

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

## 【研究状況報告書（2年目の研究課題対象）】

研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職
	深川 良一 （ふかがわりょういち）		立命館大学 理工学部		教授
研究テーマ	名称	センサーネットワークを利用した次世代型斜面防災システムの構築			
	政策領域	[主領域] 防災・災害復旧対策 [副領域]	公募タイプ	タイプ 技術ブレイクスルー型	
研究経費 （単位：万円） （委託金額）	平成18年度	平成19年度	研究期間		
	2,500	2,500	平成18～20年度（3年）		
研究者氏名（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入して下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加して下さい。）					
氏名		所属・役職			
深川 良一		立命館大学・理工学部・教授			
島川 博光		立命館大学・情報理工学部・教授			
大久保 英嗣		立命館大学・情報理工学部・教授			
杉山 進		立命館大学・理工学部・教授			
木股 雅章		立命館大学・理工学部・教授			
小西 聡		立命館大学・理工学部・教授			
横田 裕介		立命館大学・情報理工学部・任期制講師			
原田 史子		立命館大学・情報理工学部・助教			
酒匂 一成		立命館大学・COE推進機構・ポスドクフェロー			
TRUONG HUNG VU		立命館大学・総合理工学研究機構・特別研究員			
鳥井原 誠		大林組・技術研究所・地盤岩盤研究室・室長			
山本 彰		大林組・技術研究所・地盤岩盤研究室・地盤グループ長			
菅野 幹人		三菱電機（株）・情報技術総合研究所・チームリーダー			
桐村 綾子		三菱電機（株）・情報技術総合研究所・主任研究員			

### **研究の目的・目標**（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入して下さい。）

本研究では、降雨時の斜面崩壊について特定箇所の崩壊予測を行うための新たな斜面防災システムを提案する。本システムは、1)限られた予算内でのモニタリングによる斜面防災対策の効率的な実施と運用（イニシャルコスト、ランニングコストの削減）、2)急斜面など従来型防災設備の設置やメンテナンス困難な場所への対策（運用の容易化）、3)センサー、通信システムの耐候性や避雷性の向上（システムの信頼性の向上）、4)点での計測から面での計測による斜面状況の監視精度向上（網羅的監視）などを特徴とし、地盤工学、センシング技術、情報通信技術に関わる大学研究者および民間企業技術者が、その専門知識と経験を融合して設計・製作・評価するシステムである。

平成19年度は、平成18年度の成果を受けて、ワイヤレス化されたセンサーネットワークシステムの原位置での適用性を高める。さらに改善された機器・システムに基づいて、1つの斜面全体に設置されたセンサーネットワークからの情報を、比較的アクセスの容易な場所で集約・分析する装置・システムを開発することを目的としている。

### **これまでの研究経過**

（研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入して下さい。）

本研究で提案する降雨時の斜面崩壊に対する防災システムは、すべり厚さが数十cm～数m程度の表層すべり型崩壊をターゲットにしている。

本研究では、現地斜面モニタリングに対して、ワイヤレスセンサーネットワークを適用することにより、多点計測の容易化、コスト削減、メンテナンスの容易化、システムの信頼性向上を実現するための研究を行ってきた。また、斜面の安定性評価手法に関する斜面崩壊兆候検知アルゴリズムおよび数値解析プログラムの開発を行ってきた。さらに、道路管理者へのヒアリングを実施し、得られた意見やニーズを取り入れ、防災システムの実現可能性および計画内容の見直しを行ってきた。

平成19年度は、平成18年度の成果を受けて、以下に示す項目に関して研究を進めた。

#### 1) ワイヤレスセンサーネットワークシステムの現地での適用性

多数のセンサーノードにより構築したネットワークシステムの現地実験を実施し、無線通信の安定性、通信距離、データサンプリング時間間隔、植生の無線通信に対する影響について検討した。現地斜面モニタリングシステムの構築における設置条件の把握が目的。

#### 2) センサーの電源、メンテナンスや耐候性などの問題を解決するための工夫

電源の長寿命化、外部センサー用電源の省力化、テンシオメータ自動給水装置の開発、耐候性および設置コストに関する検討を行った。ワイヤレスセンサーシステムを用いた長期斜面モニタリングにおけるこれらの問題の解決を図ることを目的とする。

#### 3) 多数のセンサー情報に対応した斜面崩壊兆候検知アルゴリズムの高度化

防災システム中における斜面安定性評価の第1段階であるセンサー情報の分析手法である斜面崩壊兆候検知アルゴリズムを多数のセンサー情報に対応できるソフトウェアの開発を行った。また、これまでに実施してきた室内土槽試験結果を分析することでアルゴリズムの妥当性の検討および設定値の検討を行った。

#### 4) 室内土槽試験による斜面崩壊メカニズムの解明

本年度は、昨年度の土槽試験と盛土形状、境界条件および降雨量(時間雨量50mm一定条件)が同じ条件の試験を5ケース、盛土形状を変更した試験を2ケース、時間雨量が時々刻々と変化する試験を1ケース実施。これらの試験は、より汎用性のある斜面崩壊兆候検知アルゴリズム開発のためのデータ蓄積が目的である。

#### 5) 青森県下北郡風間浦村易国間(国道279号線)の道路斜面監視システム(落石検知計測システム)の現地ヒアリング

計測データの取得・管理方法、警報発令および道路遮断の方法、警報発令後の管理者の動きなどについて現場見学を行った。その成果を防災システムに反映させ、実用性向上を図ることを目的とする。

### 研究成果の発表状況

(本研究から得られた研究成果について、学術誌等に発表した論文、および国際会議、学会等における発表状況等があれば記入して下さい。)

以下に、発表論文の一部を記す。

(査読付き論文)

1. 深川良一, 島川博光, 大久保英嗣, 横田裕介, 酒匂一成, J.C.Wells: センサーネットワークを利用した斜面モニタリングシステムに関する基礎的研究, 斜面災害における予知と対策技術の最前線に関するシンポジウム, pp.155-160, 2007.12.
2. 山田 千人, 横田 裕介, 高田 秀志, 島川 博光, 地すべりメカニズム分析のための時系列OLA Pツール, 電子通信情報学会第18回データ工学ワークショップ, D8-2, 2007.3.
3. 藤崎友樹, 鈴木和久, 横田裕介, 大久保英嗣: P2Pデータポット: センサーネットワーク向け分散型マイクロストレージアーキテクチャ, 第18回データ工学ワークショップ (DEWS2007), D1-1, 2007.2.

(国際会議)

1. K. Sako, R. Kitamura, R. Fukagawa and I. Yasukawa: Monitoring and warning system for slope failure due to heavy rainfall, Proc. of The 3rd International conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, SHMII-3, Paper No.189, pp.146, 2007(CD) (査読付き).

### 研究成果の活用方策

(本研究から得られた研究成果について、その活用方法・手段・今後の展開等を記入して下さい。)

本システムでは、計測データをセンサーノード間で無線通信させ、道路側面に設置した耐候性インテリジェントロガーに収集させる。「斜面崩壊兆候検知アルゴリズムは、道路側面に設置された耐候性インテリジェントロガー内で、データ分析を行う。計測データおよび判定結果は、道路内に光ファイバーが敷設してある場合には、光ファイバーにより管理事務所へデータを送信する。(IT環境が悪い場合は、携帯電話によるデータ通信、または移動端末(ノートPCなど)を用いた現地でのデータ収集を行う。)事務所内のサーバでは、数値シミュレーションの実行および判定結果に基づいた警報の通知などを行う。また、ワイヤレスセンサーノードの設置において、これまでの研究で得られた知見により、以下のような条件を設定することが妥当であると考えている。

センサーノード間の距離は約 10m 以下とする。

データ取得間隔は、最短 10 分（降雨量により、間隔の変更）とする。

センサーノードは、防水・防塵 BOX に入れ、地面から 20cm 程度離す。

センサーノード 1 つにつき、外部センサー（テンシオメータなど）を最大 4 個までの接続とする。

センサーノードには避雷対策は行わず、ロガー部のみに施す。

今後、国道沿いの道路法面にシステムを構築し、提案するシステムの試験的運用を実施。

### 特記事項

（本研究から得られた知見、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入して下さい。また、研究の目的・目標からみた、研究成果の見通しや進捗の達成度についての自己評価も記入して下さい。）

- 1) 既存の無線センサーネットワーク製品に基づいてモニタリングシステムを構築し、その妥当性を立命館大学構内外周道路沿いの斜面に設置して確認した。通信距離、通信の安定性、データサンプリング時間間隔などに関して重要な知見を得た。
- 2) 無線センサーノード用電源の長寿命化、あるいはセンサーノードに接続するテンシオメータ用電源の長寿命化に取り組んだ。前者に関してはリチウム電池の採用と計測時間間隔設定に関わるソフトの開発、後者に関しては電源制御用ハードウェアの開発によって長寿命化が達成できる見通しとなった。自動給水装置開発については、試作品の設計・製作に予想よりは時間が掛かったため、現地での有効性の確認は平成 20 年度にずれ込む見通しである。ただし、平成 20 年度内の装置完成はほぼ確実である。平成 20 年度は、各ハードウェアおよびソフトウェアを現地における計測システムに組み込み、長期的計測に対する適用性について評価および改善を行うことを予定している。
- 3) タイムチューブ理論に基づく第 1 段階での斜面安定性評価は、モデル斜面の崩壊実験に関する限り、ほぼその有効性が確かめられた。すなわち理論に基づく斜面安定性評価指数と実際のモデル斜面崩壊現象が対応していることが明らかになった。平成 20 年度は、分析結果の妥当性の検討を行うため、土槽試験、現地計測データを用いた分析および改良を施す予定である。
- 4) 数値シミュレーションによる第 2 段階での斜面安定性評価については、作成したシミュレーションプログラムを用いて、室内土槽試験について解析を行い、計算結果と実験結果の比較を行った。平成 20 年度は、室内土槽試験および現地計測データを用いてモデルの妥当性の検討を行い、精度の向上を目指す。
- 5) ハードウェア（ワイヤレスセンサーシステムおよびインテリジェントロガー）とソフトウェア（斜面安定評価システムおよび斜面崩壊兆候検知アルゴリズム）を連携させるためのソフトウェアの開発を行っており、今年度中に完成する見込みである。

これらの成果をもとに、平成 20 年度は、学外の道路法面にセンサーネットワークシステムを設置し、防災システムの試験的運用を行う予定である。