

表層の傾斜変位による斜面崩壊の警戒と早期警報

東京大学工学部 ○内村太郎・東畑郁生

中央開発株式会社 王 林・西江俊作

中国科学院 成都山地災害与環境研究所 Qiao Jian-Ping

1. はじめに

「民家の裏山のがけ」のような小規模斜面や、発展途上国の危険斜面では、力学的な補強工事のみならず、モニタリングによる早期警報も、コスト面で適用しがたい。警報機器の設置運用には専門技術者が必要で、手軽には利用できない。そこで、予算をかけられない斜面でも、だれでも簡単に使える低コストの簡易モニタリング装置を開発し、検証実験や現地計測を行ってきた(図1)¹⁾²⁾。計測は斜面表層の傾斜変位と土壌水分量の2点に絞り、データ転送も無線化し、1点30分程度で設置できるように簡略化した。

2. 堤防模型の浸水・降雨実験での検証

堤防模型(砂質土、 $G_s = 2.69$ 、縮固め密度 $\gamma_d = 1.365$ g/cm³、縮固め時の初期含水比 $w = 19.6$ %)の人工降雨実験において、法面の2箇所にセンサーユニットを設置し、傾斜と土壌水分を計測した(図2)³⁾。豪雨時の河川堤防を模擬するため、先に背面側に湛水してから、15mm/hの均一な雨を降らせた。降雨開始から約2時間後、法尻付近で崩壊が発生し、続いて斜面上部へ進行的に崩壊が広がった。図の縦軸は、傾斜角にセンサーユニットを埋込み深さ20cmを乗じて、地表面とユニット下端との水平相対変位量として表示している。法面下部の崩壊の30分以上前から、特にユニット2が大きく変化した。また、上部の崩壊の前にも、緩やかであるがユニット1の値が変化した。これらは、伸縮計などで変位の絶対値を測らなくても、斜面上の傾斜変位を監視することで、斜面崩壊の兆候を捉えられる可能性を示している。斜面安定解析で考えるようなすべり面に沿った完全な並行移動をすれば、傾斜変位は検出されないが、実際にそのような変位が起こるのは希だと考えられる。しかし、伸縮計が一方に伸び続けるのとは異なり、傾斜変位は前に倒れたり後ろに倒れたりという複雑なパターンを示す。また、同様の実験を複数回行ったところ、斜面崩壊前の傾斜変位のパターンは毎回異なり、どのような変化が見られたときに危険と判断するのか、判断基準の定め方に課題を残した。一方、土壌水分量の計測値は、降水開始から崩壊までの間に上昇したが、その絶対値はセンサーを埋める深さにも依存し、崩壊時の水分量の測定値は実験によって異なり、土壌水分量の絶対値だけに基づく早期警報は難しく思えた。

3. 傾斜変位に基づく早期警報の判断基準の検討

開発した測定装置を設置した斜面で、実際に崩壊や有害な変状が起きた事例のデータから、早期警報の判断基準を検討した。図3は、豪雨で崩壊した強風化花崗岩の斜面の復旧工事中に、再度の豪雨で、センサーユニット2の部分が局部的に崩壊した二次災害時の傾斜変位の記録である⁴⁾。上述の模型実験とは違って、傾斜センサーは、地中に1m程度打ち込

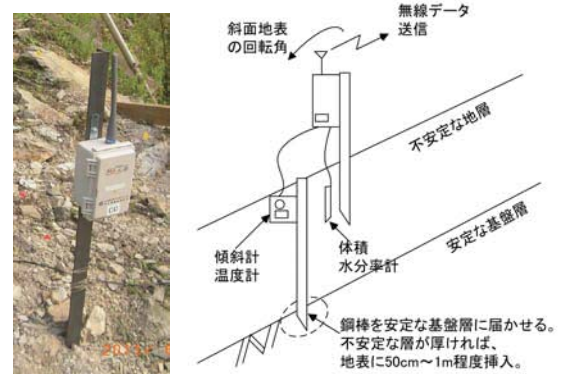


図1 傾斜変位による斜面崩壊予兆の検知

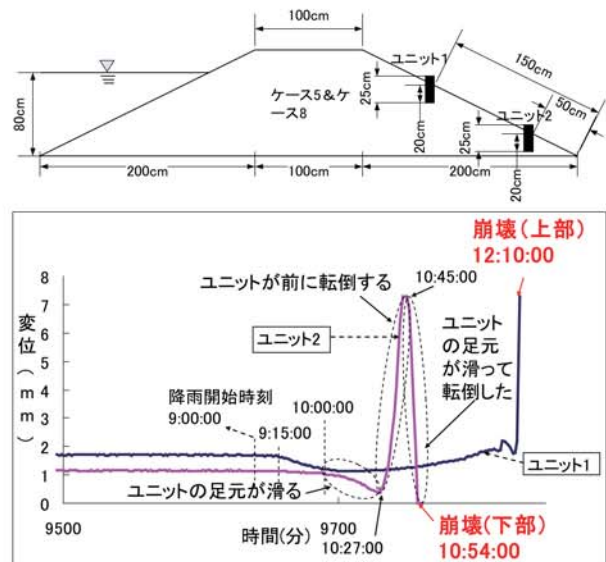


図2 堤体模型の降雨崩壊実験と傾斜変位の履歴
(地表と深さ20cmの水平相対変位に換算)

んだ杭に取り付けた。崩壊の1時間ほど前から、日あたり換算して 3.8° /日程度で傾斜変位した。また図4は、中国四川省の自然斜面の一部で、大量の人工降雨で崩壊を起こしたときの傾斜変位の記録である⁵⁾。浸透水が滞留しにくい砂礫を多く含む風化安山岩の斜面だったが、斜面下端に溝を掘って不安定にして大量の雨を降らせたところ、下部から順に進行的に崩壊していった。ここでも、崩壊箇所が傾斜センサーに近づくとき、3~5時間にわたって $3\sim 10^{\circ}$ /日程度の傾斜変位が続いた。これらより、斜面が崩壊する前には、継続的に $1\sim 10^{\circ}$ /日程度の速度の傾斜変位が生じると考えられる。

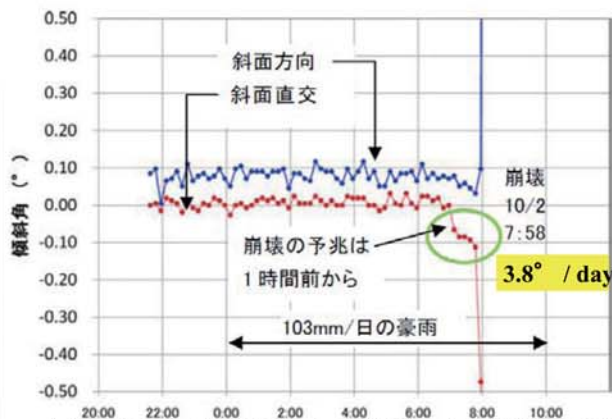


図3 強風化花崗岩斜面の崩壊時の傾斜変位の記録

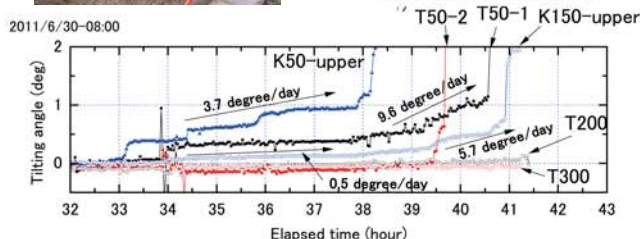
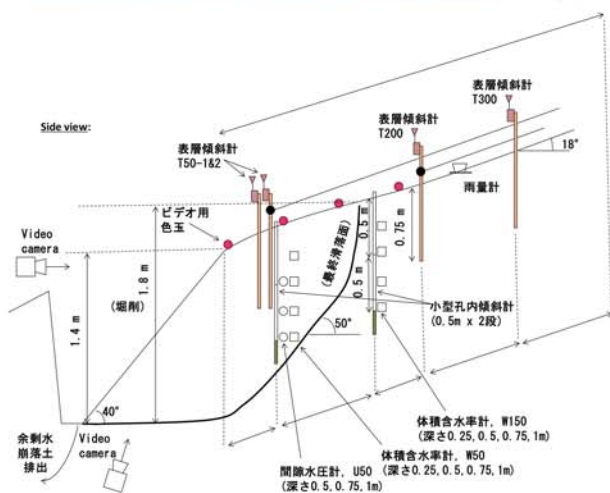


図4 人工降雨による崩壊実験での傾斜変位の記録

4. まとめ:

開発した崩壊検知センサーは、従来の大掛かりな監視システムに比べて低コストで簡単に素早く設置できる。斜面表層の傾斜変位を監視するだけでも、斜面崩壊の予兆をとらえることができる。その判断基準として、1m程度の深さの杭を打ち、その継続的な傾斜変位の速度を使える可能性がある。

謝辞：文部科学省の科学研究費補助金、国土交通省の建設技術研究開発助成制度、中国政府 (International Cooperate Project of Chinese Ministry of Science and Technology) の助成を頂いた。室内模型実験は (独) 土木研究所の協力でで行った。

参考文献:

- 1) 王 林・瀬古一郎・福田 穰・Carlos Jose・内村太郎・内田太郎・伊藤洋輔 (2009): 斜面変動のリアルタイムモニタリングシステムの開発と実証 その1, 第44回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1717-1718.
- 2) 瀬古一郎, 王林, 内村太郎, 田村圭司, 内田太郎, 伊藤洋輔: リアルタイム斜面監視システム構築のための斜面崩壊検知センサー開発, 平成22年度 (社) 砂防学会に研究発表会, 2009年, 広島
- 3) チン ランアン・内村太郎 (2006): 小規模斜面を対象とした豪雨時の斜面監視装置の開発, 第41回地盤工学研究発表会発表講演集, Vol. 2, pp. 1267-1268.
- 4) 田邊裕明・瀬古一郎・王寺秀介・王 林・山口弘志 (2011): 斜面崩壊検知センサーの有用性について (その1, 切土法面), 第46回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 203-204.
- 5) 岡田直人・Gizachew, G.・Seo, H.-K.・内村太郎・東畑郁生・王林・西江俊作・Qiao J.-P. (2012): 自然斜面の人工降雨による崩壊実験における崩壊前の傾斜変位, 第47回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1843-1844.