

**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（1年目の研究課題対象）】**

①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
②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 ループ型）
③研究経費（単位：千円） （委託額）		平成18年度	研究期間	
		25,000	平成18～20年度（3年間）	
④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		
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		
酒匂 一成		立命館大学・COE推進機構・ポスドクトラルフェロー		
大野 進太郎		立命館大学・総合理工学研究機構・特別研究員		
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		
鳥井原 誠		大林組・技術研究所・地盤岩盤研究室・室長		
東 辰輔		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		
⑤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。）				
<p>本研究では、最終的に以下に掲げるような特徴を有する新たな斜面防災システムの構築を目指す。即ち、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（インシタルコスト、ランニングコストの縮減）、2)急斜面など従来型防災設備の設置やメンテナンスが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精度向上（網羅的監視）。これらの最終目標に対して、平成18年度は、想定している斜面防災システムの実現可能性の確認を主目的として研究を遂行する。まず、現地モニタリング結果と数値シミュレーション結果に基づいた斜面安定評価システムの基礎設計の完了を目指す。これらの斜面安定評価システムの技術面、運用面での実現可能性を検証するために、次に、ヒアリングや文献調査などにより現行の防災システムおよびシステムを構成するセンサーおよびセンサーネットワークの現状と課題を明らかにする。さらに、既往のセンサーやロガーを用いて、想定するセンサーネットワークを構成し、その妥当性を検証する。合わせて、斜面崩壊兆候検知アルゴリズムの開発を目指す。</p>				

## ⑥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。また、研究の目的・目標からみた研究計画、実施方法、体制の妥当性についても記入して下さい。)

### 1. 現地斜面における防災システムの検証

#### (1) 斜面安定評価システムの基礎設計

本プロジェクトは、主として降雨時の表層すべり型崩壊を対象としており、その降雨継続中の警戒警報発令のための評価システムを提案している。雨量データやテンシオメータからの間隙水圧などの現地斜面モニタリング結果に基づいた手法(第1段階)と数値シミュレーション結果に基づいた手法(第2段階)の2段階で斜面の安定性評価を行うものである。

#### (2) 斜面防災システムに関するヒアリングと実証的検討

西日本高速道路(株)・徳島管理事務所(徳島)と北海道開発局・札幌開発建設部(北海道)の所轄する現場を訪問し、道路の維持管理段階における防災のための計測管理の実態についてヒアリングするとともに、現地の計測状況の視察を行った。本研究で提案するシステムは、ヒアリング調査した現場と同種の現場が抱えるいくつかの課題を解決することが期待できる。特にシステムのワイヤレス化、メンテナンスフリー化は、設置および運用面での改善効果が大きいと判断された。

### 2. センサーネットワークシステムに関する研究

#### (1) 既往のセンサーやロガーを用いたセンサーネットワークシステムの検討および検証実験

本研究の主たる目標は、センサーデータから斜面崩壊の前兆の特性を分析するツールを構築し、かつ、その分析結果に基づいて前兆を検知できるロガーを作成することである。また、これらロガーやツールは低コストで実装できるものでなければならない。本年度においては、既往のコンポーネントによる実現可能性を評価した。斜面上の各計測点にセンサーネットワークを構築し、そこからのデータをロガーで収集する。センサーの追加・削除に耐えうること、崩壊前兆の検知ソフトウェアのパラメータやデータ収集条件を事務所より遠隔で操作可能とすることなど機能の充実化が必要な際には、小型Linuxサーバであるマイクロサーバ上にロガーを構築することも今後検討する。

#### (2) 少数のセンサー情報の効率的収集システムの構築(フェーズ)

既往のセンサーやロガーを用いたデータ収集の検証実験の結果をふまえ、クロスボー社のセンサーネットワーク機器を用いたセンシングデータ収集システムの構築を進めた。構築したシステムの検証を行うため、降雨装置および室内土槽試験装置を用いて、実験を行った。本実験において、センサーノードおよびテンシオメータの配線、電源、無線通信、防水(耐候性)について調査し、問題点を検討した。

また、上記のセンサーネットワークシステムを用いて、小規模なセンサーネットワークを構築し、立命館大学敷地内の道路法面に設置した。現地の温度および湿度を計測しながら、機器の耐候性、電源、通信距離および安定性などに重点をおいて実験を行っている。

### 3. 斜面崩壊兆候検知アルゴリズムの開発

斜面崩壊に先立って、雨量計やテンシオメータなどのセンサーから特徴的なパターンが得られたとしても、これらの情報を分析的に考察して力学的意味を明らかにすることは一般に困難である。あまりに多くの要因の影響を受けるからである。ただし、ある特定のパターンが現れると斜面崩壊の予知につながるということはありうる。本プロジェクトでは、以上のような観点から、新たに斜面崩壊兆候検知アルゴリズムを提案した。斜面の状態を監視する際のセンサーからのデータを変数値として捉えた場合、監視対象の状態は多変数の時系列データとして表現できる。斜面の崩壊の兆候を検知するために、時系列データ中の特徴パターンを表現することを考えた。本研究ではその手法として『タイムチューブ』を提案し、基本的アルゴリズムを完成させた。来年度は、テンシオメータからの間隙水圧データに対して本手法を適用し、その有効性を現地あるいは室内モデル試験によって検証する予定である。

### 4. テンシオメータのメンテナンス問題に関する検討

テンシオメータは、土壌中の水分量を計測するために用いられるセンサーである。テンシオメータの正常動作のためには一定量以上の脱気水をセンサー内に確保しておく必要がある。特に夏場に水がセンサー内から抜け易いため、テンシオメータへの自動注水システムの実現は、

本プロジェクトにおける土壌水分のリモートモニタリング技術向上に重要な効果があると考えられる。

本研究では、自動注水システムの実現に向けて二段階のステップを設定することにした。第1段階は、エネルギー源として電池などの電源を用いて、センサー（水位検知センサー）、アクチュエータ（電磁弁、もしくはポンプ）の駆動を行うシステムである。第2段階は、将来的にエネルギー源の使用を極力抑え、機構的に自動注入メカニズムを実現することに関する検討である。

今年度は、電磁弁を用いた注水システムの試作（第1段階）および自動注水システムの試作（第2段階）を行い、いずれも所定の成果を上げることができた。来年度は、現地においてその適用性を検討する予定である。

#### ⑦特記事項

（研究で得られた知見、成果、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、研究の見通しや進捗についての自己評価も記入して下さい。）

##### （1）研究で得られた知見・成果

- 1) 斜面安定評価システムは、現地斜面モニタリング結果に基づく方法と数値シミュレーションに基づく方法の2通りの方法について検討し、それぞれその基礎設計を終了した。前者に関しては、京都市内のある斜面でテンシオメータ、雨量計などのセンサー情報を蓄積しており、その分析を通してシステムの改善を図っている。後者に関しては、浸透解析＋安定解析をリアルタイムで実行できるプログラムを完成させた。
- 2) 既往のセンサーやロガーを用いたデータ収集の検証実験を行うために、クロスボー社のセンサーネットワーク機器を用いたセンシングデータ収集システムを構築し、その実現可能性をモデル土槽試験などを通して確認した。
- 3) 雨量や間隙水圧などのトレンドグラフにおいて、何らかの特徴的なパターンを認識することによって斜面崩壊を検知するアルゴリズムを開発した。
- 4) 本プロジェクトにおいては、テンシオメータを中心的なセンサーとして位置付けている。このテンシオメータについては、夏季に乾燥した期間が長過ぎると圧力測定に不可欠な内部の水が必要以上に抜けてしまうという欠点があった。この問題を、電磁弁やPDMSダイフラムを用いた自動注水システムによって解決した。

##### （2）研究の見通しや進捗についての自己評価

- 1) 斜面安定評価システム  
基本設計は、ほぼ終了した。今後は、第1段階については現地での更なるモニタリングデータ収集を通して、第2段階については数値シミュレーションをモニタリングシステムを設置した実斜面やモデル土槽試験結果に適用して、信頼性の向上を図る予定である。
- 2) センサーネットワークシステム  
クロスボー社のセンサーネットワーク機器をベースにしたシステムの実現可能性は確認した。今後は、同社のシステムをベースにしたセンサーの多点化、広域展開を図る。課題は、やはり低エネルギー消費型システムの構築で、当面はソフトを中心とした対応となる。最低でも半年間ほど電源が持つようなシステムの構築が当面の目標である。また、多点計測を行う際には、センサーの追加・削除に容易に対応できたり、斜面崩壊兆候検知ソフトウェアを搭載するなど、ロガーのインテリジェント化が欠かせないため、市販の小型Linuxサーバであるマイクロサーバをベースにして耐候性インテリジェントロガーを開発する。
- 3) 斜面崩壊兆候検知アルゴリズム  
基本的なアルゴリズムの開発は終了した。今後は実際の現場でのデータ（特にテンシオメータからの間隙水圧）分析による異常パターンの抽出が主目標になる。
- 4) ワイヤレスセンサー  
当初研究計画ではワイヤレスセンサーの開発自体が主要な目標の一つであったが、本プロジェクト専用のワイヤレスセンサーの開発には莫大な予算がかかることが明らかになった。したがって、今後は市販のワイヤレスセンサーの利用か、あるいはクロスボー社のセンサーノードに見られるような、通信機能を有するノードを利用することによってシステム全体のワイヤレス化を進めることとした。

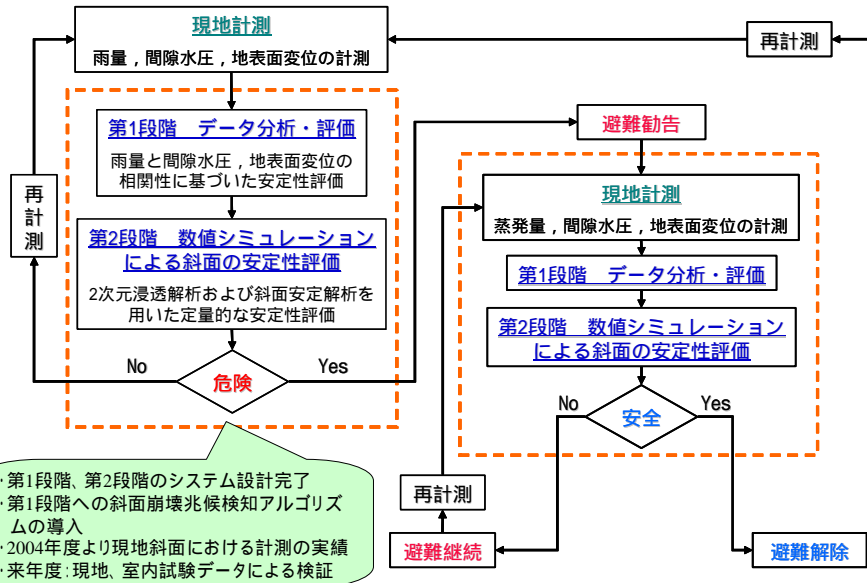
## センサーネットワークを利用した次世代型斜面防災システムの構築

研究代表者: 深川良一 (立命館大学理工学部教授)

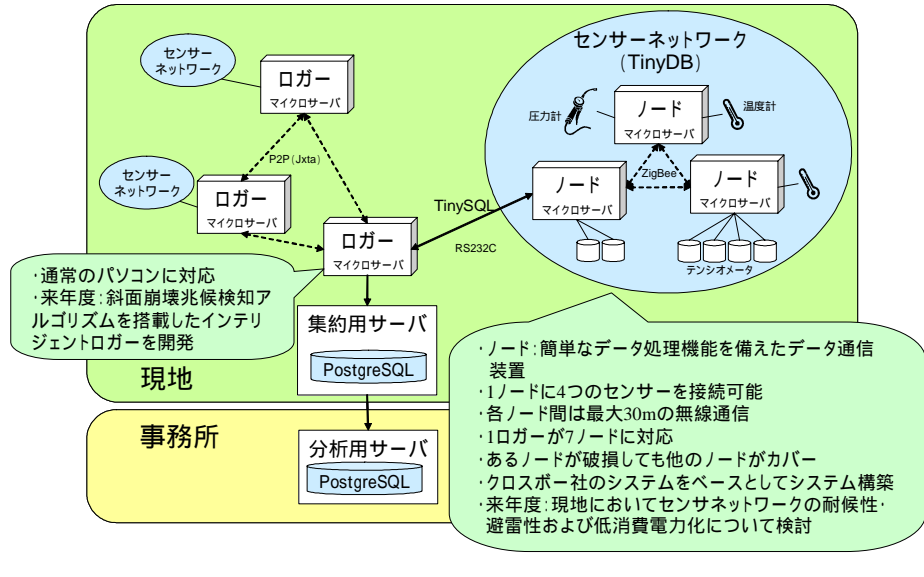
平成18年度の目標: 想定している斜面防災システムの実現可能性の確認

課題	成果
斜面安定評価システムの基礎設計	テンシオメータからの間隙水圧情報を中心とする斜面安定評価システムを提案。
センサーおよびセンサーネットワークの現状と課題の明確化	耐候性・避雷性の確保および低消費電力化が課題。来年度現地にて適用性を検討。
既往のセンサーやロガーを用いたセンサーネットワークシステムの検討	クロスボー社のセンサーネットワークシステムを中心にシステムを構成。作成したシステムの有効性を室内実験レベルで検証。
斜面崩壊兆候検知アルゴリズムの開発	タイムチューブ理論に基づく基本アルゴリズムの作成完了。

## 斜面安定評価システム



## 既往のセンサーやロガーを用いた センサーネットワークシステムの検討



## 斜面崩壊兆候検知アルゴリズムの開発

タイムチューブ理論に基づく斜面崩壊兆候検知アルゴリズム

⇒ テンシオメータから得られた間隙水圧

⇒ 崩壊予測

斜面崩壊前に間隙水圧が負圧から0あるいは正值に変化

まさ土を用いた室内土槽試験結果

