

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：15501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656285

研究課題名(和文)アドホック通信技術を活用した新しい斜面監視技術の開発に関する基礎的研究

研究課題名(英文)Development of new slope monitoring system using ad-hoc sensor network

## 研究代表者

中田 幸男(Nakata, Yukio)

山口大学・理工学研究科・教授

研究者番号：90274183

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、アドホック通信技術を活用した新しい斜面監視技術の開発に対する基礎的な研究を行った。ここでは、(1)新しい機能を搭載したノードの開発、(2)開発したノードによるシステムの検証、(3)実斜面における実証実験を実施した。

開発したノードは安価で多量に導入できるものとした。これにより、提案するシステムでは、多数のセンサーにて測定されるデータに基づいて異常を抽出できることになる。これは、崩壊箇所を限定できない斜面や、想定外の崩壊を示す斜面を監視する場合に威力を発揮できる。よって、一般的なシステムと比べ、異常なデータの確からしさが得られるため、これまで未経験の事象に対する監視に有効となる。

研究成果の概要(英文)：A fundamental research on development of new slope monitoring system utilizing ad-hoc information communication technology was carried out. Here, the following items were studied. (1) The node which mounted an accelerometer was developed. (2) It was confirmed that the network system using the developed nodes worked. (3) The applicability of the developed system in real slopes was verified. The low-cost node which mounted a sensor was developed. So, the system proposing can extract abnormalities based on the data measured by many sensors. This means that the reliability of extraordinary data is acquired compared with other system. Therefore this system is effective when monitoring the slope which cannot specify a collapse part, and the slope which shows collapse of an unexpected scale. In addition, this system becomes applicable in the monitor to an extraordinary phenomenon.

研究分野：地盤工学

キーワード：斜面安定 センサーネットワーク 監視

### 1. 研究開始当初の背景

#### ○豪雨の多発と斜面災害の増加

図-1は全国約1,300箇所の地域気象観測所(アメダス)において1時間降水量が50mm以上となった年間の回数(1,000地点あたりの回数に換算)を示している。我々が実感しているように、近年、局部的豪雨(ゲリラ豪雨)が多発していることが見て取れる。これに伴い、豪雨による斜面災害が国土の安全・安心を脅かすものとして社会的な話題となっている。図-1から推察されるように、今後、豪雨の増加が予想されることから、斜面災害の頻度や規模の増大が懸念される。

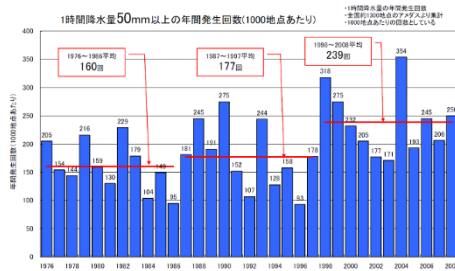


図-1 豪雨の年間回数の増加

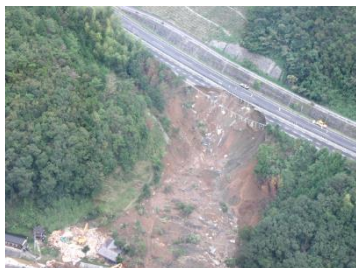


図-2 高速道路での災害事例



図-3 国道での災害事例

#### ○斜面の維持管理業務の現状

現在、高速道路や国道沿いの斜面の維持管理は、危険度の高い斜面をリスト化し、定期的に専門技術者が現地調査することで行われている。このため、この業務には危険性の高い斜面の数に依存して技術者・日数・経費が必要となる。現実には、限られた技術者・時間・予算のもので行われるため、一つの危険斜面を点検する頻度が少なくなり、経年変化を捉えづらいつという問題が顕在化している。上述のような気象変化もあり、今後、維持管理が必要となる斜面は増加することが考えられるため、斜面の維持管理体制の抜本的な転換が求められている。

### 2. 研究の目的

このような課題を解決する方法として、維持管理に適した新しいタイプの斜面監視技術の開発がある。ここでは、アドホック通信技術を活用して開発し、その実用性について検討する。ここで開発するアドホック通信技術を活用した斜面監視技術は、変状を起こす場所が特定されていない時点から観測を始める場合に威力を発揮する。また、技術者の経験によらず、同じように地盤変状を捉えることができることを意味し、斜面の維持管理を幅広く行うためには、必要となる技術といえる。

### 3. 研究の方法

本研究では、アドホック通信技術を活用した新しい斜面監視技術の開発に対する基礎的な研究を行う。特に、以下の点について検討する。

- (1) 新しい機能を搭載したノードの開発
- (2) 開発したノード(試作機)によるシステムの検証
- (3) 実斜面におけるシステムの実証実験

### 4. 研究成果

本研究は、センサーネットワークを活用した地盤災害に対する監視システムの提案について述べるものである。このシステムは、地盤の表層変化を捉えるための加速度センサーを危険箇所周辺に多数配置すること、多点計測するために安価なセンサーを開発していること、これにより、複数のセンサーからのデータから災害発生(異常)箇所および範囲(規模)を推定しようとするものである。ここでは、センサーネットワークの概要を述べるとともに、加速度センサーによる計測の可能性について概説する。

#### ○センサーネットワークの概要

著者らは、アドホック通信技術を活用した土石流危険渓流および切土法面(萌芽研究)への斜面監視技術の適用性について検討してきている1)。アドホック通信は、図-4、5に示すように、ノードと呼ばれる無線センサー端末により通信網を形成し、各ノードに取り付けられたセンサーの値をこの通信網を經由してバケツリレー式に伝送する通信システムをいう。これまで、ビル等の省エネ監視、構造物の劣化監視などへの適用があり、地盤災害への適用が世界的にも広がり始めたところである。

ネットワークの構成要素であるノードは安価で多量に導入できる。このため、崩壊箇所が特定できない場合や、想定外の地盤災害を予知する場合に威力を発揮すると考えられる。一般的な現場計測システムでは、各々のセンサーの計測データに対する信頼性を前提に構築されるため、センサーの誤作動や誤認、欠測によりシステムの機能を保持できないという問題が生じる。提案するシステムでは、多数のセンサーにて測定されるデータに基づいて異常を抽出しようとするものである。この

ため、一般的なシステムと比べ、異常なデータの確からしさが得られるため、これまで未経験の事象に対する状況においても異常データを抽出できると考えている。

センサーは三軸加速度計を使用し、X 軸、Y 軸、Z 軸それぞれの加速度が監視用端末に記録される。計測データの間隔は、1 分から1日で設定でき、現時点では毎日 13:00 に1回の計測を行っている。この時間間隔は遠隔から変更が可能であるため、降雨強度の高い降雨が予想される直前に変更することができる。

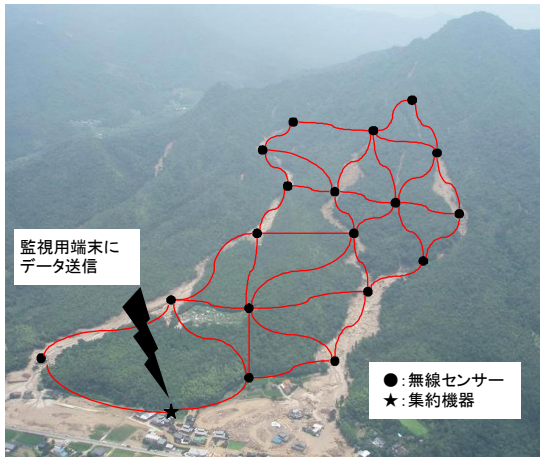


図-4 センサーネットワーク設置イメージ



図-5 設置機器の概況

### 3. 計測データにより見出される斜面の危険度評価の可能性

切土法面に設置したノード（加速度計）で計測された加速度の時刻歴を 図-6 に示した。加速度変化は、X 軸、Y 軸ともに Z 軸に比べ微小の変化であったため、Z 軸の加速度変化についてのみ示した。20 個のセンサーのうち加速度の変化の大きかった地点はノードの No. 7、15、18 であった。前半の降雨が観測されている6月から7月の期間では、加速度が緩やかに減少した。特に、No. 15の結果が顕著な変化を示したが、周辺のノードと整合した動きではなく、変化量も小さいため、注視するだけの対応とした。さらに、降雨が観測

されていない10月以降の期間の加速度はほとんど変化しなかった。

溪流に設置したノードから得られた計測結果を図-7に示す。前半の降雨が観測されている期間で、加速度は減少し、降雨が観測されていない後半の期間の加速度は変化していないことがわかる。溪流沿いの計測では、No13、16の近接するノードの値が連動するように変化をしている。これらのノードの近くにはリニアメント性の地形が確認されている。別途行っている地下水圧の変化の計測2)において、リニアメントから下流域では、100mmを超える降雨後には1ヶ月以上にわたって地下水圧が高い状態が続くことがわかっている。図-7の加速度変化はこの高い水圧変化を反映している可能性があるといえる。

これまでに行った模型斜面に対する降雨崩壊実験の結果を用いて、崩壊中の加速度の変化について示す。図-8は、目視により斜面表面の移動を確認した時刻を 0s とする崩壊開始時間について加速度の推移を示したものである。加速度挙動は崩壊開始の300s前から緩やかに上昇し、崩壊開始直前には崩壊箇所直近のセンサーについてのみ急激に変化した。このことは、現場での計測データを蓄積し、崩壊の引き金となる閾値を得ることで、安定性の評価に寄与できることを示唆している。

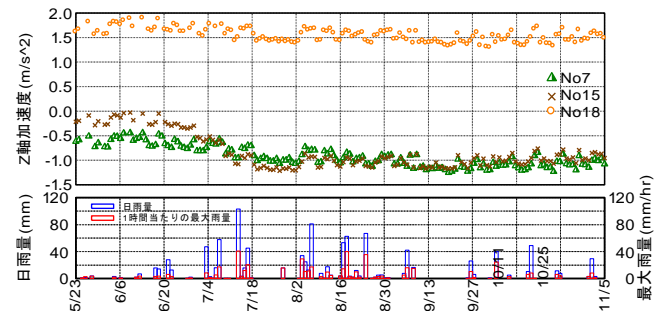


図-6 切土法面で得られた加速度の時刻歴

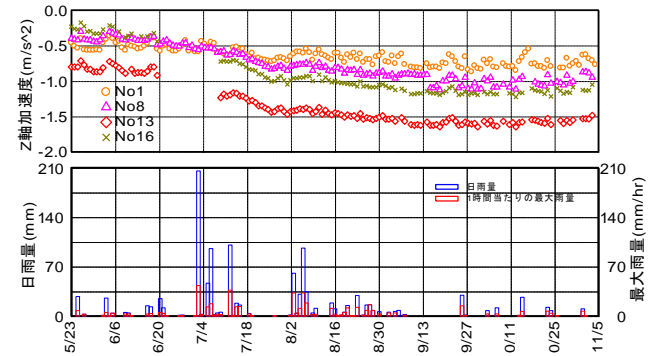


図-7 土石流危険溪流で得られた加速度の時刻歴

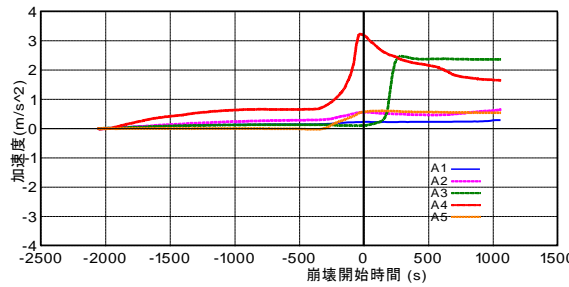


図-8 模型斜面に対する降雨崩壊実験における加速度の時刻歴

## 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 0 件)

〔学会発表〕 (計 3 件)

- 1) 中田幸男, 兵動正幸, 吉本憲正, 船越理紗: センサーネットワークを用いた地盤災害の監視システムの提案, 平成 27 年度土木学会中国支部研究発表会, 2015 年 5 月 23 日, 山口大学工学部 (山口県宇部市)
- 2) 船越理紗, 中田幸男, 中本昌希, 村上豊和, 下野宗彦, 兵動正幸, 吉本憲正: アドホックネットワークによる斜面災害のモニタリングシステムの開発と検討, 平成 26 年度土木学会中国支部研究発表会, 2014 年 5 月 31 日, 松江工業高等専門学校 (島根県松江市)
- 3) 中本昌希, 中田幸男, 兵動正幸, 竹國一也, 村上豊和, 下野宗彦: アドホックネットワークを用いた土石流モニタリングシステムの開発, 第 48 回地盤工学会研究発表会, 2013 年 7 月 23 日~7 月 25 日, 富山県民会館 (富山県富山市)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中田 幸男 (NAKATA, Yukio)  
山口大学・理工学研究科・教授  
研究者番号：90274183

### (2) 研究分担者

兵動 正幸 (HYODOU, Masayuki)  
山口大学・理工学研究科・教授  
研究者番号：40130091

吉本 憲正 (YOSHIMOTO, Norimasa)  
山口大学・理工学研究科・助教