

### 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

大成建設 正会員 ○澤田 茉伊  
 大成建設 正会員 志波 由紀夫  
 東京理科大学 正会員 佐伯 昌之  
 東京理科大学 学生会員 井上 忠治  
 東京理科大学 学生会員 篠田 怜子

#### 1. はじめに

本研究は、GPS により地盤の準静的な変位を高精度でモニタリングできる無線センサ・システムを開発し、軟弱地盤上の盛土の沈下量計測等に利用することを目的としている。本システムの確立には、様々な現場環境下でも安定した性能を発揮できることを確認していく必要がある。今回は、岩手県奥州市内において、冬季の低温・積雪環境下における適用性を検証した。

#### 2. GPS 無線センサ・システムの概要

著者らが試作したシステムの全体イメージを図1に示す。本システムは、大きく分けてサーバ、GPS 固定点、および複数のセンサノードからなる。センサノードは、無線通信装置、GPS 受信機およびバッテリーから構成され、サーバとの間のデータ通信を無線で行う。無線通信には、1252MHz 帯の特定小電力無線を用いる。特定小電力無線は、通信速度は遅いが、消費電力が低く、また通信距離が長い(最大 600m 程度)という利点がある<sup>1)</sup>。そのため、バッテリー駆動で広範囲の多点同時観測を長期間メンテナンスフリーで行うのに適している。GPS 受信機は、1 周波 GPS 受信機を使用し、アンテナには、安価なカーナビ用小型パッチアンテナを用いている。GPS アンテナは、図2に示すように、地盤に固定したモルタルブロックの上に設置した。そして、積雪を防止するため、全体を四角錐型のカバーで覆った。

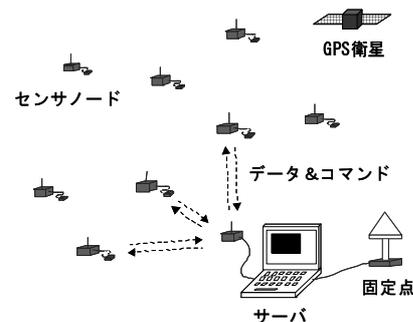


図1 GPS 無線センサ・システムの全体イメージ



図2 GPS アンテナ設置方法

#### 3. 積雪がシステムに及ぼす影響

##### (a) 測位精度への影響

積雪地に本システムを適用する際の最大の懸念は、GPS アンテナ上に雪が積もり GPS 信号受信が阻害されることによる測位精度の低下である。そのための対策として、四角錐型のカバーを考えたが、いずれにしても、アンテナ上の積雪が測位精度に及ぼす影響を調べる必要がある。そこで、積雪防止カバーを取り外し、アンテナ上に直接雪を被せて測位を行い、精度低下の程度を調べた。アンテナは、変位が生じない場所に設置し、観測は8~9時間毎秒行った。測位精度は、ここでは変位は0であるので、これを真値としたときの標準偏差の2倍値(2σ)で評価する。

表1 積雪が測位精度に及ぼす影響

積雪量	2σ <sub>x</sub> (cm)	2σ <sub>y</sub> (cm)	2σ <sub>z</sub> (cm)
50cm	1.18	1.96	3.23
20cm	0.588	0.933	2.40
0cm	0.447	0.686	1.71

表1は、アンテナ上に20cmおよび50cmの積雪がある場合の精度を、積雪がない場合と比較して示したものである。X、Y、Z軸方向はそれぞれ、東西、北南、上下方向を意味する。積雪量が多くなるほど精度低下がみられるものの、雪は水に比べて間隙が大きいため、GPS 信号を完全には遮蔽しないことがわかった。また、積雪防止カバーを施したときにカバー表面に厚さ3cm程度の雪が付着している場合の精度についても調べたところ、積雪がない場合と同等の精度が得られた。

キーワード 無線センサネットワーク、GPS、地盤変位、寒冷地

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株)技術センター TEL 045-814-7231

**(b) 無線データ通信への影響**

センサノード～サーバ間の無線通信が雪原上でも問題なく行えることを確認するため、地面の積雪深が 20～30cm の見通しのよい場所において、気温-3.5℃、いくらか吹雪のある中で無線通信実験を行った。実験方法は、センサノード（雪面からの設置高 H=0cm、50cm、100cm）から GPS データを模擬した 1 パケット 40byte のデータを 240 パケット送信し、50～400m 離れた場所に設置したサーバ（設置高 H=100cm に固定）が、正確に受信できたパケット数を調べるものである。

図 3 は、各通信距離でのパケット到達率を、積雪がない条件で同様の実験を行った場合（実験場所は異なる）<sup>1)</sup>と比較したものである。積雪がある場合のほうが、安定して高い通信性を示しており、特に設置高が低い場合に優れている。これは、積雪によって電波の反射率が上昇したことによるものと考えられる。

なお、センサノードを高さ約 75cm に盛った雪の中に埋め、通信距離 60m でパケット到達率を計測したところ、100%を示した。これらのことから、無線の通信性に関しては、積雪は悪影響を及ぼさないことが確認できた。

**4. 低温環境がシステムに及ぼす影響**

**(a) システム機器の動作への影響**

低温環境下では、電子機器であるセンサノードやサーバの動作不良に伴うデータの信頼性低下が懸念される。そこで、実際に寒冷な屋外で（図 4 に外気温を示す）約 4 ヶ月間（2008/12/12～2009/4/3 の 113 日間）、センサノードを稼働させ、その結果、データ欠損はなく、-10℃程度であれば、正常に観測できることが確認できた。

また、サーバは、3cm 厚の発泡スチロールで内張りしたプラスチックケースに入れて屋外に設置したが、それ自身の発熱量が大きいため、ケース内の温度が常に 10～25℃程度に保たれ、問題なく動作した。

**(b) バッテリー寿命への影響**

冬季に積雪のため閉鎖される現場の場合、3 ヶ月程度の間、バッテリー交換できない。ここで検証中のセンサノードは、GPS の観測は最適時間<sup>2)</sup>のみ（一日 2 回・各 5 分間）行い、定期的にサーバからの動作指令信号を受信する時以外は、スリープ状態で待機することで消費電力を抑えている。別途実測したセンサノード消費電力量とバッテリーパックの容量から、常温での連続動作可能日数は計算上は 155 日程度となるが、低温環境下では、バッテリー寿命の低下は避けられない。その対策として、さまざまな断熱方法を考えてバッテリーの保温を試みたが、低消費電力なことで逆に発熱量が極めて少なく、有効な手段は見出せなかった。しかし、上記の約 4 ヶ月間の実験期間中、センサノードは一度もバッテリー交換をしなかったが、いずれも連続動作を続けることができた。

**5. まとめ**

一連の実験により、ここで紹介した GPS 無線センサ・ネットワークのシステムは、最低気温-10℃程度、積雪深 20～30cm の環境下においても 3 ヶ月程度連続使用が可能で、十分に性能を発揮することが確認できた。また、GPS アンテナとしてここでは小型パッチアンテナを用いたが、数 cm 程度以下であれば、アンテナ上に雪が積もっても測位精度に及ぼす影響は小さいことがわかり、積雪対策の見通しが立った。

**参考文献**

- 1) 井上忠治, 池田尚秋, 佐伯昌之, 志波由紀夫, 畑明仁, 佐藤貢一: GPS 測位解析におけるデータ欠損率と精度の関係について, 応用力学論文集, Vol.11, pp.955-962, 2008.
- 2) 佐伯昌之, 井上忠治, 澤田茉伊, 志波由紀夫: GSP を用いた準静的変位モニタリングにおける観測時間帯と精度の関係 (第 64 回年次学術講演会投稿中) .

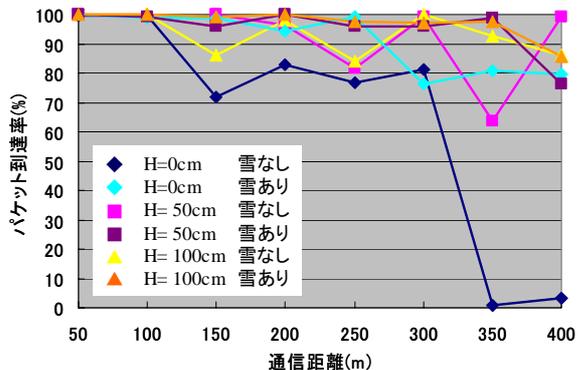


図 3 無線によるデータ通信の実験結果

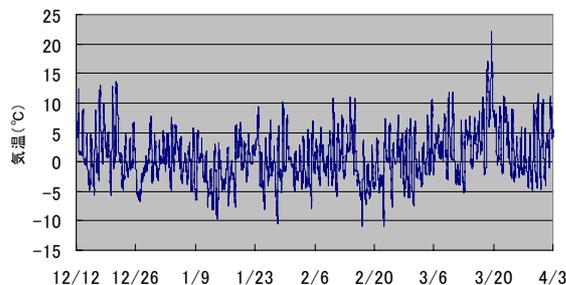


図 4 実験期間中の外気温