

II-19 無線センサによる斜面変位監視ネットワークシステムの構築

Network system for monitoring the displacement of the slope, using wireless-sensor

西谷 哲¹・岡田謙吾²・高田知典³・森安貞夫⁴

Nishitani Tetsu, Okada Kengo, Takada Tomonori, Moriyasu Sadao

抄録：本システムは、土砂災害の防止・減災などのために斜面変位モニタリング技術の高度化、普及を目的に開発したものである。計測斜面に半導体加速度センサ、無線モジュール、電源を内蔵した複数のプラスチック杭を設置し、斜面（杭）の傾きをワイヤレスで収集、FOMA回線を利用して遠隔地のASPサーバに送信・自動登録することができる。ユーザがどこでもインターネットを介してデータの閲覧やダウンロードが可能なネットワーク対応の「斜面変位監視ネットワークシステム」である。ASPサーバは、現地で計測したデータを、インターネットを介して、いつでもどこでも閲覧、入手でき、センサ端末の計測間隔・送信間隔などの設定を行うことができる双方向通信機能を有していることを特色としている。

キーワード：斜面防災、センサネットワーク、無線、情報化施工、杭、ASP、加速度センサ

Keywords：Disaster slope, Sensor network, Wireless, Information-oriented construction, Stake, Application service provider, Acceleration sensor

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。

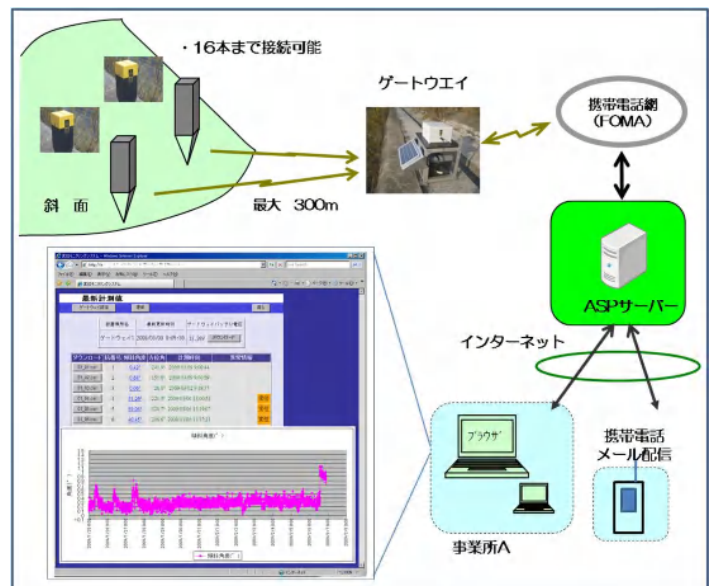
そこで、筆者らは、従来の計測装置を補完し、簡易に多点に設置することで、より迅速・確実に斜面変位を検知し、地域住民や工事関係者への通報、避難支援・安全作業確保に寄与することを目的とした「斜面変位監視ネットワークシステム」を構築した。

本システムは、現地に2軸半導体加速度センサ、無線モジュール、電源を内蔵したプラスチック杭を打込むことで、地スベリ斜面や崩落斜面などの動き（傾斜）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ASPサーバに自動的にデータを送信・登録し、インターネットを介してデータの閲覧やダウンロードを行うことができる遠隔監視システムである。

実際の斜面防災では、降雨・積雪・温度変化などの気象条件、地震の発生、地盤条件、地形形状、施工方法など、様々な情報との関連を考慮した上で変位の要因や影響・対策を考慮する必要がある。

本システムは、将来的にこれらの関連情報の迅速な共有・統合を目的に、手始めに斜面の変位情報を配信するASPサーバを構築した。

本稿では、現地でデータ収集を行う「無線センサ端末による斜面変位監視システム」と、遠隔地に設置し、データの保存、配信、計測制御、電源モニタリングを双方向で行う「双方向データ配信ASPサーバ」について、その構成、機能、今後の取組みなどについて報告する。



図－1 システムの概要

- 1：非会員 株式会社リプロ 東京事務所
(〒170-0003 東京都豊島区駒込 2-5-1-301 TEL:03-5974-1191 nishitani@ripro.co.jp)
- 2：正会員 株式会社リプロ 東京事務所 3：フェロー会員 同左
- 4：正会員 株式会社近計システム 情報システム・エネルギー部
(〒116-0014 東京都荒川区東日暮里 6-60-10 日暮里駅前中央ビル 4F TEL:03-3803-4173)

2. システムの特長

従来、斜面の動きの監視は、多くの現場で地盤傾斜計やGPS、自動追尾型トータルステーションで行われており、多大な効果を発揮している。しかしながら、設置作業の安全性・迅速性、メンテナンスの効率化やコストダウンも求められている。

そこで、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であり、以下のような機能と特長を有している。

(1) 簡易な設置と多点計測

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無線と電池駆動のため通信・電源の配線が不要など、の特長を有している。

期待される効果として、熟練度や専門技術が不要なことで作業時間の短縮や安全性、施工性の向上だけでなく、現場作業のコストダウンにも寄与できる。

(2) メンテナンス作業の軽減

従来の地盤傾斜計などのネットワーク計測システムでは、データロガーなどに有線でデータを収集し、携帯電話網でデータを定期的に送信する片方向のデータ送信方式が一般的である。本システムでは、センサ端末から無線で収集したデータを指定のサンプリングタイムで計測し、決まった間隔でASPサーバ側へ送信するだけでなく、自動的に定時にASPサーバとゲートウェイをFOMA回線で結び、現地装置の設定条件を変更できるようにしている。計測間隔や送信間隔などが任意にASPサーバ側で設定できるため、計測端末や送信機器の設定変更のため現地に入る作業が不要となり、危険作業の回避、メンテナンス費用の削減につながる。

(3) 種々のデータとの連携

斜面変位などは、周辺地域の気象などの自然条件や、施工に伴う地形の変化などにより影響を大きく受けることが想定される。そこで、本システムでは、周辺の気象データや他の計測データの結果により、計測の間隔を短くしたり、細かくデータを取得することを自動的にASPサーバ側で変更する機能を有している。例えば、大量な雨量が予測される場合や、地震や突発的な集中豪雨時に、細かく詳細なデータを取得することも可能となる。また、本システムでは電源電圧のモニタリングを行うことで、電源異常や障害の確認、効率的なメンテナンス計画の立案など、現場作業の大幅な軽減を実現している。

3. システムの構成と機能

現地計測設備は、図-2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・大阪）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ASPサーバが整備されている。

(1) 無線センサ端末

MEMS 技術によりセンサ端末の小型化を実現し、端末及びバッテリーは杭に内蔵されている。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。

また、特定小電力無線（426MHz 帯、出力 10mw 程度）を用いることで、長距離の送信、草木などの障害物や雨による影響を極力、低減している。



図-2 現場計測設備

表-1 センサ端末の仕様

項目	内容
最大設置台数	16台
測定可能傾斜角度	±90°
傾斜角測定分解能	0.04度
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 6分前（可変）の傾斜角度と比較して変化しているとき
連続可能計測時間	1年程度（※定期通信（1時間毎）のみの場合）
サンプリング間隔	6分毎（設定により変更可能）
送信データの内容	傾斜角度、バッテリー電圧、温度、杭のID番号、受信レベル
通信回路仕様	特定小電力無線（426MHz帯）10mW程度
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）
寸法仕様	本体：円形ケース（直径 78mm、高さ 35mm） 電池：50mm×60mm×90.3mm -10℃～50℃
使用温度範囲	（杭の周辺温度が上記温度範囲以内であること）
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。サンプリングタイム、送信間隔はサーバより遠隔に自動設定される。電源は、AC100V で動作するが、電源供給ができない場所ではソーラバッテリーでも動作可能である（図-2 現場計測設備 右下）。

(3) ASP サーバ

従来のデータサーバは、データ受信に専用回線や専用端末などの設備や、特別な閲覧や制御ソフトウェアが必要な場合や、計測装置の遠隔設定に制約があるものも見られた。

ASP サーバは、これらのハードウェア、ソフトウェアの制約がなく、汎用的に使用できる。現地計測設備の設置完了とほぼ同時に運用を開始できることで、監視システムの稼働までの所要時間を大幅に短縮したことを特色としている。

計測場所やサーバ側に人員を常駐することなく、データの登録、データの配信が全て自動的に処理されるばかりか、現地での個々のセンサ端末の計測間隔（サンプリングタイム：2分、6分、12分、60分可変、標準6分）や送信間隔など計測方法の制御も自動的に設定されるため、設置後の現地での作業がほとんど不要となる。

ユーザ側には、インターネットの使用環境以外のあらたな設備が一切不要であり、設備費用やシステム構築費、ランニングコストの大幅なコスト削減が期待できる。本システムの緊急性を考慮して、携帯電話への自動メール配信もサーバで設定することができる。

主な機能として、以下があげられる。図-3 に機能の一覧を示す。

a) ログイン機能：アカウントは、閲覧者用アカウントと管理者用アカウントの2種類があり、設定の変更は管理者用アカウントのみで行う。

b) 詳細情報画面：時刻、ID、傾斜角度（2軸）、方位などセンサ端末（杭）ごとのデータが表示される。

c) 全体設定機能：ゲートウェイに共通する傾斜角の警報値、電圧値の警報値の設定、計測周期、送信間隔などゲートウェイごとの設定を行う（図-4）。

d) 計測データのダウンロード：計測開始からの計測データ（傾斜角度、方位）、時間、電圧、ID が CSV 形式でダウンロードできる（図-5）。

e) メール送信機能：最大5つまでのアドレスを登録し、異常（または復帰時）が発生した場合に、同時に送信する。また、設定したアドレスへの送信を確認するためのテスト送信機能を持ち、ASP サーバがデータを受信してから1分以内にメール送信が行われる。

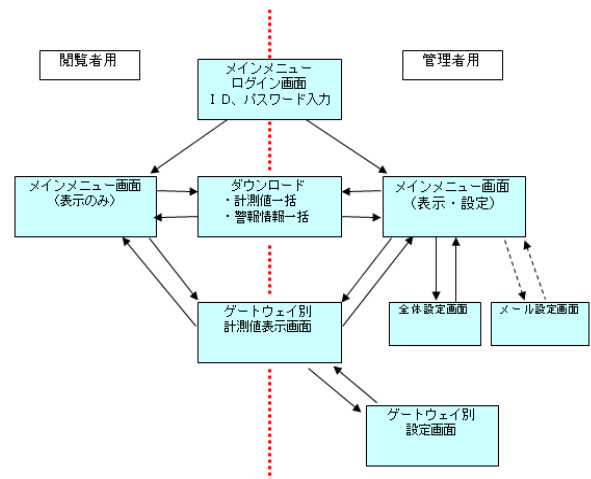


図-3 機能（画面）の一覧

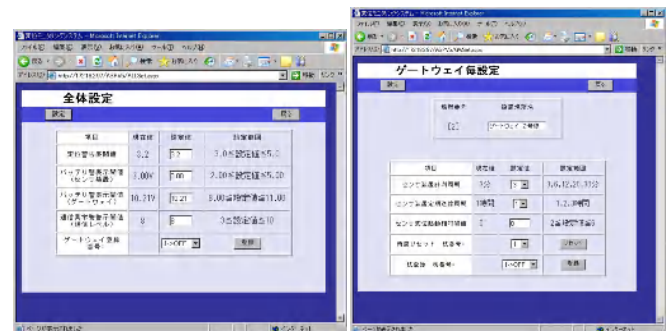


図-4 設定画面（全体、ゲートウェイ）

ダウンロード	杭番号	傾斜角度	方位角	受信時刻	異常情報
02_01.csv	1	0.3°	45.0°	2008/10/01 11:00:00	バッテリー
02_02.csv	2	4.5°	120.0°	2008/10/30 0:00:00	電圧
02_03.csv	3	2.2°	120.0°	2008/10/30 0:00:00	設定
02_04.csv	4	0.0°	---	2008/10/30 0:00:00	通信
02_05.csv	5	2.2°	120.0°	2008/11/01 14:00:00	

図-5 計測値の表示・ロード

4. 課題と今後の展開

本システムは数現場で稼働しており、ほぼ1年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。

a) 半導体センサの温度特性

今回用いた半導体加速度センサは、急激な温度変化に対する補正（追従）が不十分であり、傾斜データにばらつきが見られる（図-6 1時間ごと傾斜角度から）。現在、半導体センサの交換も含め、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）工夫や、サーバ側でのデータの評価手法などを検討し

ている。

b) 管理手法の検討

本システムのデータを用いた管理を行うに当たって（管理値の決定やデータの分析）は、ダウンロード後データの加工が別途必要である。管理値の変更の自動化や、緊急時の対応を考慮して、変位の傾向や変化量などオンラインで確認できるグラフや、設置場所を示す地図などの表示機能の追加を検討している。併せてデータの分散など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-6 日平均値の推移など）。

c) 現場での設置方法の確立

無線通信では、その通信可能距離が現場状況により大きく左右される。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。

現状では、杭、ゲートウェイを設置する際に、電波強度を測定し通信を確認した上で、位置・高さなどを決定している。

d) 省電力化、高効率バッテリーの利用検討

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。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、機能の改善を図る必要性があると考えている。

今後、計測データサーバの高度化にあたって、建設現場での計測では、センサの性能、通信手段、電源設備などの条件だけでなく、降雨量などの気象条件、地震、地質・地形、住環境情報などとの影響を考慮し

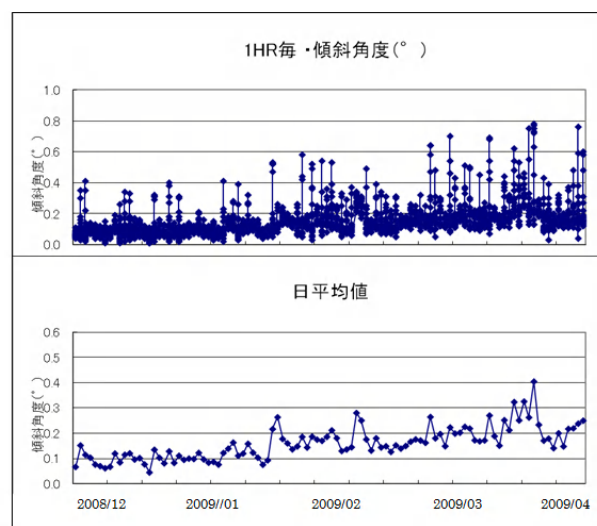


図-6 計測データの一例（4か月間）

て計測データの変化の要因分析や影響・対策を検討する必要がある。しかも、昨今はゲリラ豪雨のような急激な変化に対応する必要も増してきており、迅速な情報提供のニーズは増すばかりである。

そこで、ASP サーバの今後の展開として、「必要な時に必要な情報をより簡便に、かつ迅速に配信すること」を念頭に、既存の計測機器のネットワーク化を図るとともに（図-7）、従来の計測データや気象情報などと統合したASP サーバの機能向上を図っていく予定である。

5. おわりに

今回は、斜面の傾斜データを現場、サーバ、ユーザまで、無線センサ、FOMA、ASP サーバを用いて収集・送信・配信するネットワークシステムを構築した。本システムは、より簡便に、人手を介さず、しかも極力メンテナンスフリーを実現するための小型無線センサ端末の開発、双方向通信サーバなどの開発を行い、当初の目標であった、安全性・施工性・経済性の向上に寄与できたと考える。

今後は、「必要な時に必要な情報をより簡便に、かつ迅速に配信する」情報サービスの実現のため、無線センサ端末の機能・種類を充実させるとともに、種々の情報や計測システムとの連携を模索していきたいと考えている。また、システムの信頼性・安定性向上のためにも、より多くの現場への導入を図り、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。

参考文献

- 1) 豊澤康男・伊藤和也(労働安全衛生総合研究所):「半導体加速度センサーを利用した高精度傾斜計による斜面崩壊予知の検討」, 労働安全衛生研究, Vol.1, No2, pp.103-110(2008)

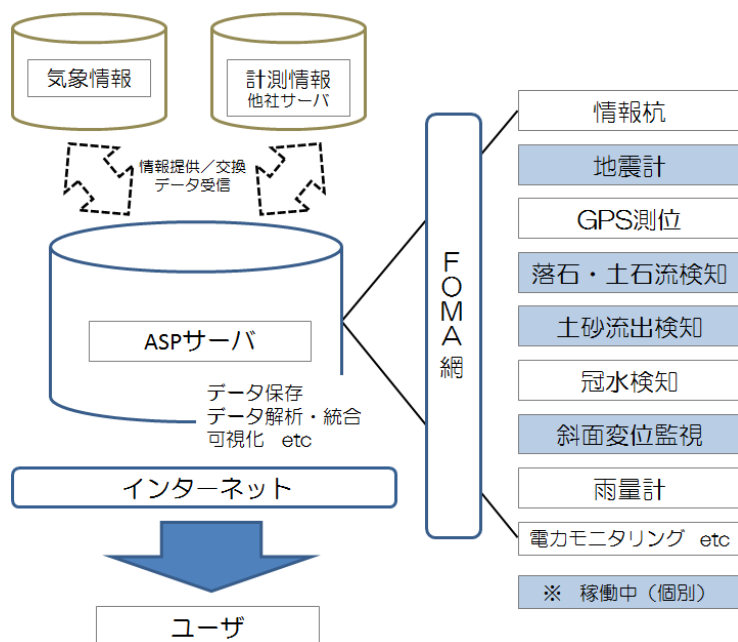


図-7 統合データサーバの概要