

「表層ひずみ棒」を用いた斜面変状モニタリングシステムの開発

佐藤工業 正会員 ○市山 大輝

正会員 永尾 浩一

労働安全衛生総合研究所 正会員 玉手 聡

正会員 堀 智仁

1. はじめに

斜面工事では、緊急的に作業する場合があり、事故が発生しないよう簡易に安全対策できる手法が必要である。「表層ひずみ棒」は、斜面の浅い部分のせん断ひずみを簡易に計測することにより土砂崩壊の予兆を捉え、その危険性を警報により周知するものである。著者らは、これまで「表層ひずみ棒」を施工に適用し、簡易的に安全対策出来ることを確認した¹⁾。一方、作業では危険時の警報だけでなく、斜面変形の進行具合を把握することも安全管理上必要である。そこで、計測データをリアルタイムでモニタリングし閲覧する技術を開発した。このモニタリングシステムは、遠隔で地盤変状の具合を把握することが出来、より安全な管理が行える。本稿では、モニタリングシステムを用いた実大斜面崩壊実験での計測事例について報告する。

2. 「表層ひずみ棒」モニタリングシステム

「表層ひずみ棒」を写真-1aに示す。装置は、ステンレス棒の下端にスクリューを備えた全長 600mm、ロッド径 10mm、重さ 400g の貫入式センサーである。斜面内で生じるせん断ひずみの増分を棒の曲げで捉え、付属の「警報器」によりデータを測定し、危険時に警報を鳴らすものがある。

今回開発したモニタリングシステムを写真-1bに示す。本システムは、①「表層ひずみ棒」から計測されたデータを直接 Wi-Fi 送信する「計測部」、②各計測部からの計測データを集計し、端末に送信する「アクセスポイント部」、③PC、iPad 等のタブレット端末で、ブラウザを利用し、アクセスポイントから送られてきたデータをリアルタイムに表示する「端末部」の3つから構成される。

なお、システムの通信プロトコルには、MQTT を使用し、最大 9 箇所の同時計測が可能である。

3. 実大斜面崩壊実験概要

実大実験の概要を図-1に示す。土試料は、不飽和な状態を再現するために関東ロームを最適含水比に調整して用いた。崩壊実験は、試料を盛土し、高さ 3.5m、幅 4m に勾配 30°の大型模型斜面を築造し、法先から段階的に切土掘削して模型斜面を不安定化させ、その間のせん断ひずみの変化を連続計測した。



写真-1 a 表層ひずみ棒 b モニタリングシステム

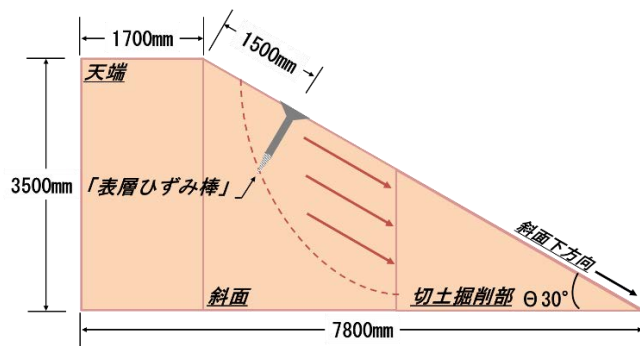
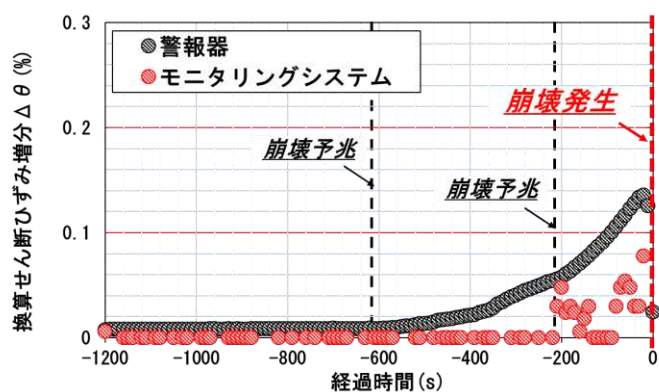
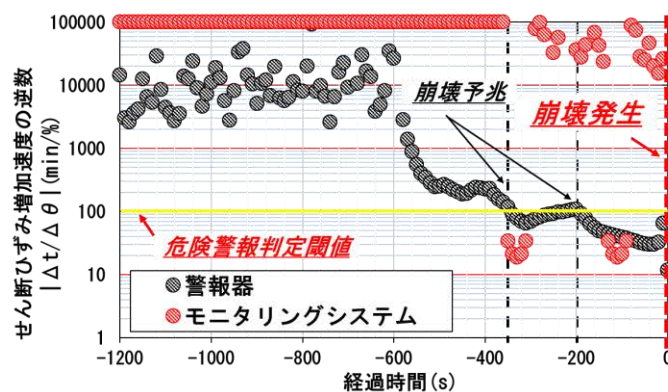


図-1 実大斜面崩壊実験概要図

キーワード 土砂崩壊, 斜面変状予測, せん断ひずみ, 簡易計測, 崩壊予測

連絡先 〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山 14-10 TEL:046-270-3091

図-2 換算せん断ひずみ $\Delta\theta$ 結果図-3 せん断ひずみ速度の逆数 $|\Delta t/\Delta\theta|$ 結果

4. 実験結果

本システムでは、地盤の変状を換算せん断ひずみ増分 $\Delta\theta$ で定義し、崩壊予兆を把握するための指標として $\Delta\theta$ の増加速度の逆数 $\Delta t/\Delta\theta$ を用いている。以下に算定式を示す。

$$\Delta\theta (\%) = (\Delta s / L) \times 100 \quad (1) \quad L: \text{「表層ひずみ棒」の有効長さ, } \Delta s: \text{端部のたわみ量}$$

$$\Delta t / \Delta\theta (\text{min}/\%) = t / (\Delta\theta \times B) \quad (2) \quad t: \text{経過時間, } \Delta t/\Delta\theta: \text{せん断ひずみ増加速度の逆数, } B: \text{任意な係数}$$

なお、換算せん断ひずみ増分 $\Delta\theta$ は、「表層ひずみ棒」の設置方向により値の正負が変化するため、斜面の崩壊予兆は、せん断ひずみの増加速度の逆数の絶対値 $|\Delta t/\Delta\theta|$ で判別した。また、既往の研究²⁾より、土砂崩壊発生の危険警報判定閾値を $|\Delta t/\Delta\theta| \leq 100 (\text{min}/\%)$ と設定した。

換算せん断ひずみ増分 $\Delta\theta$ の測定結果を図-2に示す。警報器では、土砂崩壊発生の約600秒前に $\Delta\theta$ の値が増加し始め、その後も継続的に増加している。一方、モニタリングシステムでは、土砂崩壊発生の約200秒前に $\Delta\theta$ の値に増加が確認されたが、計測データには連続性が見られず、土砂崩壊の予兆がつかみにくい傾向であった。

せん断ひずみ増加速度の逆数 $|\Delta t/\Delta\theta|$ の測定結果を図-3に示す。警報器では、土砂崩壊発生前約600秒から $|\Delta t/\Delta\theta|$ の値の低下が見られ、その後、土砂崩壊発生前約350秒に危険警報判定閾値を下回った。また、モニタリングシステムの場合においても、同様に土砂崩壊発生前約350秒前に危険警報判定閾値を下回っており、警報器、モニタリングシステムともに、土砂崩壊の予兆が確認された。しかし一方で、モニタリングシステムの場合、計測値にばらつきがあり土砂崩壊の予兆を判断しにくいいため、今後、測定精度の改善が必要であると考えられる。

5. まとめ

今回、大型模型斜面に「表層ひずみ棒」を設置し、従来の警報器および本モニタリングシステムを用いて、計測状況の確認を行った。その結果、計測データをワイヤレスでリアルタイムに確認することができたほか、土砂崩壊危険判定システムの動作も確認することができた。今後、施工現場での斜面変形の進行具合や、土砂崩壊の危険性を把握する1つの手法として利用できると考えられる。しかし、本モニタリングシステムは警報器と比較して、測定値にばらつきがあり、判断が難しい場合があった。今後は、モニタリングシステムの測定精度の改善を行うとともに、降雨計などの他の機能を追加し、より幅広い用途での適用出来るよう検討を行う予定である。

謝辞: 本モニタリングシステムの開発に際し協力いただいた、(株)スマートマシン福田氏に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 永尾浩一, 松崎大介, 田坂玄, 上田真佐志, 玉手聡: 斜面ひずみ簡易モニタリング「表層ひずみ棒」による施工時斜面変状確認, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, VI-75, 2019.9.
- 2) 玉手聡, 堀智仁, 三國智温, 末政直晃: 施工時斜面における浅い部分のせん断ひずみ計測による崩壊監視の検討, 土木学会論文C (地圏工学), Vol.70, No.2, 213~225, 2014.