

土砂崩壊の簡易危険検出システムの検討

(独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 正会員 ○玉手 聡, 堀 智仁

1. はじめに

作業者が土砂に生き埋めとなる労働災害は後を絶たないが、この災害は主に二つの要因が重なって発生しているものと考えられる。一つは斜面が崩れて土砂が落下したことであるが、もう一つは作業者がその危険に気づかず逃げ遅れたことではないだろうか。本研究では、後者の問題を危険の「見える化」によって解決することを目的に崩壊の予兆を電氣的計測で捉える技術を検討している。特にこの検討では工事現場での利用が可能な簡便な技術の提供を重要テーマに位置づけ「土砂崩壊の簡易危険検出システム」を開発している。本論文ではその概要を紹介し、計測技術を用いた支援的な安全対策を提案する。

2. 表層ひずみ棒 (MPS) センサー

地すべり等の大規模な計測では伸縮計や傾斜計によるシステムが用いられるが、工事現場のような限られた場所と時間的制約のなかで簡単に使用できるものはないのが現状である。そこで本研究では地表面から浅い部分のせん断ひずみを計測する表層ひずみ棒センサー(以下、「MPS」と言う)と警報器で構成するシステムを検討している。図1にその外観を示す。MPSは短い棒の下端にスクリーを備えたものであり、回転させて斜面に貫入設置するタイプのセンサーである。大きさは全長0.6m、最小直径(曲げ検知部)10mm、最大直径(受圧体)100mmで重量約3.5Nの小型軽量のセンサーである。曲げ検知部にはひずみゲージを同一平面上で対向するように貼り付けており一方向の曲げに反応する。したがってMPSは棒の曲げ変形によってせん断ひずみの増加を捉えるセンサーであり、従来の変位計や傾斜計とは計測する変形量が異なる。スクリー部を固定端とした片持ち梁条件においてたわみ s を有効長 $L(=0.5\text{m})$ で除した値を式(1)のように換算せん断ひずみ $\theta(\%)$ と定義した。出力(μE)と θ の間には良好な直線関係が認められ、最大容量10%に対する定格出力は約6000 μE である。

$$\theta(\%) = \frac{s}{L} \times 100 \quad (1)$$

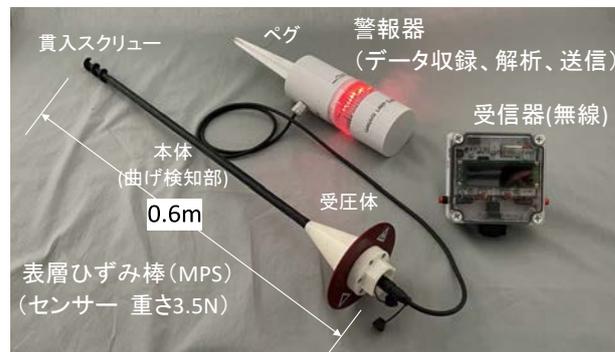
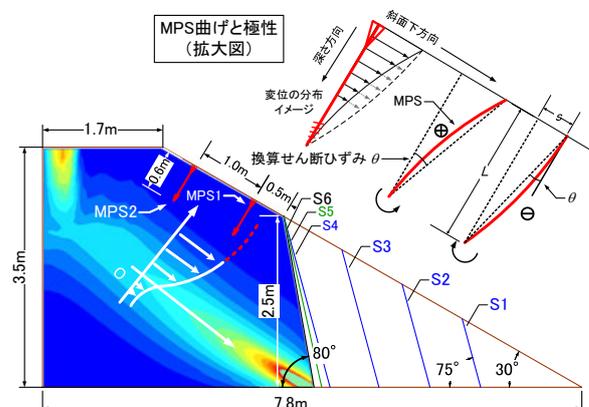


図1 土砂崩壊の簡易危険システムの構成

図2 MPSセンサーの設置と掘削時における変形イメージ¹⁾

3. 簡単計測のアイデア

図2は斜面に設置するMPSセンサーと掘削時の変形イメージを示す。斜面下端の法先から斜め上方にせん断ひずみが卓越する部分が見られる。この部分が推定すべり面であるがその任意な位置O点において垂直方向に分布する変位はO点付近、すなわちすべり面近くで変化が大きく、そこから離れるに従って増加は収束する。しかしながら、本研究ではすべり面から離れた斜面の浅い部分にも小さくせん断ひずみは分布すると仮定しMPSを開発した。その理由は、浅い部分を計測対象とすることでセンサー自身を小型化でき使用が容易となるためである。これまで構造と大きさ等について検討を重ね、棒の剛性は貫入性を損なわない範囲で柔軟なものとし、土の変形に追従するようにした。また貫入したMPSは土と強く密着させ、微小なせん断変形への応答性を高めた¹⁾。

キーワード 土砂崩壊, 労働災害, 安全監視, 簡易モニタリング, 支援的な安全対策

連絡先 〒204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6 (独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 TEL 042-424-4512(代)

4. 簡易危険判別のシステム化

MPS センサーには2つのタイプがあり一つは汎用のデータ収録装置に接続して使用するアナログタイプのセンサーである。もう一つは先の図1の警報システムに接続して使用する専用タイプであり内部のデータ通信はデジタル化している。後者である本システムでは作業者が危険に気づきにくいクリープ的な破壊現象の判別を試みている。具体的には θ が一定速度で増加する2次クリープ的な変化を第一段階の危険D1とし、 θ の加速度的な増加を第二段階のD2と定義した。MPSの計測データからD1とD2を判別する方法を図3に示す。この判別ではまず収録データから時刻 t_e と換算せん断ひずみ θ の回帰計算から式(2)のような近似式の係数 A と B を求める。

$$\theta = A \cdot t_e + B \quad (2)$$

ここで、 A と B は回帰計算から求まる定数であり、 A はせん断ひずみ θ の増加速度を意味する。後述する警報システムでは0.1 Hzで収録した6組のデータセットから A が自動計算され1分間の平均せん断ひずみ速度として10秒毎に更新する。D1は A の値が閾値よりも大きくなった時とした。D2は実測値と予測値の乖離の程度で判別した。その方法は図3の「現在」で求めた θ と t_e の近似式から10秒後と20秒後の θ を予測値として計算し内部メモリーに一旦格納する。次に、その時刻に到達した時に先の予測値と実測値の差を計算させ、ともに閾値を上回った場合にD2と判別するようにした。したがって、D2は10秒後と20秒後の2段階で「And」の判別をする。

先の図1は土砂崩壊の簡易危険システムの構成を示し危険判別の概要を表1に示す。MPS上端の防水コネクタに警報器のケーブルを接続すると電源がONとなりデータは自動的に収録される。そのデータは10秒毎に逐次回帰計算する。計算の結果、D1を検出すると警報器の黄色ランプが点灯(ゆっくり回転)し、ひずみに一定以上の速度が検知されたことを知らせる。D2では赤色ランプが点灯(早く回転)しアラームも鳴る。これはひずみが過去1分間の傾向を上回って増加する異常を知らせるものである。警報は同時に受信器にも送信される。受信器は最大5セットまで接続可能であり、接続中のMPS番号と警報種別が表示される。これまでの実験から崩壊約20秒前にD2警報を発した例をwebで紹介している²⁾。

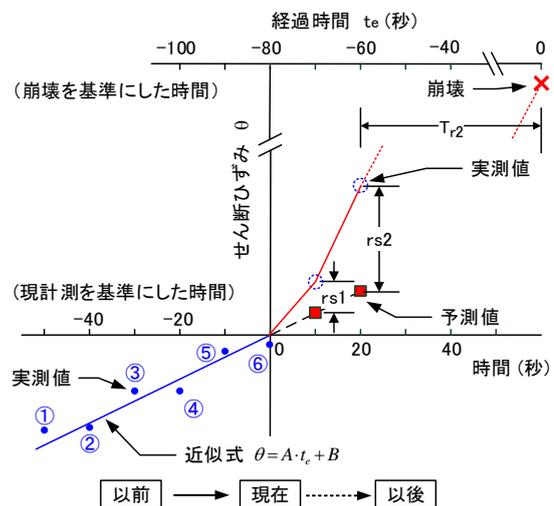


図3 崩壊の危険を判別する方法

表1 危険を判別するシステムの概要

電源	単1形乾電池 連続計測時間	1.5V (1本) 約20日間
データ収録	チャンネル数 サンプリング	1ch 0.1Hz
回帰計算	最小二乗法	$\theta_s = A \cdot t_e + B$
D1警報 黄色ライト点滅	判別の方法 $ A > 0.01(\%/min)$	1分間(6点)のデータから回帰計算したせん断ひずみの増加速度から判別
D2警報 赤色ライト+アラーム	判別の方法 $ rs1 > 2.0 \times 10^{-3} \%$ かつ $ rs2 > 4.0 \times 10^{-3} \%$	10秒後と20秒後の実測値と予測値の差から判別

5. まとめ

作業者が危険に気づかず逃げ遅れて土砂の生き埋めとなる労災事故は多数発生しており、人の注意力だけに依存する安全には限界があると考えられる。本研究では計測技術による支援的な安全対策として「土砂崩壊の簡易危険検出システム」を検討した。本システムは工事現場で簡単に利用可能な技術の提供を目的に新たにMPSセンサーと専用警報器によるシンプル構成を提案している。このシステムはデータ収録と解析の両方を現場で行って直接危険を「見える化」するものであり迅速な避難を可能にすることが期待される。今後は現場への普及を図るとともに、さらなる技術的改善を継続し高度化に努めたい。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 20K05019の助成を受けたものである。関係各位にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 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, 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol.70 No.2, pp.213-225, 2014.
- 2) 労働安全衛生総合研究所, YouTube JNIOOSH Channel, 土砂崩壊の兆候を「見える化」する新技術, <https://www.youtube.com/watch?v=-rG75ABzAr4&t=1s>