

斜面崩壊の簡易危険検出システムの開発

(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

作業者が土砂の生き埋めとなる事故は後を絶たないがその間接的原因に逃げ遅れがある。すなわち、崩壊予兆の見逃しと考えられる。本研究では目視で気づきにくい危険を検出するための計測システムについて検討した。特に中小規模の工事現場での利用を念頭に装置は簡易なものとし、計測対象は表面付近の(浅い部分の)せん断ひずみとした。この部分のひずみは従来微小として無視されていたものであるが、実験を行ったところ明確な増加が確認された。本論文では、開発したシステムの概要を紹介し、その性能を確かめるための実大規模の斜面崩壊実験について報告する。

2. 簡易センサーの開発 - 表層ひずみ棒(MPS)

図-1 は後述する実大斜面の掘削方法と FEM 解析して求めた斜面内のせん断ひずみ分布を示す。このモデルではせん断ひずみが卓越する「すべり面」は斜面表面から深さ約 2.5m の「深い部分」に発生している。一方、今回開発したセンサーの「表層ひずみ棒」(MPS)は図-2 のように短い棒状体であり、図-3 はその計測システムである。MPS は斜面に貫入しその曲げ変形によってせん断ひずみの増加を捉えようとするものであるが、その全長は 595mm と短い。したがって、通常すべり面には届かない。本研究では、図中に示した変位イメージのようにせん断ひずみがすべり面から離れた部分でも僅かに増加するものと考え、その測定方法を検討した。

MPS の最小直径(パイプ)は 10mm, 最大直径(受圧体)は 50mm である。重量は約 3.6N であり軽量かつ小型である。先端には長さ 80mm の貫入スクリューが備わり、検知部は直径(φ)10mm, 厚さ 1mm のステンレスパイプである。設置ではプレボーリングの必要がなく土を緩めない。むしろ、検知部と受圧体の貫入による土の押し広げ効果によって強く密着する。また、設置は 10 秒程度であり、簡便かつ高反応な計測が可能である。曲げ変形による出力の正負は先の図-1 に示した曲げ方向に対応する。データは、長さ L に対する端部のたわみ s の比で定義した換算せん断ひずみ $\alpha(\%)$ として整理する。

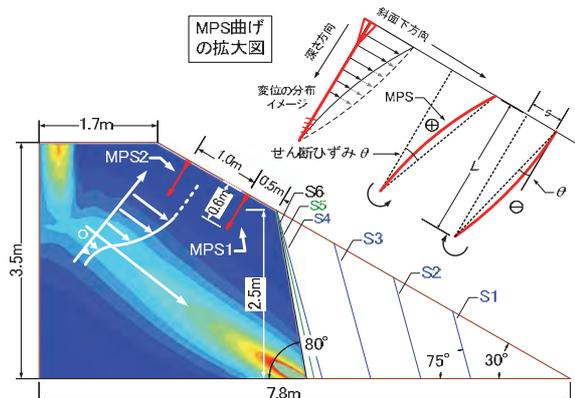


図-1 斜面内部の変位とせん断ひずみの分布イメージと実験での掘削の位置と MPS の設置位置

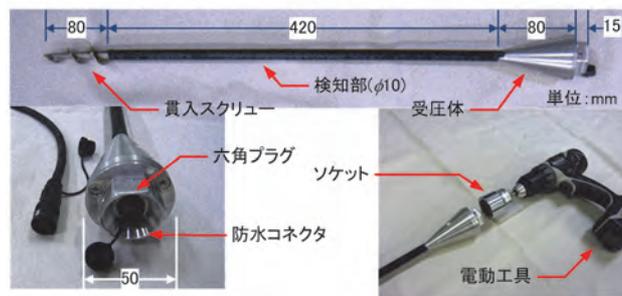


図-2 表層ひずみ棒(MPS)の外観



図-3 土砂崩壊の簡易危険検出システムの構成

3 実大規模斜面による崩壊実験

最適含水比に調整した関東ロームをドラグ・ショベル(以下、建設機械という)で図-4 のように盛土して模型斜面を作製した。土試料にはその自重のみが作用して締め固められており、正規圧密した軟らかな地山を再現した。

模型斜面は高さ 3.5m, 幅 4.0m に勾配 30 度に成形し、奥行き 1.7m の天端を与えた。擁壁と模型斜面の間には摩擦を軽減するためのポリエチレンシートを 3 面に配置した。斜面の表面には白色のパウダーで観察用

キーワード 斜面崩壊, モニタリング, 危険の見える化, 労働安全

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)



図-4 模型斜面を部分掘削する様子

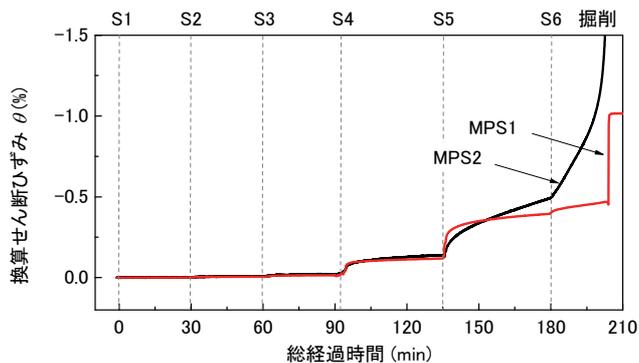


図-5 掘削から崩壊までの換算せん断ひずみの反応

のマーキングを施した。掘削は幅 4.0m の斜面のうち、向かって右側の幅 2.5m 部分に対して行い、右側壁部が対称面となるよう三次元的なモデル化をした。なお、斜面の安定限界は事前に行った遠心場掘削実験で確認しており、勾配 80 度の時に限界高さは 2.5m であった。実大実験ではこの限界条件を最終掘削に設定した。

4. 部分掘削による3次的な崩壊の再現と崩壊計測

掘削は図-1 に示したように S1 から S6 までの 6 段階で実施した。第一掘削(S1)は高さ 1.0m の位置から 75 度で掘削した。その後、S2 から S4 では 75 度の同一勾配で高さを 0.5m ずつ増加させて掘削した。S5 では S4 と同じ 2.5m の高さから勾配を少し増加させて一旦様子を確かめ、さらに S6 の最終掘削では 80 度に増加させた。各掘削の間には 30 分のインターバルを標準として設け、データは S1 から崩壊までの間、連続計測した。

掘削開始から崩壊に至るまでの反応を記録した 2 つの MPS の時系列データを図-5 に示す。MPS1 は右壁面から 1.5m の列上で、最終掘削(S6)の法肩から 0.5m 上方の位置に設置し、MPS2 は同列 1.5m 上方に設置した。両 MPS で計測した換算せん断ひずみ θ は S4 からマイナス側へ明確な増加を示し、その後 S6 まで小さく増加と収束を繰り返している。その値は約-0.5%と小さいが、共通して明確な反応が現れている。そして、S6 後には、 θ がともに収束することなく増加を続け、約 24

分後に崩壊に至っている。すなわち、掘削終了から崩壊までの間には 24 分の時間差が存在し、クリープ的に崩壊が再現されている。詳細は別報²⁾に譲るが本システム(図-3)では θ の増加速度を逐次計算し、その値が閾値を超えると危険を D1(黄色ランプ)と D2(赤ランプ)の 2 段階で警報するようプログラムされている。また、その警報は受信器にも伝達できる。

S6 以前には上段の MPS2 と下段の MPS1 の反応はほぼ一致していたが、S6 以降は MPS2 の増加が大きい。すなわち、位置によって MPS の反応は異なっている。しかしながら、この時の模様を撮影したビデオ²⁾を確認したが崩壊前の斜面に亀裂等を発見することはできなかった。これは目視による地山点検の限界を示唆するものであり危険の判断を主観に委ねては被災リスクの低減が難しいことを意味している。そして、MPS は簡易なセンサーであるが崩壊前の微小な変化を明確に捉え、危険を察知できることが確かめられた。

5. まとめ

安衛則等に記されている「点検」や危険の「把握」を人の感覚に頼ることに限界がある。本研究では「目視」による点検や把握での「見逃し」の問題に着目し、計測技術の活用を検討した。特に、工事現場での利用を念頭に簡易なシステムとすることとした。

本システムの特徴は計測箇所を斜面の「浅い部分のせん断ひずみ」とする新たなセンサーを開発したことと、そのひずみ速度からクリープ的挙動を検出すると警報を発するシステム、すなわち解析と警報の機能を内蔵するシステムを開発したことである。

以上のように、本システムは危険を「見える化」するものであり、人による監視を「補助」することで生き埋め事故の危険を低減することが期待される。本技術は平成 26 年に特許査定³⁾され、現在 2 モデルが市販されている⁴⁾。今後も研究を継続して性能の向上を図るとともに適用限界などについても調査する予定である。

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, Vol.70, No.2, pp.213-225, 2014. 2)玉手聡: 貫入型パイプひずみ計, 特許公報, P4942348, pp.1-11, 2012. 3) 労働安全衛生総合研究所: 土砂崩壊の実大シミュレーション実験, <http://www.jniosh.go.jp/group/con-struction/simulation/simulation.html>. 4) (株)丸東製作所: 斜面監視の表層ひずみ棒と警報器, http://www.maruto-group.co.jp/menu_2/Soil/.