

## 無線式橋脚傾斜モニタリングセンサーの開発

(株)シーエス・インスペクター 正会員 ○小出 泰弘  
 (株)シーエス・インスペクター 非会員 日高 直樹  
 大阪大学 正会員 小泉 圭吾  
 地球観測(株) 非会員 藤田 行茂

### 1. まえがき

近年、老朽化する多くの構造物を適切に維持管理していくことは社会的問題になっており、効率的かつ信頼性の高いモニタリング技術の開発がますます重要になってくる。集中豪雨や地震などによる被害や、都市部の構造物近接工事による変位の恐れのある場合、構造物の傾斜データなどを常時監視し異常時には健全度の低下を素早く検知するモニタリングシステムが多数開発されている。

現在、橋脚等の変位データをリアルタイムに取得する技術として、有線式の傾斜計を用いたモニタリングが多く使用されている。この有線式では、現場での測定機器や通信ネットワークの配線等専門のノウハウが必要となり、システムの設置や保守費用も高価となる問題点がある。今回、この問題点に対して無線通信技術により設置を容易にし、誰でもが簡単に利用できる小型で安価な無線式橋脚傾斜モニタリングセンサーを開発し、実証実験を行ったので報告する。

### 2. 傾斜モニタリングセンサーの概要

傾斜モニタリングセンサーは、様々な現場条件に合わせて汎用性の高いシステムとするため、無線のタイプにより2種類の無線子機を製作した。システムの概要を図-1に、無線子機の仕様を表-1に示す。

無線子機の最大の特徴は、計測機器の設置からシステム稼働までが簡便なことである。これは無線子機が親機までの配線が無いことに加えて、無線子機が傾斜計を搭載したセンサードと電源部の2つ共、大きさは、TSS型のアンテナを除きW150×H90×D120mm内に収まる小型であること。また、無線センサネットワーク技術により電源を入れるだけで自動的にネットワークを構築し、無線親機(基地局)を経由してWEB上でデータ管理ができる。

ソフトウェアの管理システムは、傾斜センサーやバッテリー電圧、温度センサーの出力値が表やグラフで確認できCSV出力も可能である。警戒区分のしきい値を任意に設定すれば、4段階の警戒表示や携帯等への警報メール送信も可能である。

### 3. モニタリングの実証実験

鉄道橋の橋脚でのモニタリングには次の性能を有している必要があり、これらの性能確認のため実証実験を行った。

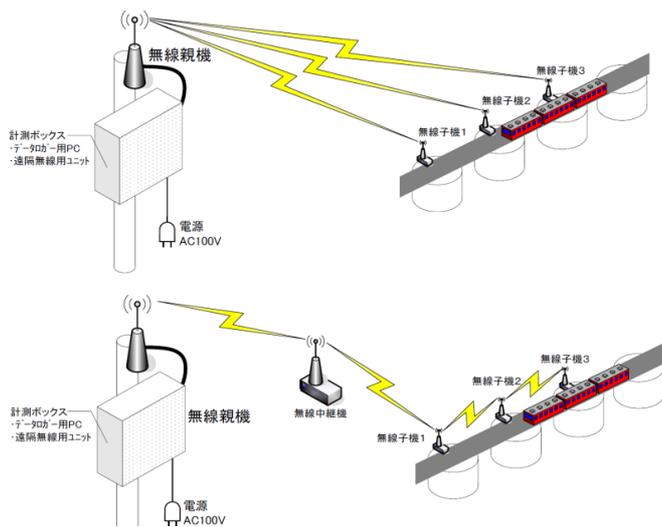


図-1 システム構成(上:TSS型, 下:マルチホップ型)

表-1 無線子機の仕様

無線タイプ	TSS型	マルチホップ型
無線周波数	429MHz帯	2.4GHz帯
通信距離	見通し1km	ノード間50m
測定範囲	±15°	
分解能	0.001° (0.06')	
誤差	0.002° (0.12')	
線形性	0.01° (0° ~3°), 1%(3° ~10°)	
使用環境	-10°C ~ +70°C	
防塵防水	IP-65準拠	

キーワード：モニタリング，無線通信技術，傾斜計，センサネットワーク

連絡先：〒557-0015 大阪市西成区花園南 2-9-4 (株)シーエス・インスペクター TEL：06-6629-8122 FAX：06-6659-6765

- ①気象変化，特に温度による計測誤差が発生しないこと。
- ②列車や車両走行，工事などによる振動に対して測定値が安定していること。
- ③長期間の測定に対して，安定したデータ収集ができること。

**(1) 無線式傾斜計の設置**

実証実験を行った鉄道の架道橋は，近接工事を管理するための有線式傾斜計が設置されており，橋台が防護柵の温度変化により道路直角方向へ傾斜する挙動が発生していた．そこへ図-2 に示すように無線式傾斜計を設置し有線式傾斜計の挙動と比較した．

無線子機のバッテリーは一次電池式に加えて，ランニングコストを抑えるため太陽電池式を試作し図-2 の③と⑥に設置した．

**(2) 計測結果**

2013年2月14日～3月12日から約1ヶ月間 10分間隔で計測を行った．ケース内の最低と最高温度は-8℃，38℃であった．この期間内のデータ収集率を表-2に示す．未収集回数は無線通信不良の回数であり，異常値回数は傾斜角が異常値の場合の回数である．

無線通信不良の原因は，No.③が太陽電池の発電能力容量不足，No.④⑤⑥通過列車により通信が遮断されたことが推測できる．傾斜角の異常値を取得する原因は，No.②④が高温時に発生しており，その他の原因も含めて現在調査中である．図-3 にNo.③を除く無線子機の傾斜角と温度の経時変化を示す．傾斜角は測定開始時を0分とした．上記の異常値を除くと，計測値は安定しており微小な変化から温度による挙動があることが分かる．

有線式傾斜計や三次元計測データとの比較では，傾斜の傾向としては合っており，構造物の異常を検知するレベルとして精度は確保できたと考えられる．しかし，測点に差があり測定期間内の変位量も最大 0.4<sup>mm</sup>と小さいため断定はできない．今後，大きな温度変化による橋梁下部工全体の挙動が予想されるため改めて比較検証したい．また，通信不良や温度による異常値については，ソフトウェアにてカバーすべく改善を行っていく．

**4. あとがき**

実証実験は2013年9月までの予定であり，今後長期間に対するバッテリー寿命などの検証を行なう．今回判明した課題などに対して改善を行い，収集データの安定化と信頼性の向上を図り，システムをさらに実用性の高いものとして様々な構造物のモニタリングに役立てていきたい．

〈参考文献〉 小泉圭吾，藤田行茂，平田研二，小田和弘，上出定幸：土砂災害監視のための無線センサネットワークの実用化に向けた実験的研究，土木学会論文集 C（地圏工学），Vol69，No.1，p46-p57，2013/2

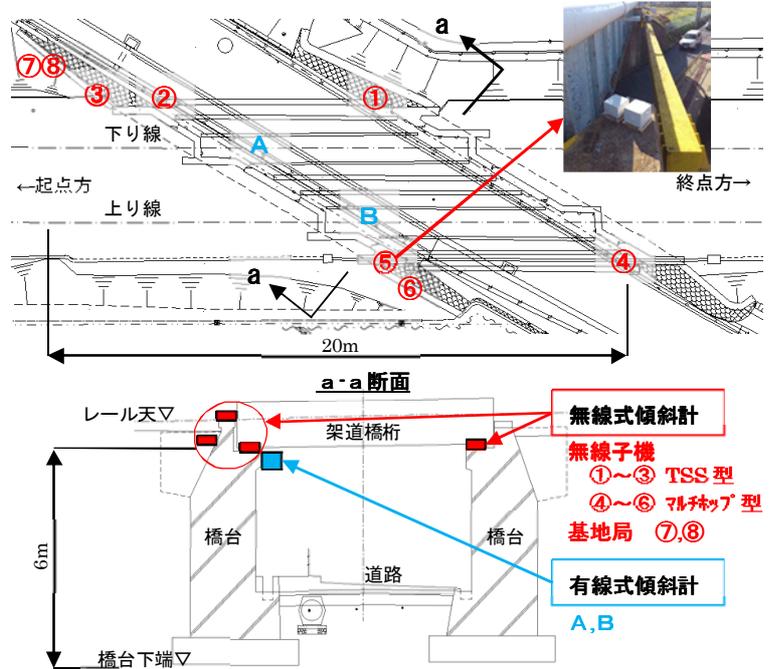


図-2 無線子機と基地局の設置位置

表-2 無線子機毎のデータ収集率

無線タイプ 図中No.	TSS型			マルチホップ型			有線式 No.A,B
	No.①	No.②	No.③	No.④	No.⑤	No.⑥	
バッテリー種別	電池	電池	ソーラー	電池	電池	ソーラー	-
未収集回数	73	89	2747	408	245	197	0
異常値回数	0	324	38	3	30	1	0
収集率	98%	89%	28%	89%	93%	95%	100%

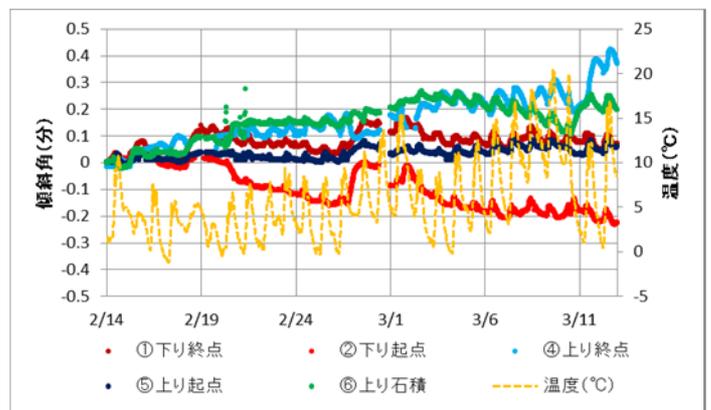


図-3 傾斜角と温度の経時変化図