

簡易斜面変位監視システムの開発（その１）

－無線センサ端末を内蔵した斜面変位監視杭－

株式会社リプロ 正会員 ○岡田謙吾, フェロー会員 高田知典
株式会社近計システム 正会員 森安貞夫, 小林 浩

1. はじめに

土砂災害特別区域が 2 万か所におよぶわが国では、集中豪雨や地震による自然災害、とくに斜面災害は毎年多くの被害が発生している。国民の生命・財産を守るため、流域一帯となった減災対策や、被害を予防・最小化するための施策がとられており、その中でも、土砂災害の防止・減災を目的としたモニタリング技術の高度化、普及は欠かせぬものとなってきている。

そこで、筆者らは、従来の計測装置を補完し、簡易に多点に設置することで、より迅速・確実に斜面変位を検知し、地域住民や工事関係者への通報、避難支援・安全作業確保に寄与することを目的とした「簡易斜面変位監視システム」を開発した。

本システムは、2 軸加速度センサ、無線モジュール、電源を内蔵したリサイクルプラスチック杭を現場に設置することで、地スベリ斜面や崩落斜面などの動き（傾斜データ）をワイヤレス（無線）で収集するものである。さらに、FOMA 回線を介して、遠隔に設備した Web サーバに送信・登録し、インターネットを介して監視やデータのダウンロードを行うことができる。

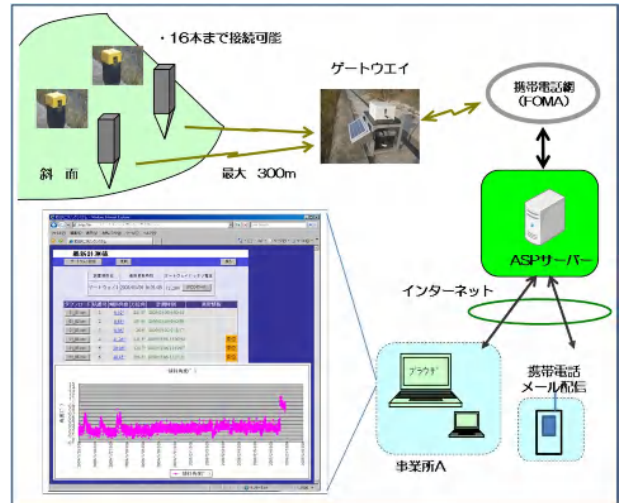
本稿では、本システムの杭（センサ端末）、ゲートウェイなどの現地計測設備（図－1）について、その構成、機能、作業手順、課題について記述する。

2. システムの新規性

従来、斜面の動きの監視は、多くの現場で傾斜計や GPS、自動追尾型 TS で行われており、多大な効果を発揮している。本システムは、これらの既存の計測技術を補完し、より面的に、簡易に設置でき、より経済的にリモート計測を実現するシステムを目指した。

本システムは、従来の技術と比較して、①斜面の傾きが簡易に多点計測・遠隔監視できる。②無線センサ端末を杭に内蔵することで、現地作業にあたって特別な施工機器や技能を必要とせず、迅速かつ安全に設置ができる。③電源設備や通信設備のない現場での早期

モニタリングの実現が可能である。④従来技術に比べ、より安価である。⑤いつでもどこでも、監視・データ取得ができる。などの効果が期待できる。



図－1 システムの概要

3. システムの構成と機能

現地計測設備は、図-1 に示すように、無線センサ端末・バッテリーを内蔵したプラスチック杭、杭からのデータを受信する受信装置・FOMA モジュールを具備したゲートウェイおよび、ゲートウェイ用のソーラーバッテリー電源から構成される。杭（無線センサ端末）とゲートウェイ間は 200～300m 程度の無線通信が可能で、1 台のゲートウェイで最大 16 式までの杭と通信が可能である。遠隔地（東京）には、計測データの登録・閲覧・ダウンロードおよび、計測仕様の設定を自動で行うサーバが整備されている。

（１）無線センサ端末

杭には無線センサ端末及びバッテリーが内蔵されており、計測したデータは無線で杭の傾斜角度（X,Y, 方位角）、温度及びバッテリー電圧をゲートウェイに送信する。計測間隔はサーバ側で事前に設定された条件で自動的に変更され、送信は、杭が（設定値以上）傾斜した時、及び定周期（1 時間ごと：可変）に行われる。

センサ端末の主な仕様を表-1に示す。

表-1 センサ端末の主な仕様

項目	内容
(センサ端末)	
1)最大設置台数	16台
2)測定可能傾斜角度	およそ $\pm 45^{\circ} \sim \pm 90^{\circ}$
3)傾斜角測定分解能	0.15度 程度
4)送信タイミング	①定期送信 : 標準 = 1時間毎 ②相対角度増加時 例: 6分前の傾斜角度の変化が閾値以上の時
5)連続可能計測時間	1年以上 (※バッテリー、設置場所、通信間隔による)
6)サンプリング間隔	6分毎 (設定により変更可能)
7)送信データの内容	傾斜角度(X,Y)、方位角、バッテリー電圧、温度、杭のID番号
8)通信回路仕様	特定小電力無線(426MHz帯) 10mW程度
9)伝送距離	センサ装置〜ゲートウェイ間: およそ100~300m (設置条件により伝送可能距離は変化します)
10)寸法仕様	本体: 円形ケース(直径78mm、高さ35mm) 電池: 50mm×60mm×90.3mm
11)使用温度範囲	-10℃~50℃
12)設置方法	杭の打設、埋設、アンカー固定など 杭の上部にセンサ端末を内蔵
13)電源	1次電池(リチウム電池、充電不可) 電池と本体ケースはケーブルで接続

(2) ゲートウェイ (データ収集・中継装置)

各杭から計測データを受信し、FOMA モジュールを経由して、サーバにデータを送信する。送信間隔はサーバより遠隔に自動設定される。



図-2 プラスチック杭／センサ端末／ゲートウェイ

(3) Web サーバ

送信された傾斜データは、サーバに登録され杭の内部温度データを用い温度補正を自動的に行う。斜面の動き(傾斜角)、無線センサ端末及びゲートウェイの電源電圧の確認・閲覧、データのダウンロード(CSV形式)が可能である。パスワード等によるログイン時の認証機能も有し、メールにて携帯電話などへ速報を送ることもできる。詳細は、投稿論文(その2)に報告する。

4. 現地作業

現地作業は、現場の通信環境の確認、通信の可否と設置場所を確定する事前踏査と、現場計測設備の設置、サーバ通信試験の順で行う。設置場所は、地山、コンクリート面など材質、地盤・地質が様々であり、状況に対応した設置方法が求められる。プラスチック杭は現地での加工も容易で、軽量かつ高強度であり、無線への障害もないことから、設置作業を大幅に効率化することが可能である。図-3に設置方法の例を示す。例えば、5か所に杭を設置する場合、5-6時間で作業が完了する。

5. まとめ

本システムは7現場で稼働しており数カ月に及ぶ連続稼働の実績を得ている。しかしながら、現場導入・運用から以下のような課題も指摘されている。

①センサの温度特性:今回用いた半導体加速度センサは、急激な温度変化への補正(追従)が不十分であり、傾斜データにばらつきが見られる。そのため、現在、半導体センサの交換の検討や、赤外線反射塗料を塗布し、杭内部の温度上昇を抑える(5℃程度)工夫

をしている。②データの分散を考慮して斜面の安全・警戒の目安となる計測間隔・データ数・管理限界値(閾値)など管理方法の検討が必要である。

図-4に計測データの例を示す。

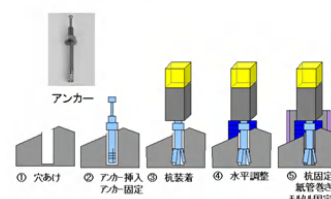
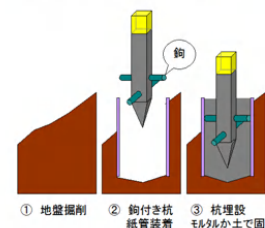
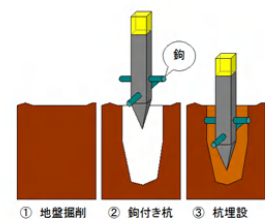


図-3 杭の設置方法の例

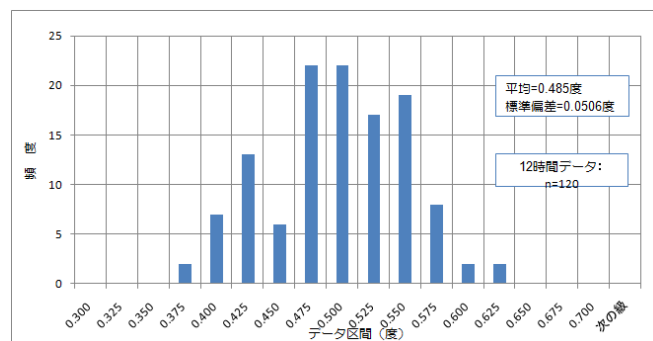


図-4 傾斜角度データの度数分布図の例

③無線通信では、その通信可能距離が現場状況によって大きく左右される。特に、ゲートウェイと杭の配置、センサ端末や受信アンテナの高さ、草木の成長による通信障害など様々な状況を想定する必要がある。④センサ端末の電源は一次バッテリーであり長期間の使用では、交換が必要となる。将来の小型のソーラキャパシタなどの小型蓄電装置などの普及が待たれる。

その他にも、FOMA サービスエリア外の対応、より簡便な設置方法の検討など、機能の改善を図っている。

今後は、トンネル、大規模崩壊斜面、堤防など様々な斜面や構造物の動態監視を対象に適用を図り、より実用的なシステムとすべく改善に努める所存である。