計測範囲	±4G（3979gal）
周波数応答	0.1～30Hz
分解能	5.0E-04 gal/LSB
ノイズ	6.6E-03 gal/√Hz（@1Hz） 3.0E-03 gal/√Hz（@5Hz）
時刻同期	0.1sec以内
データ計測	①常時計測：3軸同時に一定周期で計測 ②トリガ計測：地震時（設定閾値）及び外部トリガによる計測
SI値計算機能	データ収集単位でSI値を計算出力
データ記録、通知	①サーバへ記録や通信できなくなった際のSDカード保存可能 ②閾値の超過の際に地震（強い揺れ）と判断し発報（サーバ機能）
サンプリング周期	100Hz
防塵・防水	IP67相当

キーワード 加速度計, 地震波計測, 加速度応答スペクトル, IoT

連絡先 〒108-0075 東京都港区港南 2-3-13 オムロン ソーシアルソリューションズ株式会社 TEL 03-6718-3741

また、K-NET KMM006 (kumamoto) との地震波形および加速度応答スペクトルの比較を行った。K-NET KMM006 (kumamoto) と弊社グループ会社施設の位置関係を図-4、地震波形を図-5、加速度応答スペクトルを図-6に示す。弊社グループ会社施設と K-NET KMM006 (kumamoto) は約 8km ほど離れており、震央からの距離の差は 2km 程度である。加速度応答スペクトルの値を比較すると周期 1 秒以下の早い周期帯においては、位置的な関係から値に差があるが、長周期帯では乱れが少なく同等な計測結果が得ることができた。

4. 構造物管理における IoT を実現するための機能

本機器を構造物に設置することで、構造物の振動データを漏れなく、無駄なく、簡単に収集でき、収集したデータを分析、評価することで、被害状況を的確に把握することが可能となる。構造物管理における IoT を実現するために、以下の機能、性能を搭載している。

①ピエゾ抵抗方式の加速度センサを採用。低周波帯域における低ノイズ化を実現し、地震時の構造物の挙動を正確に捉えることを可能とした。

②24 ビット、100Hz の高分解能サンプリングで、構造物の微細振動（常時微動含む）の計測が可能。加速度レベル判定機能により、地震発生を自動認識し、地震発生時の振動を取りこぼすことなく計測できる。また、単位計測時間による SI 値 (Spectral Intensity) 計算機能も備えており、地震時の構造物の被害推定を可能とした。

③イーサネット規格 100Base-TX に対応し、常時または地震発生時の加速度データを上位装置に送信する。上位装置では、計測震度の計算および計測震度を閾値とした発報機能を備えており、管理者のニーズに合わせたより高度な管理システムの提供が可能となる。また、公衆回線を活用することで、遠隔での管理、監視システムの構築が可能となる。

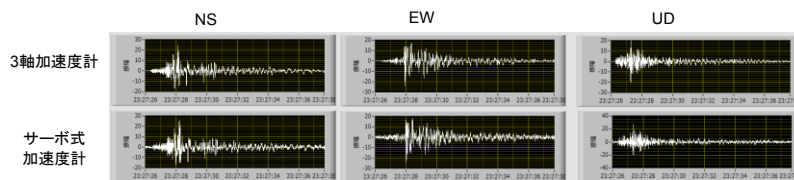


図-2 4月29日23時27分の熊本市南部地震波形

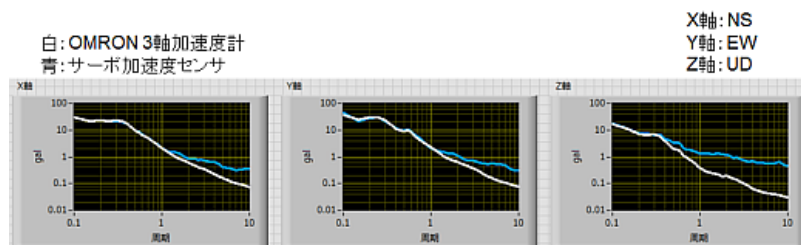
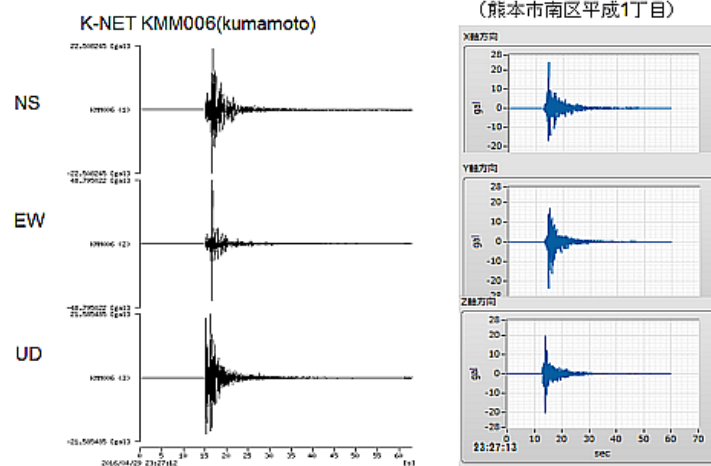


図-3 熊本市南部地震 加速度応答スペクトル



図-4 KMM006 と弊社グループ会社施設の位置関係

地震波形(加速度)



※国立研究開発法人防災科学技術研究所が運用するK-NETのデータを引用

図-5 上記熊本市南部地震波形

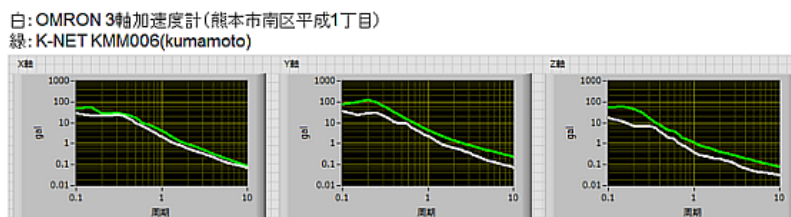


図-6 上記熊本市南部地震 加速度応答スペクトル