

### 地盤変位モニタリングを目的とした GPS 無線センサシステムの現場実証試験

大成建設	正会員	○澤田 茉伊
大成建設	フェロー会員	志波 由紀夫
東京理科大学	正会員	佐伯 昌之

#### 1. はじめに

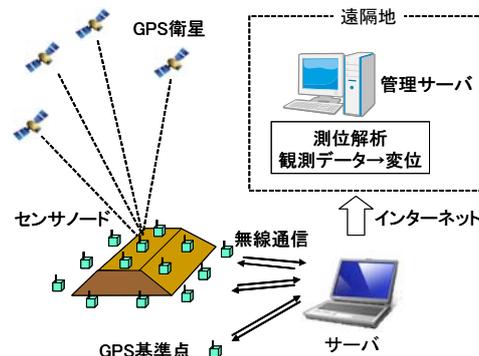
著者らは、これまで、ワイヤレスで地盤変位を面的・立体的に把握できる GPS 無線センサシステムの開発に取り組んできた。これは、GPS による静的干渉測位を利用した無線センサネットワークで、小型で電源・データ伝送の配線を必要としないため、設置作業の手間・コストを軽減でき、また、工事作業への影響が小さいのが特徴である。主な用途としては、軟弱地盤を対象とした工事における地盤変位監視、大規模盛土施工後の残留沈下・側方流動の監視などが考えられる。これまでに、基本システム的设计、試作を終え、主に実験室レベルでの動作確認などを進めてきた。本稿では、現場実証試験について述べる。



写真—1 実験場所の全景

#### 2. 地盤変位モニタリングシステムの構成

本システムの全体イメージを図—1に示す。複数の計測点および GPS 基準点(不動点とみなす)に GPS 無線センサ(センサノード)を設置し、これら全てと無線通信可能な場所を観測拠点とし、サーバを設置する。無線通信には、特定小電力無線を用いており、センサノードは、サーバからの無線指令に従って、所定の時間に GPS データを受信し、それをサーバへ無線伝送する。サーバへ収集されたデータは、測位解析にかけられ、GPS 基準点からの各計測点の相対位置が求まり、その時間的变化が変位となる。なお、インターネットを利用して、遠隔地に設けた管理サーバで測位解析・監視をすることも可能である。



図—1 システムの全体イメージ

GPS 無線センサの詳細については、参考文献1)を参照されたいが、GPS 受信機は1周波受信で、GPS アンテナにはカーナビ等に使われるパッチアンテナを用いている。これらの部品は、製造コストを抑えられる反面、高精度な測位に最適とは言えないが、観測方法や測位解析法の工夫によって、変位計測精度を向上させることができる。

#### 3. 実証試験の概要

実証試験は、写真—1に示す胆沢ダム原石山材料採取工事現場(岩手県奥州市)にて、平成21年7月~同年11月の約4ヶ月間にわたって実施した。7箇所の計測点(G-1~G-7)およびGPS基準点(K-1)を、計測精度の比較検証ができるよう、既設の有線方式のGPS変位計測システム(以後、既存システムとよぶ)に隣接して設けた。計測フィールドは、約500m四方で、観測拠点から最も遠いG-7点では、直線距離で504m離れている。センサノードは、図—2に示すように、単管で組んだ高さ2m程度の三脚に取り付けた。

本システムの開発目標として、数百mの無線通信、既存システムと同等の計測精度、自然環境下での耐久性・使用性、数ヶ月間のバッテリーによる作動、を掲げており、実際の工事現場で本システムを長期間試験運用し、これらキーワード 無線センサネットワーク, GPS, 地盤変位, 現場実証試験

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株)技術センター TEL045-814-7231

の達成を確認することが、今回の実証試験の目的である。

#### 4. 試験結果

##### (1) 無線通信

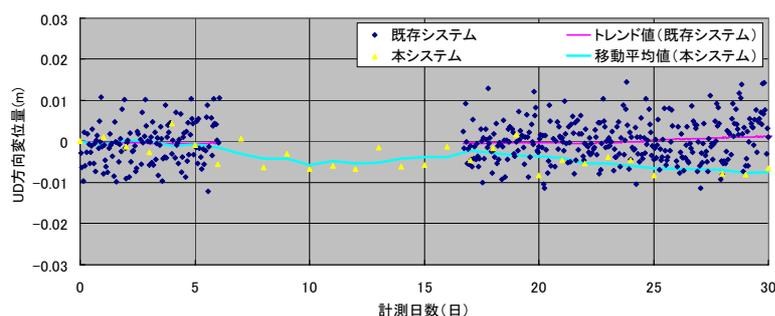
実験期間中にセンサノードが送信したデータ・パケットをサーバが受信できた割合を調べたところ、通信距離 400m 以下の計測点では、ほぼ 100%であった。この結果は、これまでに実施した無線通信実験の結果と整合するもので<sup>2)</sup>、さらに今回の実証試験によって、長期間にわたって安定した無線通信が保たれていることがわかった。しかし、通信距離 504m の計測点では、80%程度にとどまったため、今後改善を図っていく予定である。



図—2 センサノードの設置方法

##### (2) 変位計測精度

変位計測精度を向上させるためには、GPS データの受信時間を長くする必要があり、精度向上と消費電力抑制は、いわばトレードオフの関係にある。本システムでは、効率的な観測方法とすることで、これらの両立を図っている。具体的には、同じ消費電力量で、できる限り多くの衛星を使い、精度よく測位解析するため、観測時間を 1 日数回の測位解析に好都合な時間帯に絞って、極力短時間で行う<sup>3)</sup>。今回は、1 日 4 回、各 4 分間の観測を行い、4 回分の観測データを統合して、1 日 1 回変位量を求めた。



図—3 既存システムによる変位量計測結果との比較

図—3 は、G-3 における実験開始日から 1 ヶ月間の上下方向の変位計測結果を、既存システムによる観測結果（途中、電源不良により欠損）と比較したものである。既存システムでは、毎時、変位量とともに移動平均に類似した統計処理による値（トレンド値）が算出される。両システムとも、実験開始日の移動平均値もしくはトレンド値を変位ゼロとしている。原石山であり、両システムともほとんど変位が生じていない結果となったが、両者の差は、7 計測点を総合して、水平方向で最大 1 cm 程度、鉛直方向で最大 2 cm 程度であった。

##### (3) 耐久性・使用性

実証試験期間を通して、ほぼ全てのセンサノードが正常に動作した。これまでに実施した検証実験と合わせると、 $-11 \sim 38$  度の温度環境で実際に動作することが確認できた<sup>2)</sup>。なお、サーバについても、観測拠点の室温が 50 度程度まで上昇したが、正常に動作することができた。

バッテリーの作動日数については、使用したバッテリーのうち約 7 割が 1 ヶ月以上であったが、10 日以下のものもあり、大きなばらつきがみられた。これは、日平均 90% 近い多湿な環境が原因となっている可能性もあり、今後はセンサノードの防湿対策を講じると同時に、太陽電池の併用も検討していきたい。

#### 5. おわりに

以上述べたように、実証試験において、ほぼ目標を達成し、システムの実用化への見通しが立った。今後、さらに変位計測精度の追求、無線通信距離の拡大、バッテリー交換等のメンテナンス性の改善に努めていきたい。

#### 参考文献

- 1) 志波由紀夫, 澤田茉伊, 佐伯昌之: 地盤変位モニタリングのための GPS 無線センサの開発. 「電力土木」(電力土木技術協会誌). 2010, 3, p.60-64.
- 2) 澤田茉伊, 志波由紀夫, 佐伯昌之, 井上忠治, 篠田怜子: 地盤変位計測に用いる GPS 無線センサ・システムの寒冷地での適用性について. 土木学会第 64 回年次学術講演会概要集. 部門VI-137, 2009, p.273-274.
- 3) 佐伯昌之, 井上忠治, 澤田茉伊, 志波由紀夫: GPS 無線センサネットワークを用いた準静的変位モニタリングの精度に関する基礎的検討. 土木学会応用力学論文集. Vol. 12, 2009, p.975-982.