

## 審査の結果の要旨

氏名 瀬古 一郎

本論文は、斜面災害の軽減のために、斜面の状態を常時リアルタイムで監視して危険な状態を検知し警報を発する、低コストで簡便な早期警報システムを開発したものである。特に、急傾斜地において、豪雨時に雨水の浸透によって生じる表層崩壊の予兆検知を、主な対象とした。

豪雨などによる斜面災害は、日本国内だけでも年間に数百～数千件発生している。そのほとんどが小規模な斜面の表層崩壊であるが、一方で危険箇所数は膨大である。これに対して、力学的な補強工事ですべて対策することは困難であり、斜面をセンサーで監視して、崩壊の予兆が生じたら避難する方法が有効である。

しかし、早期警報の判断の手がかりとして、斜面の何を測定し、どのように危険度を評価するのか、その手法を定めるのは難しい。行政機関の多くは、地域ごとに降水量が閾値を超えたときに警報を出す手法をとる。しかし、たとえば国土交通省と気象庁によって運用される土砂災害警戒情報では、雨量の情報は5kmメッシュで提供され、判断基準も地域ごとに定めるため、個別の斜面の危険度は判断できない。そのため、空振りが生じる一方で、近年多発しているゲリラ豪雨のような極めて局所的な降雨にも対応できない。また、伸縮計などで斜面の変位を測る方法は、個別の斜面の変状を直接監視できるが、コストと手間がかかり、監視できる箇所や期間が制限される。

瀬古一郎氏は、斜面の表層に挿した鋼棒の傾斜（回転）角度を、傾斜センサーで測定する簡単な方法を提案した。常に10分間隔で計測し、データを無線でサーバーに送って監視することで、「崩壊前の予兆現象」を捉えることが特長である。コストと設置の手間を減らすことで、危険な斜面に多数設置し、崩壊の予兆をより確実にとらえることができる。傾斜センサーには、小型、高精度、省電力で安価なMEMS傾斜センサーを用い、特定省電力無線を用いて基地局にデータを集め、携帯電話回線でサーバーに送信するので、リアルタイムのデータをWeb画面で閲覧することができる。実斜面の崩壊観測結果に基づいて、警報基準として、傾斜速度が0.01度/時を超えた時に注意喚起し、0.1度/時を超えた時に、崩壊につながる変状が起きている可能性が高いとして、警報を出すことを提案している。

本論文の第1章は、斜面崩壊のメカニズムと前兆現象の知見、斜面災害の早

期警報の技術開発と社会への適用状況をレビューした。その結果を踏まえて、第 2 章で、本論文の目標として、①斜面を常にリアルタイムで監視するための双方向通信ソフトウェアを含む機器の開発、②斜面表層を傾斜センサーで監視する機器（表層傾斜計）の開発、③地中に傾斜センサーを簡単な方法で打ち込んで斜面内部を監視する機器（小型孔内傾斜計）の開発、④これらの機器を用いた斜面災害危険度のリアルタイム評価手法の検討、の 4 つを掲げた。

第 3 章では、上記①～③で開発した機器の構成、仕様を示し、それらの性能を検証した。機器に求められる要件として、測定データの精度と長期安定性、機器の耐候性のほか、低コストで、簡単な作業で設置でき、対象斜面を多数のセンサーで監視できること、長距離の無線通信を備えて広い対象斜面をカバーできること、乾電池で 1 年以上にわたって駆動できること、などを実現した。

第 4 章では、開発した機器を、国内外の約 60 箇所の実斜面に設置し、斜面に異状が生じた時の観測事例を収集し、観測の有効性を実証した。中国四川省の山岳地域では、自然斜面を人工降雨で崩壊させる実験を行い、観測データを分析した。この過程で、計測の精度、動作の安定性、作業性、消費電力、コストなどに関わる機器の改良を重ね、信頼性の高い斜面監視システムを作り上げた。

第 5 章では、上記の斜面監視システムで得られた実斜面の観測データを用いて、斜面災害の危険度をリアルタイムで評価し、早期警報の判断に使う手法を検討した。傾斜角変位速度と崩壊までの残余時間を整理した結果、傾斜角変位速度が 0.1 度/時を超えると崩壊まで約 10 時間以内となる傾向を見いだした。これを基に、傾斜変位データに関する斜面の管理基準を提案した。また、センサーを設置する位置については斜面の地形状況に応じて、平面的には斜面崩壊検知センサーを密に設置し、深度的には小型孔内傾斜計を配置することが有効である。工事の場合は工事進捗に応じてセンサーを適切に移動することが必要となる。

第 6 章は、一連の研究成果の総括である。

本論文で提案された斜面災害の監視と早期警報の手法は、斜面を単純な方法で監視することで、防災のコストを下げ、個別の斜面ごとのきめ細かな防災を可能にするものである。最近の国の防災政策では、住民の自助努力の重要性が強く説かれるようになった。また、海外、特に発展途上国においても、斜面の監視による防災手法への需要が高まりつつある。本論文は、これらのニーズにも対応できる成果を挙げており、将来の斜面防災技術に大きな貢献をした。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。