

### 表層に亀裂を有する実大斜面の切土掘削による崩壊実験

(独)労働安全衛生総合研究所 正会員 ○玉手 聡, 堀 智仁, 伊藤和也, 吉川直孝  
東京都市大学 学生会員 三國智温, 正会員 末政直晃, 片田敏行

#### 1. はじめに

崩壊した斜面の復旧工事では時にその緊急性から十分な事前調査が難しい場合もあり, そのような作業での安全対策は急務な課題となっている. 本研究では一次崩壊した斜面に潜在する二次崩壊の危険に着目し, 特に地震で劣化した斜面での工事の危険について実験的な調査を行った. この実験では実大規模の模型斜面に人工的な亀裂を与えて劣化を再現し, これを切土掘削することによって土砂除去の復旧工事を模擬した. 本論文では本実験の概要を紹介するとともに, その崩壊挙動に見られた危険と安全監視に対する計測的手法の適用について報告する.

#### 2. 大型模型斜面の切土掘削実験

1) 模型斜面の作製: 土試料には最適含水比に調整した関東ロームを用い, これを建設機械で盛土した. 図1は模型斜面の概要を示す. 模型斜面は高さ4mのコの字型の擁壁内に作製し, 擁壁と模型斜面の間にはブルーシートを配置して摩擦を軽減した. 盛土は段階的に行い, 層厚0.25mで試料を撒きだし, これを5名で約20分間踏固めた. この踏固めは30kPaの締固め圧力に相当するものである. この作業を繰り返して高さ3.5mの盛土を築造した. 盛土は始めに背面側の基盤盛土を築造し, ここで斜面表面にナイロンロープを図1(c)のように0.5m間隔で両側の擁壁に沿わせるように配置した. これは後述する亀裂を人工的に模擬するためのものである. 次に表層盛土は基盤盛土に腹付けするように撒きだして, 同様に踏み固めた. 基盤盛土と表層盛土の斜面角度はともに45度であり, 両盛土斜面の間の水平距離は2mであった. 表層盛土の築造後に, 先に埋設したナイロンロープの一端を擁壁に固定し, その他端を天井クレーンでゆっくりと引き上げた. これがワイヤーソーのように作用して表層盛土に亀裂を模擬した. 亀裂の角

度は20度, 設置間隔は0.5m, 亀裂の総数は10段とした.

2) 切土掘削による斜面の不安定化: 法先から模型斜面を段階的に切土掘削して不安定化させた. 掘削は図1(b)に示すS1からS6までの6段階で行った. S1は高さが1mの位置から角度75度で掘削した. S2, S3及びS5はその高さがそれぞれ0.5mずつ上方の位置から同一勾配で掘削した. S4とS6はそれぞれS3とS5の位置から角度80度に増加させて掘削した. 各掘削の終了後には30分のインターバルを設けて経過も観察した.

3) 計測: 掘削に伴う斜面の変化を記録するために変位計, 傾斜計及び当研究所開発したひずみ棒<sup>1),2)</sup>の3種類のセンサーを図2のように配置した. 変位計(DTP)は斜面中央列(CL), 傾斜計(ASG)は左列(L05), ひずみ棒(MPS)は右列(R10)に設置し, 法肩からの距離は0.3mで等しく設定した. 変位はDTP(固定点)とプラ杭(変位点)をワイヤーで結んで計測したが, そのワイヤーにはマグネットリミットを配置し, 変位が限界に達した場合には接続を分離させた.

#### 3. 崩壊挙動の解析

1) 実験経過と計測反応: 図4は各センサーの反応を時刻歴で示す. 切土掘削は13:00から開始し最終掘削(S6)は15:53

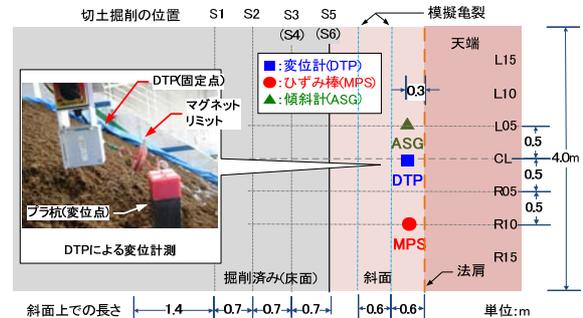
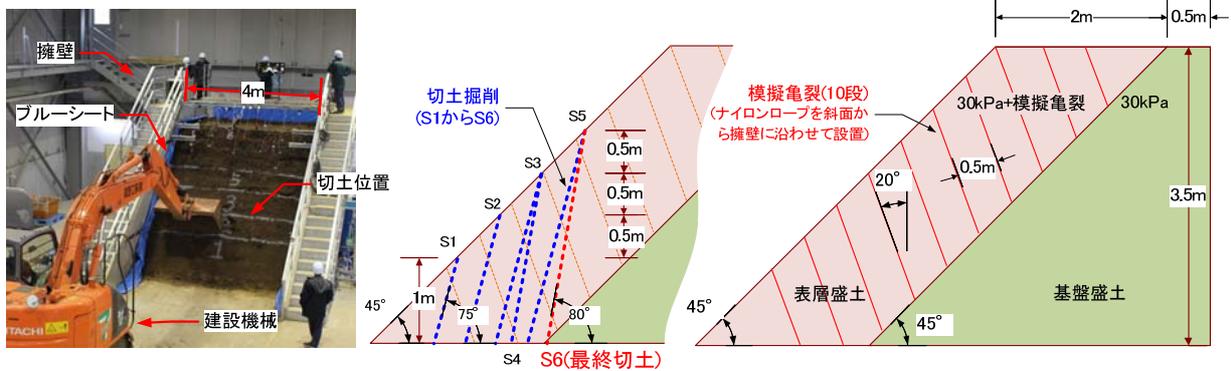


図2 最終掘削(S6)後の平面とセンサー配置



(a) 切土掘削前の状態

(b) 切土掘削の位置

(c) 模擬亀裂の位置

図1 模型斜面の概要

キーワード: 斜面崩壊, 実大実験, 表層亀裂, モニタリング, せん断ひずみ  
連絡先: 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6 (独)労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ TEL 042-491-4512

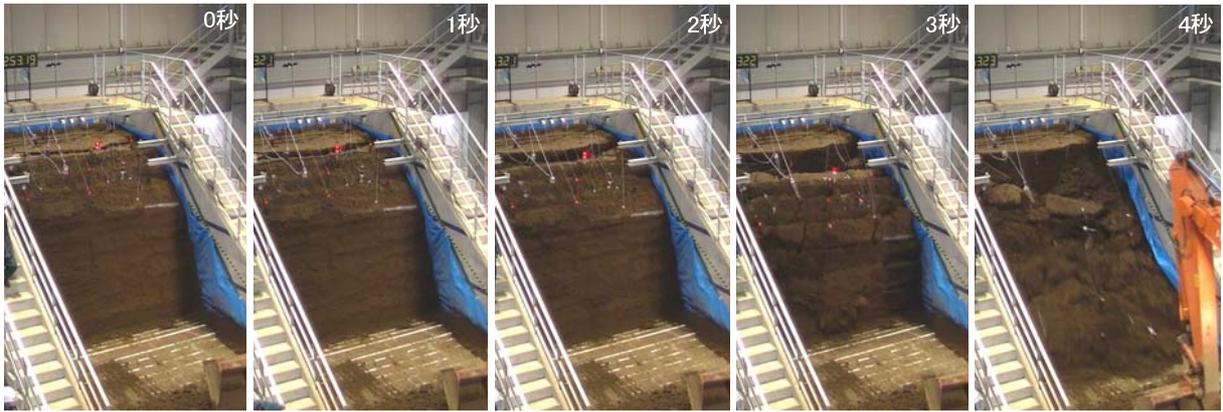


図3 崩壊時の連続写真(15:53:19から15:53:23まで)

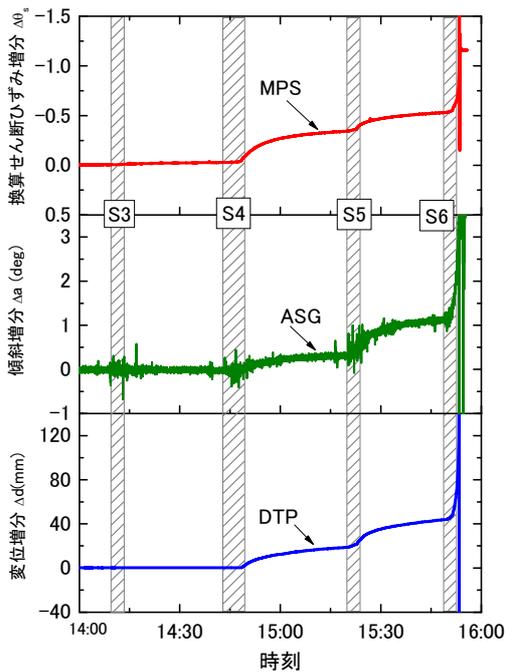


図4 崩壊に至るまでの各センサーの応答比較

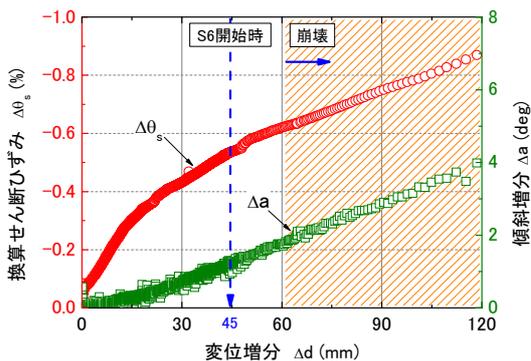


図5 変位増分に対する換算せん断ひずみと傾斜増分の応答

に終了した。崩壊はS6終了から約1分後に発生した。MPSによる換算せん断ひずみ( $\Delta\theta_s$ )はS4からマイナス側<sup>3)</sup>に増加を示し、その後S5までは増加と収束を繰り返した。しかし、S6掘削では計測値が増加を続け、掘削の終了から約1分後に崩壊した。ASGによる傾斜増分( $\Delta a$ )とDTPによる変位増分( $\Delta d$ )もMPSとほぼ同様な反応が計測されている。なお $\Delta a$ の計測値には建設機械の掘削作業に伴う振動が混入し、値は細かく変動する影響が見られた。

図3は崩壊時の連続写真を示す。斜面はトップリング的に崩壊し、その様子は急激であった。天端側からの観察では法肩部の亀裂が拡大する様子を確認できたが、斜面下側からの目視ではほとんど変化が感じられなかった。そして同じように気づかない問題は現場でも起こりうるように思われた。また崩壊に伴う土砂の落下は衝撃的であり、直撃を受けたり埋没した場合には命の危険があるように感じられた。表層すべり的な崩壊が再現された別の実験では、予兆がこれよりも小さくその発生は突然であった<sup>1)</sup>ことから、崩壊のタイプによって予兆は異なることがわかった。

図5は $\Delta d$ に対する $\Delta\theta_s$ と $\Delta a$ の関係を示す。 $\Delta\theta_s$ と $\Delta a$ は $\Delta d$ に対して共に増加傾向を示す。グラフは斜面が崩壊し始めた $\Delta d > 60\text{mm}$ において両曲線の傾きが等しくなるように表示スケールを調整している。 $\Delta d < 30\text{mm}$ では $\Delta\theta_s$ 曲線の方が接線勾配は大きくなっており、崩壊前の小さな変位増加に対する反応はASGよりもMPSの方が敏感なことがわかった。

#### 4. まとめ

本研究では地震で劣化した斜面における工事の危険に着目し、実大規模斜面による掘削実験を行った。模型斜面に人工的な亀裂を与えて劣化を再現し、これを掘削して土砂撤去の復旧工事を模擬した。崩壊は亀裂からトップリング的に再現され、その急激さと衝撃から亀裂を生じた斜面の危険が再確認された。そしてそのような現場での作業には注意が必要なこともわかった。変位計、傾斜計、ひずみ棒の3種類のセンサーを設置して掘削に伴う反応を計測したところ、徐々に不安定化する斜面の様子が記録された。ひずみ棒は簡易な計測手法であるが既往のセンサーと同等に不安定化を捉え、安全監視にも有効なことがわかった。謝辞：卒業研究として本実験に取り組みそれの実施に多大な協力を頂いた元東京都市大学大学院生の野田昌志君と元学部生の山本希君に深く感謝申し上げます。

参考文献：1)玉手聡，堀智仁，伊藤和也，吉川直孝：実大規模実験による斜面の浅いせん断ひずみと崩壊予兆の解析，第47回地盤工学研究発表会論文集，CD-ROM，2012。2)玉手聡，伊藤和也，Surendara B Tamrakar：表層ひずみ計測による施工時斜面の崩壊監視に関する実験的研究，土木学会論文集C，Vol.65 No.1，1-18，2009。3)三國智温，末政直晃，片田敏行，玉手聡，堀智仁：震災後斜面における土砂撤去の実験的モデル化と崩壊計測，第47回地盤工学研究発表会論文集，CD-ROM，2012。