

省電力ワイアレスセンサによる橋梁モニタリングシステムの開発 1 (センサ概要)

オムロンソーシアルソリューションズ(株) 正会員 ○西田秀志, 正会員 黒田卓也, 正会員 高瀬和男
東京工業大学 正会員 佐々木栄一

1. はじめに

国は5年に一度の点検を義務化し、適切な補修・補強を含めた管理システムの適用を図っている。しかし、高度経済成長期に建設された構造物の老朽化が進む中でその維持管理の運営にいくつかの社会的課題がある。

点検が必要な構造物の増加に加え、点検結果の評価には高度な技術的判断が必要である。さらに、近接目視、打音検査などにより点検費用が高額になっていることなどが課題である。これに対し、維持管理の高度化・効率化が可能なIoT技術を活用したモニタリング技術が期待されている。

筆者らは、省電力化を図ったワイアレスセンサを活用した、屋外での長期遠隔モニタリングシステムを開発し、国土交通省の現場において橋梁の健全性評価を実施してきた。

今回、計測方法やデータの収集、劣化診断方法など、システムの概要を報告する。本稿では、現場適用性を考慮したワイアレスセンサを中心に概要の報告を行う。

2. モニタリングの考え方

筆者らのモニタリングの考え方を図-1に、提案する「特性カルテ」の概念図を図-2に示す。従来は構造物の応答(アウトプット)に着目した分析が中心であるが、荷重や地震など、どのような力が加わり(インプット)、それにより構造物がどう応答したかの対応関係によるモニタリングが重要である。筆者らは、その対応関係を指標とする「特性カルテ」を定義し、構造物の損傷を評価することを提案している¹⁾。「特性カルテ」はその劣化損傷の対象により、横軸はインプット情報、例えば温度、湿度、活荷重などとし、縦軸はアウトプット情報、例えば振動やひずみ計測などから得られる固有値、減衰定数、桁ひずみなどになる。図-2に示すように、構造物が健全である場合も、計測値のインプット情報に関するばらつきを明確に把握することが、健全性を評価するために重要であると考えている。その上で、構造物に劣化損傷などが生じた場合、ばらつきを持った計測値全体がゆっくり変化すると考えられる(スローダメージ)。そのゆっくりした変化量を構造物の耐荷性能の評価において適切な段階で把握することが、構造物の損傷評価では必要なことであると考えている。

3. システムの構成

①長期モニタリングのための省電力化と信頼性の確保

長期モニタリングのためには、計測データの信頼性を確保しながら低消費電力を実現することが重要である。加速度計測にはトリガ用(低消費)と計測用(高精度)の2種類のセンサを採用し、ひずみ計測には圧電素子(ピエゾ素子)を採用した。また、待機時(低消費)、計測時(高精度)における最適な電源制御、およびゆっくりした変動は定時計測により捉え、地震動など規定値以上の突発的変動はトリガ計測により捉えることで必要なデータ収集と省電力化の両立を図り、5年以上の電池寿命を実現した。

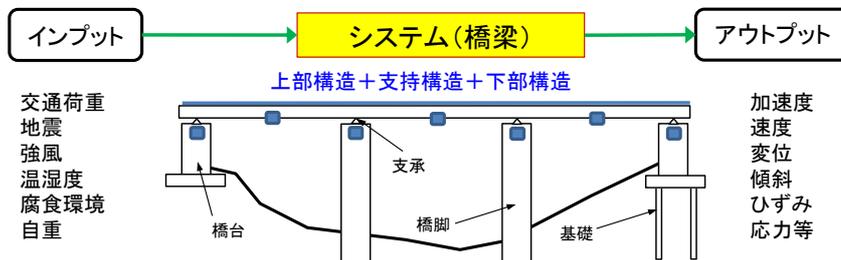


図-1 モニタリングの考え方

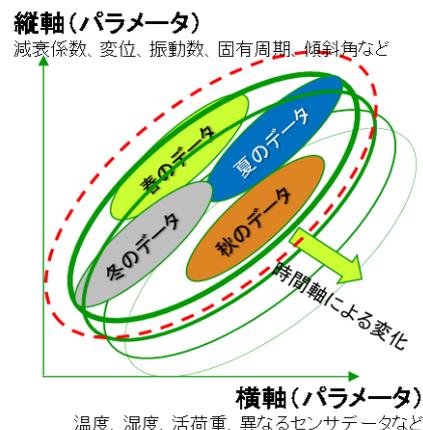


図-2 特性カルテ概念図

キーワード ワイヤレス, 加速度, ひずみ, トリガ, 時刻同期, 省電力

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

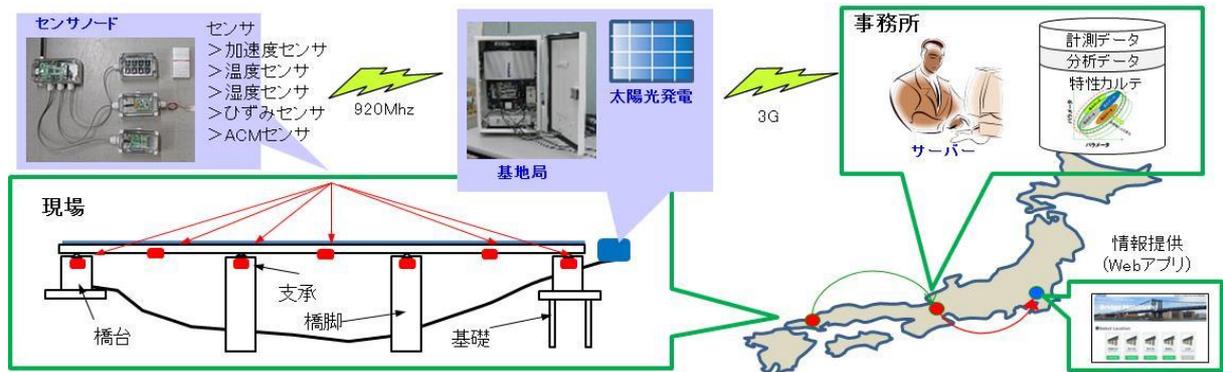


図-3 システム構成

②現場適用性を考慮したワイアレス遠隔モニタリング

計測されたデータはセンサノード（920MHz帯）により基地局に収集され、携帯電話網により遠隔地のサーバに送信される。各計測者はWebを介して各地から計測データの監視を行う。有線システムでは1か月ほど要したシステムの設置作業が5日間ほどで完了することができた。

③地震や台風時など異常時におけるトリガ機能

省電力化のために、地震等の大きな振動に対してはトリガ計測を採用している。しかし、設置場所によって異なる環境振動（交通荷重など）の影響を受け計測頻度が増加し、電池寿命の低下や不要なデータが増加する可能性がある。そこで、環境振動の影響を低減するために、センサノードごとに一定期間の振動を統計処理し、自動でしきい値の設定が可能な方法を実装した。

④多様な劣化損傷への対応

各ノードには、加速度、ひずみ、電気化学的腐食電流センサ（ACMセンサ）、温湿度など、状況に応じセンサの選択が可能である。また、各ノード間は、高精度な時刻同期が可能であり、データの空間的な分析が可能である。表-1に計測機器の機能と仕様を示す。

4. まとめ

本稿では、筆者らが提案するモニタリングの考え方を示すと共に、開発したセンサ技術を示した。この主たる技術は、電気、通信技術の中では、既に確立をしている部分もあるが、開発や工夫を加え、土木の現場への適用を図った。また、取得したデータから構造物の損傷を評価する指標として「特性カルテ」を提案するとともに、特性カルテによる実データと構造解析とを組み合わせ、健全度の診断を行う「劣化シナリオ」という評価手法を提案している。

最後に、本研究（の一部）は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術」に関連した、国土交通省の「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」において技術の現場実証を進めており、場所を提供していただいた国土交通省の皆様にお礼を申し上げます。

参考文献

1)高瀬和男,西田秀志,黒田卓也,佐々木 栄一:省電力化を図ったワイアレスセンサによる橋梁の継続的遠隔モニタリングシステムの概要,コンクリート工学,Vol.56,No.1,pp.112-117,2018.1

表-1 計測機器の機能と仕様

(1)センサノード

機能	仕様
加速度計測	原理: MEMS 静電容量 サンプリング周波数: 200Hz 分解能: 20bit レンジ: 水平±3g、鉛直+4g~-2g
温湿度計測	レンジ: -20~60°C、0~100%RH
通信	920MHz
その他	Li 電池駆動 (25,000mAh, 5年以上) 定期計測: 5分×2回/日 トリガ計測: 5分×1回/日 温湿度: 10分間隔計測(瞬時値) IP65, 結露対策

(2)ACMセンサ

機能	仕様
腐食環境計測	原理: 異種金属間の腐食電流 分解能: 12bit レンジ: 0~100μA
その他	10分間隔計測(瞬時値) センサノードに接続

(3)ピエゾ式ひずみセンサ

機能	仕様
ひずみ計測	原理: ピエゾ(圧電) サンプリング周波数: 200Hz レンジ: 1~200μ
その他	定期計測: 5分×2回/日 トリガ計測: 5分×1回/日 センサノードに接続

(4)基地局

機能	仕様
無線中継	センサノード間: 920MHz サーバ間: 3G携帯電話網
時刻同期	GPSによるセンサノード間の時刻同期: 1ms以下
その他	消費電力: 30W