

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（c）

研究期間：平成 22 年度 ～ 平成 24 年度

課題番号：22560494

研究課題名（和文）

広域センサネットワークによるリアルタイム防災システムの研究

研究課題名（英文）

Study on real-time disaster prevention system using wide-area sensor network

研究代表者

西山 哲（NISHIYAMA SATOSHI）

京都大学大学院 工学研究科・准教授

研究者番号：00324658

研究成果の概要（和文）：

危険な斜面の安定性を評価し、崩壊を未然に防ぐ措置を考察したり、被害を最小限にする対策を行うための、どこでも、いつでも監視できるユビキタス計測を実現するセンサネットワークシステムの開発に成功した。

研究成果の概要（英文）：

We developed the ubiquitous sensor network system that we can monitor a dangerous slope anytime anywhere in order to evaluate the stability of the slope and consider measures to prevent collapse of the slope and minimize damage.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：地盤工学

キーワード：センサネットワーク，岩盤斜面，電波，ユビキタス計測，3次元計測，リアルタイム計測，高精度計測

## 1. 研究開始当初の背景

我が国における岩盤斜面の災害を防ぐために、広域をカバーし、リアルタイムで mm 単位以下の高精度をもつ変位計測システムを開発するのが本研究の目的である。モニタリング手法は電波の送受信技術を応用するものであり、計測原理は従来の GPS などでも利用されてきたものであるが、送信機と受信機を地上に配置させるという独創性によって、岩盤挙動を 3次元でとらえながらも、どこにでも簡単に設置でき、さらに低コストで長期間メンテナンスフリーという利点をもつ計測システムであるために普及を図りやすい。本研究の成果により、これまで困難で

あった岩盤斜面災害に対処する、どこでも、いつでも監視できるユビキタス計測を実現する。

## 2. 研究の目的

本研究は岩盤斜面の変位検出技術を構築するものであり、具体的には岩盤に設置した小型の発信機からの電波を、周辺に配置した複数の受信機で受信し、その位相差から設置した箇所の3次元変位をリアルタイムで計測するシステムを完成させるものである。これによって次の特徴を有する計測システムの完成が期待される。

- ・岩盤に設置する発信機は小型で有線部分が

無いため任意の設置場所に配置できる。また断線、誘雷などによる故障が無く、計測システム自体が災害に強い。

- ・ハード機器は既に市販されている携帯電話やMEMS機器の応用であるため、ハード機器に要するコストを低く抑えることが可能
- ・小型で消費電力が少ないために設置後のメンテナンスが不要である。
- ・計測原理から岩盤の3次元の変位をmm以下の単位で計測することが可能である。

本研究は実際の岩盤斜面での計測実験を通して、上記性能を発揮する計測システムの実用化を図ることが目的である。

### 3. 研究の方法

研究内容は実用化のための実際の現場での検証実験と、計測システムの高度化技術の開発である。岩盤斜面を用いた実験では、受信機の幾何学的配置によって0.34mmの理論精度がどのように変わるのか、発信機と受信機間の距離が何kmまで理論精度を保持するのかについてのデータを収集し、計測システムの発信受信機器の配置を決定する設計法を確立させる。また計測システムの高度化については、乾電池レベルの電源で10年間駆動できるメンテナンスフリーの送受信システムを実現するために、送信機と受信機が相互に通信できるようにすると同時に、送信機にはMEMS技術による岩盤の挙動を検知するセンサを組み込み、必要なときに必要な間隔で計測システムが稼動するように仕上げる。このように本研究は計測システムの完成を目指した実用化の開発に特化するものである。

### 4. 研究成果

#### (1)計測原理の構築

本研究によって構築した計測手法の原理の概念を図-1に示す。一つの受信機が受信した電波の到達時刻から発信機の位置を推定する円を描く事ができる(等位相差面)。複数の受信機によって当該円(等位相差面)を描くと、その交点が発信機の位置となる。これは震源の決定法あるいはGPSの計測原理と同じである。GPSは位置の分かっている複数の衛星からの距離を同時に測ることにより受信機の位置を決定する手法であるが、約26000km離れた衛星からの電波を受信するものであり、対流圏や電離圏を通過することによる誤差を含んだ電波を用いるため、微小な変位を検知できるほどの高精度を得ることが原理的に困難である。本研究は、地上に設置した送受信機器間での計測であり、数kmの遠隔においても擾乱を受けずに伝播してきた電波を受信することが可能となるために、高精度(mm以下)でのリアルタイム計測が可能になる。

#### 電波を利用した変位計測の原理

- 実際の計測では、1つの電波発信機の位置を、4つ以上の受信機を使い位相差を計測。
- 受信機から等距離差となる等位相差面の交点を算出し、三次元で発信機の位置を正確に決定。

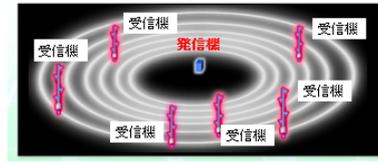


図-1 本研究で構築した計測原理

#### (2)システムの設計法の確立

受信機の幾何学的な配置によって計測精度は変わる。実用化に際しては、計測システムの設置前に最適な受信機の配置を決定する必要がある。本研究ではこの精度を決定する指標としてGDOP (Geometrical Dilution of precision) と称される精度劣化指数を導入し、あらかじめ現場状況が分かれば計測システムの配置を設計できる手順を確立させた。具体的には、GDOPはGPSを使った測量などにおいて既に使用されている指標で、観測方程式の係数行列の条件数を反映した数値であり、図-2に示すように実験現場において受信機の幾何学的配置をいくつか変えながらDOPと計測精度の相関を求める実験を試行し、計測機器の配置の設計法を完成させた。

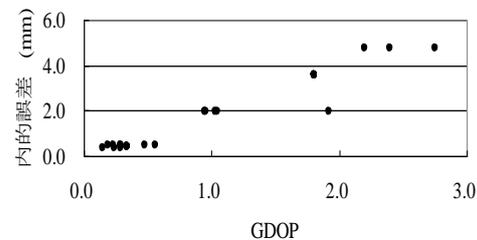


図-2 GDOPと精度(内的誤差)の關係例

#### (3)計測システム実用化の成功

図-3は本研究で実現した計測システムの概要である。また図-4は開発したハード機器の概要である。さらに発信機と受信機を、河川をはさんでお互い見通しの良い斜面上に600m話して設置し、発信機に人工的に変位を与え、その変位を6基の受信機にて受信し、その位相差から発信機の3次元座標を算出した結果を図-5に示す。外的誤差は0.96mm、内的誤差は0.85mmであり、1mm以下の高精度で変位が計測されることを実証した。このように、本研究では電波の位相差から座標値の算出法を考案するとともに、2.4GHz帯の特

定小電力無線による電波の送受信機を用いた実験によって計測精度を検証した結果、数100m離れた箇所で電波を受信しながらも、変位を高精度かつリアルタイムに検出できることが実証され、本研究が提案する電波を発信する機器の3次元座標を算出する理論の妥当性が証明された。また無線機と受信機の配置の幾何学的な関係と計測精度の関係を考察し、GDOPによる指標にて計測精度を見積もることができることを示し、この成果により電波を発信する機器の3次元座標を求める手法が構築され、小型で安価な電波発信機を活用することで、斜面および法面の変位を高密度に計測するシステムの実現が可能になると期待される。

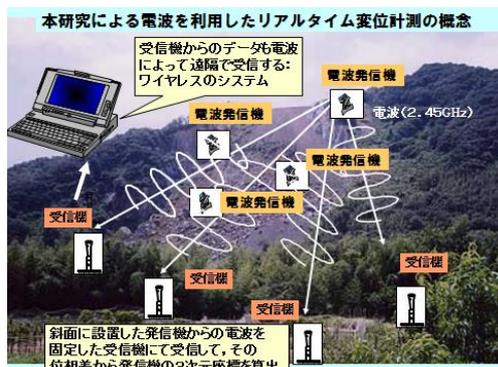


図-3 計測システム概念図

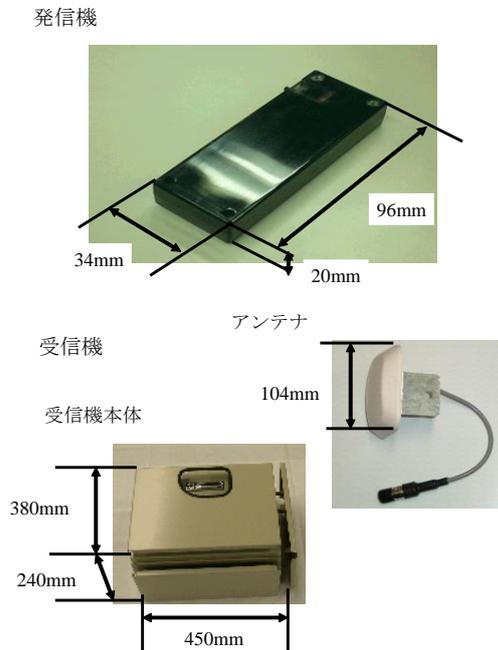
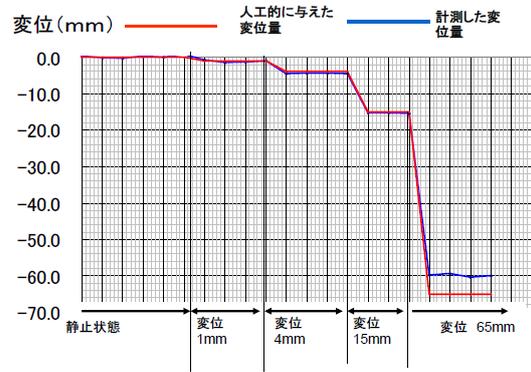


図-4 開発したハード機器の概要

図-5 現場検証実験の結果



## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Nishiyama, S., Yano, T., Ohnishi, Y., Sato, M., Nakagawa, M.  
"Real-time displacement measurement method using phase differences of radio waves", Proc. of the International Workshop on ICT in Geo-Engineering edited by Miyata, Y., Okayasu, T., Furuya, H., Uchimura, T. and Otani, J., Kyoto Japan, 査読有, Research Publishing, 2012, 251-258.

<http://rpsonline.com.sg/rpsweb/ictge2012.html>

- ② Nakagawa, M., Sato, M., Hagiwara, I., Kazuyuki, O., Nishiyama, S.,  
:"Development and Applications of nanosensor devices for detection of slope disaster", Proc. of the International Workshop on ICT in Geo-Engineering edited by Miyata, Y., Okayasu, T., Furuya, H., Uchimura, T. and Otani, J., Kyoto Japan, 査読有, Research Publishing, 2012, 259-265.

<http://rpsonline.com.sg/rpsweb/ictge2012.html>

- ③ 西山哲, 大西有三, 矢野隆夫, 里優, 吉崎互, 無線機器を利用した斜面変位計測法の研究, 地盤工学ジャーナル, 査読有, 巻6, No.4, 2011, 503-511.

[http://www.jiban.or.jp/index.php?option=com\\_content&view=article&id=123&Itemid=74](http://www.jiban.or.jp/index.php?option=com_content&view=article&id=123&Itemid=74)

[学会発表] (計7件)

- ① 西山哲, ナノセンサデバイスを活用した道路管理手法に関する研究, 国土交通省近畿地方整備局, 新都市社会技術融合創造研究会, 第9回新都市社会セミナー資料, 2012年10月4日, 大阪府大阪市, 研究報告1

- ② 西山哲・矢野隆夫・南方菜緒, 岩盤斜面モニタリング用センサネットワークシステムの開発, 地盤工学会関西支部 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2012年11月9日, 大阪府大阪市, 31-38.

(3) 連携研究者  
無し

- ③ 田中雄三, 西山哲, ナノセンサデバイスを活用した道路管理手法について, 平成 24 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集, 新技術・新工法部門, 2012 年 7 月 12 日～2012 年 7 月 13 日大阪府大阪市, No.17.
- ④ 西山哲, ナノセンサデバイスを活用した道路管理手法に関する研究, 国土交通省近畿地方整備局, 新都市社会技術融合創造研究会, 第 8 回新都市社会セミナー資料, 2011 年 9 月 8 日, 大阪府大阪市, 研究報告 1
- ⑤ 里優, 西山哲, 矢野隆夫, 吉崎亙, 電波位相差変位計測の斜面変位モニタリングへの適用性に関する検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月 7 日～9 月 9 日, 愛媛県松山市, 13-14
- ⑥ 小野武, 西山哲, 無線センサデバイスを活用した道路管理手法について」平成 23 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集, 新技術・新工法部門, 2011 年 7 月 14 日～15 日, 大阪府大阪市, No.05
- ⑦ 萩原育夫, 島内哲也, 西山哲, 矢野隆夫, 無線式センサを利用した岩盤斜面モニタリング手法の検討, 第 46 回地盤工学研究発表会, 2011 年 7 月 5 日～7 月 7 日, 兵庫県神戸市, G-06

[その他]

岩の力学連合会賞 2012 年度 技術賞受賞  
受賞名: 電波を利用した斜面モニタリング用リアルタイム 3 次元変位計測システム

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西山 哲 (NISHIYAMA SATOSHI)  
京都大学大学院 工学研究科 准教授  
研究者番号: 00324658

### (2) 研究分担者

三浦 悟 (MIURA SATORU)  
鹿島建設株式会社 技術研究所 研究員  
研究者番号: 20374027

小山倫史 (KOYAMA TOMOYUMI)  
京都大学大学院 工学研究科 助教  
研究者番号 20467450

黒沼 出 (KUROMUMA IZURU)  
鹿島建設株式会社 技術研究所 研究員  
研究者番号: 30416713