

斜面崩壊公開実験での遠隔レーザ測定による予知と警報の試み

株式会社 数理設計研究所 ○玉置晴朗 名倉裕

2003年11月12日、森林総合研究所は加波山で「斜面崩壊の公開実験」を実施した。当日崩壊は起きず再実験（14日）で崩壊した。我々はレーザレーダによる観測を実施し、斜面崩壊の数分前に警報を出す可能性を得た。

1. 従来型警報装置の限界

今まで崩壊警報機として多くの研究があり、斜面にセンサを設置して移動量を測定するものが実用になっている。しかし災害現場は不安定になった土砂が再崩壊を起こす可能性が高く運用できるものはなかった。

長距離レーザなら崩壊斜面に立ち入らずに救難用の警報機が実現できる。問題は実験例が乏しいことにあった。

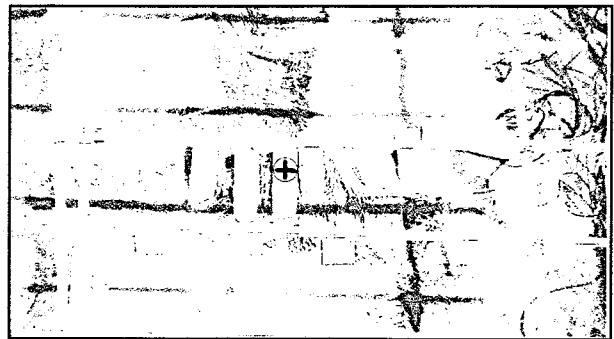
2. 実験の方法

【観測位置】土砂災害の実験では谷や川をはさんだ対岸高所から観測するのが安全である。崩壊斜面の正面、水平距離50m弱に測定器を設置し、観測者は高い位置に退避した。

【距離測定器】反射器なしで1200mを測定できるレーザレーダ、リーグルFG21(精度5cm、分解能1cm)を使いハンディPC(HP200LX)で記録した。このシステムは12V8AHのシールドバッテリーで20時間の連続運用ができる。

【観測目標】固定した1点観測なので一番変化が出る推定位置を斜面全長の下から30~50%地点に膨らみが観察されると予想した。

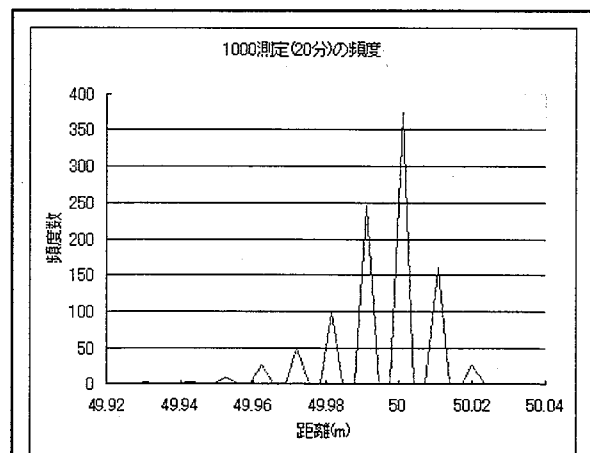
レーザレーダで狙う目標は、斜面の全面が（降雨により土砂表面が損なわれないように）ムシロで覆われているので間隙水圧計を設備するために埋設してあるパイプの地表露出部とした。



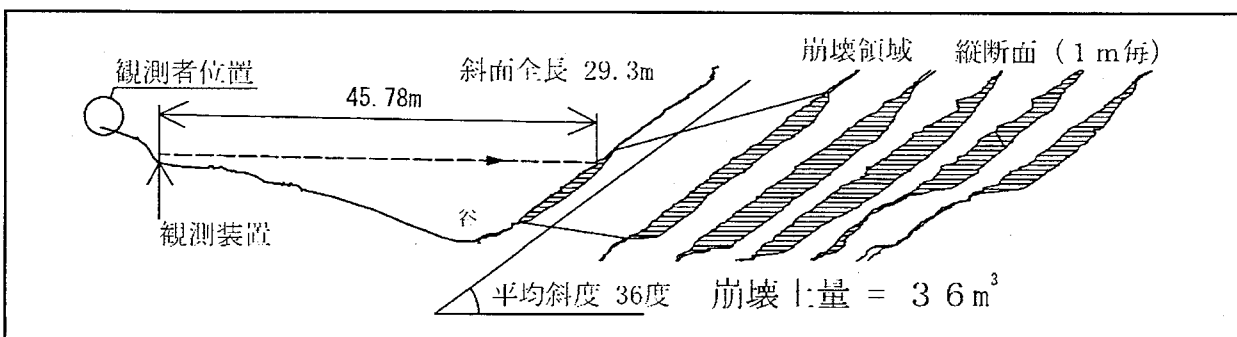
観測目標：斜面に埋設してあるパイプ

【測定速度】2測定/秒ほどであり、実験初期（斜面が動いていない）の1000測定によるヒストグラムでは近距離側に大き目の分散を示す。大きな雨滴による誤差の可能性もあるが測定器固有だろう。

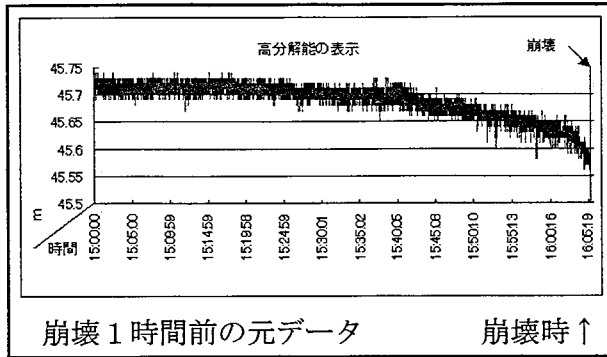
測定値は1cm単位で適当に分散するので30秒（50測定）間を平均化することによって10mm以下の分解能は得られる。しかし、まだまだ不満足な精度なので高度なデータ処理を施せば分解能があがるだろう。



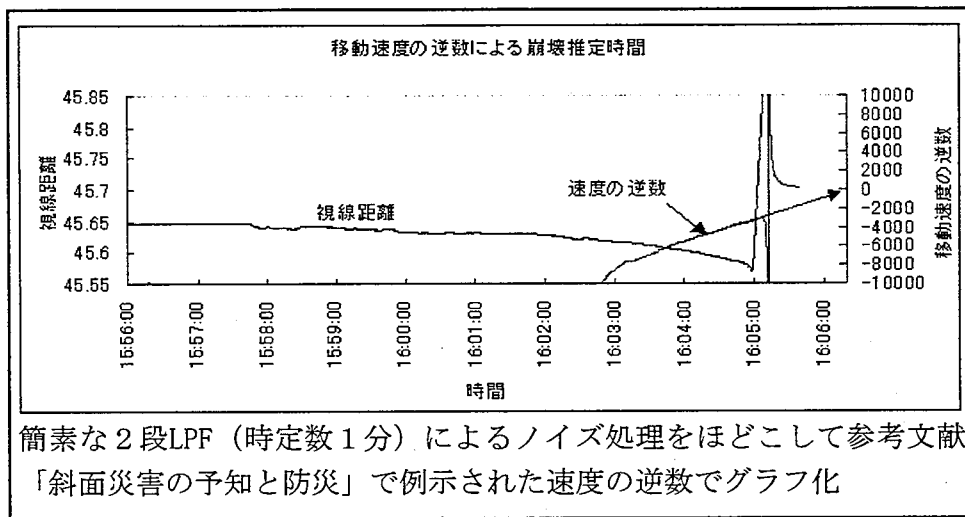
★安定時1000測定 of ヒストグラム
 平均値 50.0m、標準偏差 0.014m



3. 変動の分析



観測値には2cmほどの分散があるが、これを観察するだけでも崩壊が迫っていることが読み取れる。



◎距離値からの計算手順

1. 時定数1分の1次LPF2段で平滑化
2. 差分して速度、ついで逆数化

◎現象とシステム時間

・崩壊=16:05:00 ・推定=16:06:20

グラフは事後解析ではなく実時間で動作する警報機を想定したタイムチャートである。

2段LPFによるノイズ抑制のための応答時間の遅れがあり、速度の逆数の勾配を延長してゼロになる時刻が崩壊時刻に対して80秒遅れになった。良い信号処理が求められる。

4. 警報機

グラフの勾配を延長して警報をするにはいくつかの課題がある。

【設置と観測法】

斜面の移動や膨らみを観測するので、斜面正面付近から限られた範囲に観測機を設置する必要がある。選んだ目標が斜面を代表せず

表面を移動する浮石や材木であっても困る。崩壊地ではすべてが泥まみれなので、目標選定の手続きの研究が必要だ。しかし、地形3Dモデルからデータ処理すれば斜面に正対する必要性も無く、災害現場が見えるところに設置しておよその範囲を指定するだけで自動警報が可能になるだろう。

【データ処理の精度と速度】

数10m離れた所から反射板無しで1cm以下の斜面変形を知る必要がある。ノイズ抑制効果があり応答が速いデータ処理技術が必須となる。デジタル信号処理を利用した高度なLPFまたは時系列解析などの手法によって高速応答を目指したい。

速度の逆数の勾配だけではなく別のパラメータへの変換で崩壊推定する道もあるだろう。

5. まとめ

斜面に機器を設置せず、安全に離れた位置から観測して、少なくとも1分前に警報が出せる。

災害後の不安定化した斜面に立ち入らずに運用することができ、救援作業者に1分以上の余裕時間を与える警報機を実現できることが確実になった。

謝辞

我々はレーザレーダによる3D計測法を防災に役立てようと研究してきた。しかし、現実の災害現場での観測は難しく、実験や観測情報の集積にもどかしさを感じていた。

森林総合研究所の「斜面崩壊の公開実験」の落合さんを始めとする関係者、および消防研究所(新井場)さんの協力があって観測ができ感謝します。

参考文献: 「斜面災害の予知と防災」

国立防災科学技術センター

使用測定器 FG21 (レーザレーダ)

最大1200m、精度±50mm、分解能10mm