

学 位 論 文 要 旨

(Summary of the Contents of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目

(Dissertation Title)

CONTINUOUS DISPLACEMENT MONITORING BY USING GPS AND
ITS APPLICATION TO A LARGE-SCALE STEEP SLOPE

氏 名 (Name)

NGUYEN TRUNG KIEN

Landslides cause many problems in human life, property and constructed facilities, infrastructure and natural environment. Mitigation is an urgent task to reduce effects from landslides. Continuous monitoring is very important for predicting the displacement behavior and designing countermeasure at a slope. The Global Positioning System (GPS) has been used for displacement monitoring in civil and mining projects. Although GPS can measure three-dimensional displacements with mm accuracy for baseline lengths of less than 1 km, the measurement results includes the fatal errors for precise monitoring due to obstructions above the antennas and the tropospheric delay caused by weathers conditions.

The objective of this research is to establish the method for precise slope monitoring by using GPS. It includes

- Verify the applicability of the error-correction methods for reducing the influence of the obstructions above the antennas and the tropospheric delays at a large-scale steep slope for long-term monitoring;
- Discuss the mechanism of the unstable displacement behavior of the slope by numerical analysis based on monitoring results;
- Investigate the performance of a new GPS receiver developed for high-dense temporal-spatial displacement monitoring.

Chapters 1 and 2 describe the problem setting in this study, organization of the dissertation, and a literature review of GPS application for displacement monitoring. The outline of GPS is also introduced.

In this study, the applicability of error-correction methods for reducing the effects of obstruction above antennas and tropospheric delays has been investigated when using GPS for displacement monitoring at a large-scale steep slope. An enhancement procedure with the error-correction methods has been proposed and verified its applicability for improving GPS measurement

results, as shown in Chapter 3. Furthermore, the validity of the enhancement procedure has been shown in comparisons between the displacement results by GPS and by high precision techniques, extensometer and Diffusion Laser Displacement Meter. It is found that the enhancement procedure with the error-correction methods is effective to improve the original scattered monitoring results.

The GPS displacement monitoring system and the enhancement procedure has been applied for long-term continuous monitoring at the large-scale steep slope, as described in Chapter 4. The interpretation of the displacement results in plane views and vertical sections has provided useful information for assessing the displacement behavior. Furthermore, the mechanism of the displacement behavior has been discussed in considering both field measurements and numerical simulations.

In order for GPS to be more widely used for displacement monitoring, it should be deployed at many points and shortened measurement session. The performance of a new GPS receiver developed for high-dense temporal-spatial displacement monitoring has been investigated, as shown in Chapter 5. Experiments has been conducted by using two prototypes of the new GPS receiver. The field application of the new GPS receiver has shown the applicability of the new receiver for high-dense temporal-spatial displacement monitoring. Furthermore, an average process has been applied to improve kinematic results when using the new GPS receiver.

Finally, Chapter 6 draws conclusions from the research presented within this dissertation and proposes recommendations for future researches.

(様式 9 号)

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	Nguyen Trung Kien
審査委員	主 査: 清 水 則 一
	副 査: 麻 生 稔 彦
	副 査: 中 田 幸 男
	副 査: 鈴 木 素 之
	副 査: 中 島 伸 一 郎
論文題目	Continuous displacement monitoring by using GPS and its application to a large-scale steep slope (GPS による連続変位計測と長大急傾斜斜面への適用に関する研究)
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>斜面の安全評価には現場の変位モニタリングは不可欠である。しかしながら、不安定になりやすい長大急傾斜斜面のモニタリングは未だ技術的に困難であり、適切な方法の開発が望まれている。本研究は、GPS (Global Positioning System) を用いて、長大急傾斜斜面の変位を三次元的に高精度かつ連続的に計測できる方法を確立することを目的とする。また、より効果的に変位計測ができるよう開発された新しい GPS センサーの性能調査を行いその実用性を検討する。</p> <p>第 1 章では、本研究の背景、目的、論文構成を述べ、第 2 章では GPS による変位計測法の概要を記述し、地盤変位計測への適用に関する文献調査を行っている。</p> <p>第 3 章では、長大急傾斜斜面における GPS による変位計測の誤差の低減方法を示しその効果を検証している。すなわち、長大急傾斜斜面では斜面背面の植生などのセンサー上空の障害物が人工衛星からの電波の受信に影響を与えること、また、基準点と計測点の高低差が大きいときには、電波の対流圏遅延による影響が顕著となることが知られている。そこで、上空障害物に対しては障害物の背後に飛来する人工衛星からの電波を使わない処理を行い、それと同時に、対流圏遅延については現場の気象条件と対流圏遅延モデルから遅延量を推定しこれを取り除き基線解析を行うことにより、誤差の低減を図った。その結果、計測精度は大きく向上し、上空障害物や対流圏遅延の影響のないような観測条件の良い場合と比べ、そんな計測結果が得られることが示された。</p> <p>第 4 章では、第 3 章の方法を用いて連続モニタリングを実施した結果を示している。計測は長大急傾斜斜面に対しても欠測することなく、三次元変位を水平方向では 2-3mm、高さ方向では 3-5mm の標準偏差で連続的に計測できることが実証された。また、計測期間中、</p>	

降雨により地下水位が上昇し、変位が大きく増加し斜面の一部が不安定となることがあった。そこで、岩盤の不連続性と地下水の流れを考慮した数値解析によって、斜面が不安定挙動にいたるメカニズムを考察した。

第 5 章では、新しく試作された GPS センサーの計測性能を調査した。このセンサーはこれまで 1 時間を標準としていた GPS による変位計測周期を短縮するために kinematic 方式を用いている。現場における実験を含めた調査の結果、計測条件がよい場合、計測周期を 20 分程度としても従来のセンサーと同程度の精度で計測できることが分かった。障害物など存在する場合、また長期間の連続計測の適用性については今後の課題とした。

第 6 章は本研究の成果とともに今後の課題を明記し、論文の結論としている。

公聴会における主な質問は、1) 対流圏遅延の影響が無視できない理由、2) 基準点の不動性の保証と移動した場合の対応、3) GPS による 3 次元変位計測結果と伸縮計による 1 次元計測結果の比較の方法、4) 現有のセンサーと新しいセンサーの違い、5) 現場のセンサーの精度が地点によって異なる理由、6) 斜面安定評価に対する多点計測の効果と計測精度の影響、などであった。いずれの質問に対しても的確かつ十分な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、新規性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文等の発表状況は以下の通りである（関連論文：計 2 編）

1. Nakashima, S., Furuyama, Y., Hayashi, Y., Kien, N.T., Shimizu, N. and Hirokawa, S.: Accuracy enhancement of GPS displacements measured on a large steep slope and results of long-term continuous monitoring, *Journal of the Japan Landslide Society*, 55(1), pp 13-24, 2018.
2. Kien, N.T., Nakashima, S. and Shimizu, N.: Mechanism of landslide behavior at an unstable steep slope based on field measurements and a numerical analysis: a case study, *Proceedings of ISRM International Symposium for 2018, ARMS10, Singapore, K (Rock Slope)*, 7p., 2018.