

花崗岩斜面の崩壊予測時の実務における具体的な手法の紹介

藤井基礎設計事務所 ○齊藤 龍太
藤井 俊逸

1. はじめに

崩壊が進行中の現場において、崩壊予測を実施することは課題であるが、実際にはデータのばらつき等の問題から困難である場合が多い。

本稿では、崩壊の進行中にリアルタイムで取得した伸縮計の観測データから、崩壊予測を実施するため、ノイズを除去するために実施した具体的な手法と、崩壊予測技術向上のための検討を紹介する。

本稿の内容はいわゆる小技であるが、小さな積み重ねが全体の技術向上にはかせないと考えている。そこで、なるべく試行過程が分かるように報告することにした。

現場の崩壊予測技術は発展途上であるが、本稿をヒントとして多くの方に崩壊予測に取り組んでいただき、実務上の技術向上に寄与したい。

2. 崩壊の概要

崩壊が発生した箇所は、島根県安来市内の花崗岩地域の吹付法面である。

崩壊区間では以前より吹付法面に亀裂が見られ、空洞化が進んでいた。崩壊面は表層が風化して土砂化が進行しており、滑落崖には軟岩が露出してした。

崩壊箇所の付近では層状の亀裂が発達しており、亀裂の組合せにより発生した岩盤崩壊である。

本地では、崩壊が2回発生した。1回目の崩壊後、拡大崩壊を監視するため、滑落崖背後に伸縮計を3箇所設置した。設置後の降雪時に、2箇所の伸縮計で、通常の警戒レベルまで達しないものの、一定速度の変位が観測されたため、崩壊の進行中に崩壊予測を試みた。

日中の動きは鈍ったが、深夜にかけて加速し、翌日未明に2回目の崩壊が発生した。

2回目の崩壊は想定より背後から発生したため、伸縮計の不動点も滑落してしまったが、観測データには崩壊に至るまでの加速過程が記録されていた。

3. 崩壊記録の整理方法

崩壊予測方法としては、簡便で実務で用いるのに適しているため、福岡¹⁾が示した速度の逆算法を用いた。これは、崩壊発生が近づくほど速度の逆数がx軸(時刻)に近接することを利用し、図上で崩壊時刻を予測する。

速度の逆算値を算出するには、表計算ソフトを用いた。伸縮計の変位データを計算シートにコピーし、変位の差分から変位速度、速度の逆算値をそれぞれ算出した。

図-1に、今回の崩壊記録を示す。図-1(a)は伸縮計の変位データ(観測値)、図-1(b)は変位速度、図-1(c)は変

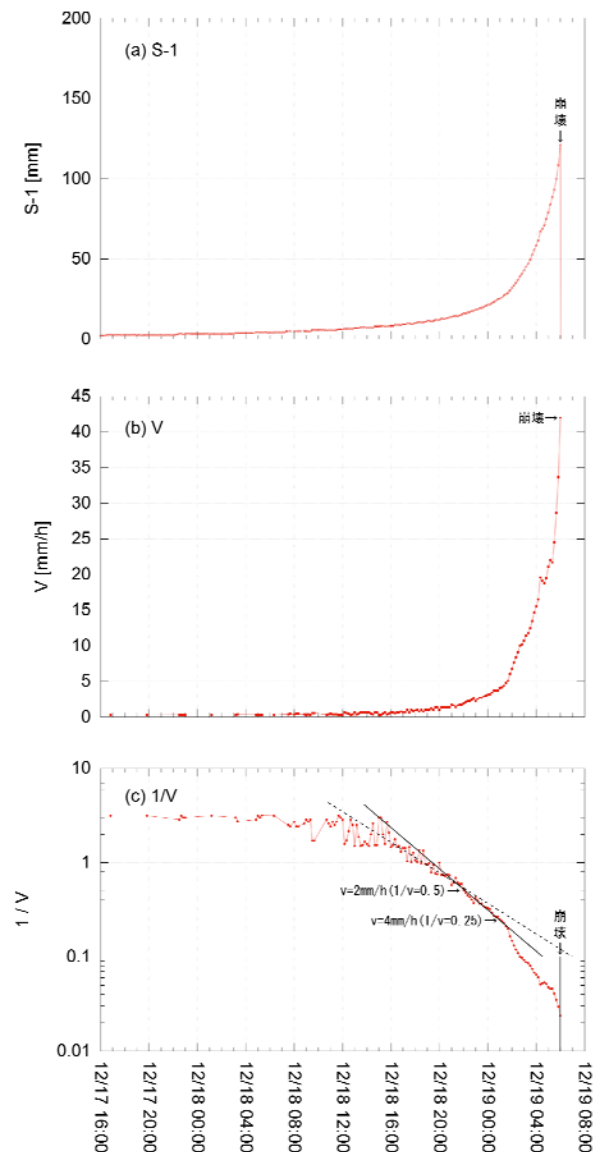


図-1 崩壊時の記録 (a)伸縮計の変位記録、(b)変位速度グラフ、(c)変位速度の逆数

位速度の逆数である。

実務で崩壊予測を行うときの最初の問題点は、観測データにノイズが多いことである。試行した結果、以下の方法がノイズを減らす方法として優れていた。

- 変位速度は、現時点の変位と1時間前の変位の差分で計算する。
- 変位速度の閾(しきい)値を決め、それ以下の変位速度の場合はグラフに表記しない。(今回は0.3mm/hを閾値とした)

(1) ノイズ除去: 変位速度の算出

変位速度を算出するための変位データは、インターネ

ットを經由し、10分間隔で取得した。

当初は現時点と10分前変位の差分を変位速度とするグラフを作成したが、ばらつきが大きくなった。そのため、a)の方法で作成したグラフに比べて、値が収束せず、作成したグラフが見にくくなった。

変位速度は、現在の変位データから、1時間前の変位データを単純に引き算し、差分で求める方法が優れているようである。

(2)ノイズ除去:変位速度の閾値

崩壊地の動き始めでは、変位速度を算出すると、変位量が少ないため”0”となる。あるいは、伸縮計センサー誤差範囲以上の変位量が観測されないため、変位速度が負の値(圧縮方向)となることが多い。

これらはノイズであり、全てを一律にグラフ化しようとするとう煩雑化して崩壊過程が見にくくなる。閾値を設けて変位速度のデータを抽出し、その値のみを使用してグラフ化した方がよい。

今回は、以下の手順で閾値を決めた。

- 1)動きが始まる以前を含む変位データを取得する。
- 2)動いていない期間の変位データのばらつきを見て、計測誤差を見極める。今回は $\pm 0.03\text{mm}$ 程度であった。
- 3)変位速度の閾値として、計測誤差の10倍である 0.3mm/h を採用した。
- 4)時刻と変位速度のグラフを作成し、プロット間隔が適当であるかを確認した。

変位速度の抽出は、表計算ソフト上でif関数を用いると便利である。具体的には、変位速度の列に下記のように入力すると、閾値以下の値の場合はセルが空白となる。

=IF((C8-C2)>J\$2,(C8-C2),”")

ここで、C列は10分間隔の変位データであり、J2セルには閾値である0.3を入れた。

閾値を低く設定するとノイズが多くなり、崩壊予測に必要なグラフが見にくくなる。一方、閾値を高く設定すると、グラフ上のプロット数が減るため、傾向が掴めなくなる。崩壊の進行に合わせた調整が必要である。

変位速度を適切に抽出できれば、崩壊予測に使用する変位速度の逆数グラフが見やすくなる(図-1(c))。

4. 崩壊予測線の引き方に伴う検討

変位速度の逆数グラフを作成し、プロットがx軸に近づくこと($1/v \rightarrow 0$)を利用して崩壊時刻を予想するが、実務ではこの作業が困難を極める。

崩壊は加速するため、実際の崩壊に近づくほど変位速度は増加する。そのため、速度の逆数を線形目盛でプロットしていくと、崩壊の直近ほど勾配が緩くなり、グラフが曲線を描く(図-2)。

これはy軸を対数目盛にすることで解決する(図-1(c))。しかし片対数グラフにすると、x軸が0とならな

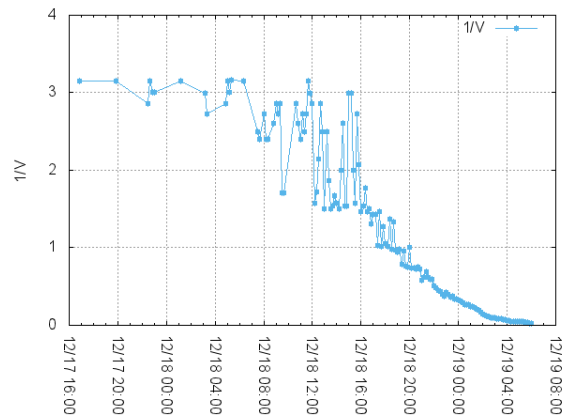


図-2 崩壊時の変位速度逆数の記録の参考図:図-1(c)と同じデータを線形目盛で表示したもの

いたため、崩壊予測時刻の指標を失ってしまう。

実務上では、これらのグラフを見ながら、経験的に手動で崩壊予測線を引き、時刻を予測するしかない。今回も崩壊時刻を正確に予測することは困難だったため、前日より関係者に連絡し、警戒態勢をとった。

そこで今後の技術向上のため、今回の崩壊を逆解析的にどのような予測線が最適だったかを検討した。

変位速度が 2mm/h に到達した時点で予測しようとする、速度の逆数値にノイズが大きい。この時点で引いた崩壊予測線を引いた場合、実際よりも遅れた時間(危険側)を予測することになる(図-1(c)内の破線)。

変位速度がさらに加速して 2mm/h 以上の段階となると、ノイズが消え、変位速度の逆数グラフの直線性が明瞭となった。 4mm/h ($\approx 100\text{mm/day}$)に達した時点で、 2mm/h 以降のデータを用いて崩壊予測線を引くと、実際の崩壊前(安全側)に、 $1/v=0.1$ の軸で交差した。 $1/v=0.1$ とは、変位速度 $v=10\text{mm/h}$ である。この速度は、滑落まで至らなくとも、一般的に小石がパラパラ落ちる等、危険な状態である。

今回の検討で得た $1/v=0.1$ のラインは、崩壊予測の目安として、今後も試用できる可能性がある。

今後、他事例でも検証していき、実務で使える崩壊予測技術を向上していきたい。

5. おわりに

今回の崩壊現場では、当初の崩壊直後に切土用防護柵が迅速に設置されたため、2度目の崩壊による二次被害はなかった。関係者の早急な対応が功を奏した事例として特筆しておきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 福岡輝旗: 表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法, 地すべり, Vol.22, No.2, pp.8-13, 1985