

1 はじめに

土砂災害防止法により指定される土砂災害警戒区域や、道路防災点検における危険度ランクの高い斜面の対策などでは、斜面の動態計測により崩壊発生を検知する技術が要求される。また、切土掘削工事の安全対策においても斜面の動態計測が行われることがあり、斜面の動態計測に基づく崩壊発生予測は重要である。従来の崩壊危険斜面の監視には、伸縮計等により地表面変位を計測し、クリープ式等²⁻³⁾により崩壊発生を把握することが行われ、多くの実績が挙げられる。地表面方向の変位は斜面のせん断変形に由来するが、崩壊のタイプによっては地表面方向の変位が小さい場合がある。例えば直立した溝や土層深に比べて斜面長の短い斜面では、鉛直方向の変位が卓越することがあり、そのような場合には従前の計測では不十分となる。斜面の動態計測において、斜面のせん断変形だけではなく、圧縮や膨張も計測出来れば、様々な斜面の変形モードに対応できると考えられる。

本研究は、切土掘削に伴う地盤内部のせん断ひずみ、鉛直方向の圧縮/膨張ひずみを、深さ方向に計測するために、遠心場切土掘削実験を行い、掘削に伴う地盤内部のせん断ひずみと圧縮ひずみの関係を計測機器と画像による PIV 解析により検討した。

2 実験概要

実験は、労働安全衛生総合研究所所有の遠心模型実験装置を使用した⁴⁾。実験土槽は幅 450mm×高さ 270mm×奥行き 150mm のアルミ製土槽であり、土槽の側面は強化ガラス面によって内部の様子を観察できる。作製した模型地盤の形状は、高さ 125mm、勾配 60 度の斜面であり、試料は利根川水系の川砂 ($\rho_s=2.762\text{g/cm}^3$, 最大粒径 9.5mm, $U_c=2.98$) を使用した。この川砂を初期含水比 9.0% となるように調整し、伊藤らが用いた方法⁵⁾と同様に地盤内の鉛直変位と傾斜を把握するための層別沈下計のロッドと加速度計を埋設するために地盤を 8 層に分割し、それぞれ側方からの静的締固めによって作製した。湿潤単位体積重量は 1.58g/cm^3 (締固め度 $D_c=88$) とした。模型地盤は法面高さ 2.5m の斜面を 1/20 縮尺モデルとして作製した。

本実験では遠心力载荷時に地盤を掘削することが可能な遠心場掘削シミュレーター⁶⁾を使用した。掘削除荷過程は、法面にあらかじめ設置した乾燥砂 (カウンターウェイト) を掘削シミュレーターによって段階的に除去することでこれを再現した。1 回の切り取り高さは 12.5mm (実地盤換算で 0.25m) とし、掘削が完了した段階で約 2 分間放置した。これを崩壊するまで繰り返し、法面高さ 87.5mm (実地盤換算で 1.75m) となるまで掘削を行った。計測項目としては図-1 に示す位置に半導体ひずみゲージ型の加速度計 (□) を埋設し、アルミロッドを介して法肩部に接触型変位計 (△)、法肩部の水平変位をレーザ変位計によって計測している。なお、地盤内に埋設したロッドは 2 重管構造としており摩擦を除去することで一般的な層別沈下計と同じ構造である。また、土槽正面には

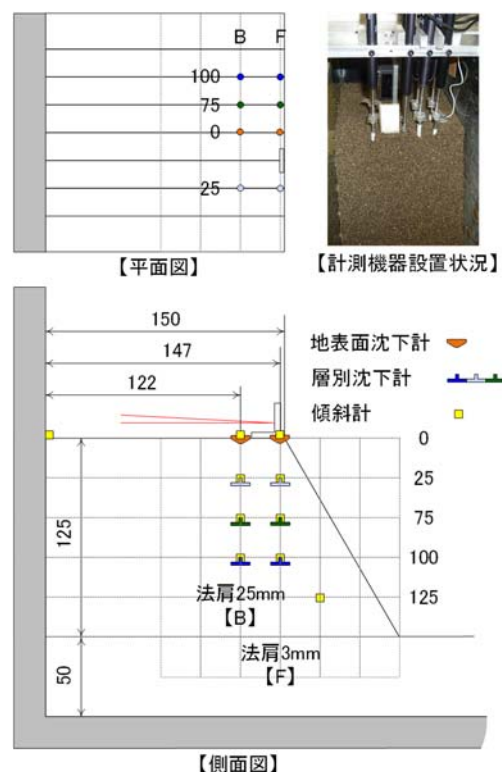


図-1 計測機器設置位置

PIV 解析用の HDV ビデオカメラ (1280pixel×720 pixel) を設置して、掘削過程の地盤変形を撮影している。

3 実験結果と考察

以下の結果は実地盤換算で示す。図-2 に法肩部に設置した水平変位と鉛直変位の経時変化を示す。ここで、凡例について説明すると 0 や 25.0 のような数字は深度を、F や B のような英字は法肩からの距離を示している (F: 法肩から 3mm, B: 法肩から 25mm)。各掘削段階によって沈下量が増加し、最終的に掘削高さ 1.75m にて崩壊した。図-3 は水平方向せん断ひずみと鉛直方向鉛直ひずみの経時変化を示す。ここで、水平方向せん断ひずみは、加速度計から傾斜角度を算定してせん断ひずみを算出しており、鉛直方向鉛直ひずみは、層別沈下計での各沈下量の差分と設置位置から鉛直ひずみを算出している。ここでの凡例は各計測機器の差分を取っていることから中心値を記載している。こちらも、地表面の変形挙動と同様に掘削毎に変化が生じているが、特に掘削高さ 1.25m から大きな圧縮方向の鉛直ひずみが生じていることが分かる。

図-4 は、掘削による各掘削高さでの写真 (左側) と PIV 画像解析⁷⁾による最大せん断ひずみ分布 (右側) を示したものである。掘削高さ 1.50m 付近から地盤内部に最大せん断ひずみが卓越し始め、直線すべりのような形状を呈していることが確認できる。

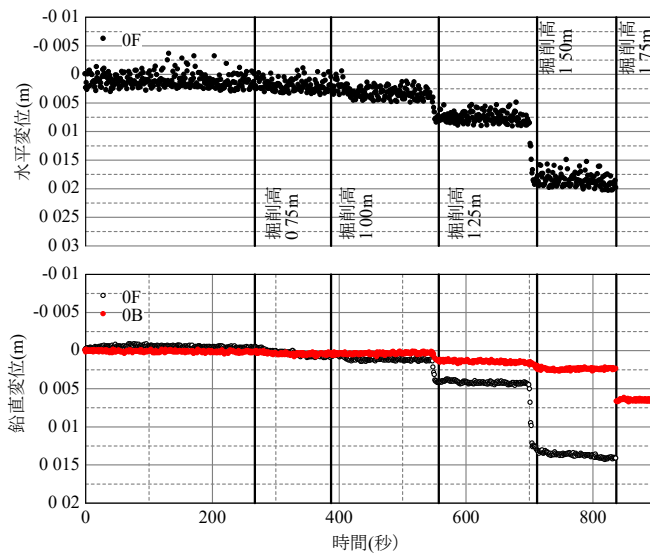


図-2 地表面変形の経時変化

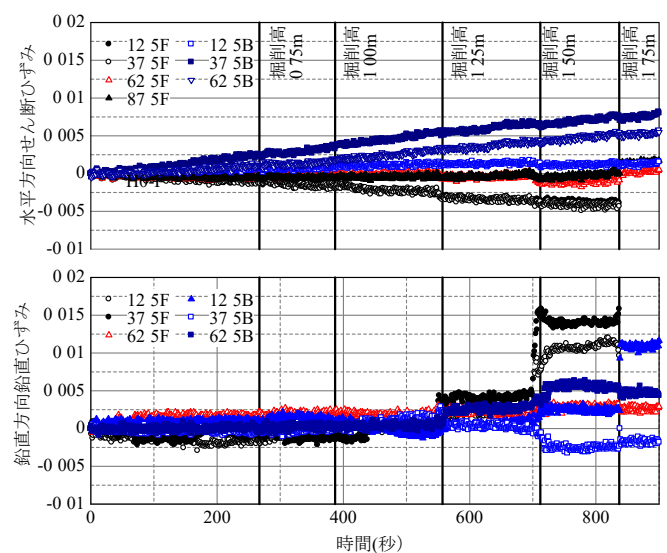


図-3 せん断ひずみと鉛直ひずみの経時変化

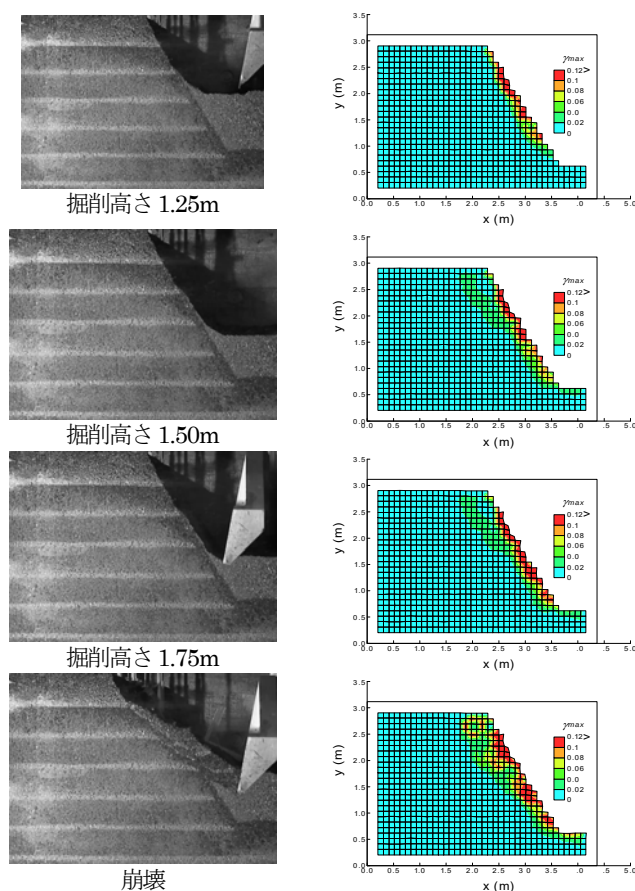


図-4 最大せん断ひずみ分布の推移

図-5 は変位計や加速度計から算出した水平方向せん断ひずみと鉛直方向鉛直ひずみの関係を示したものである。笹原・伊藤は崩壊に至らない比較的小さい領域にて同様の実験を行い、切土掘削による斜面変形は水平方向せん断ひずみと鉛直方向鉛直ひずみの間には線形関係が成立することが確認している。今回の実験結果では、法肩部に最も近すべり土塊内にある 12.5F と 37.5F の水平方向せん断ひずみと鉛直方向鉛直ひずみの関係は掘削高さ 1.50m までとは同様に線形的であったが、それ以降は鉛直ひずみが卓越するような挙動を呈していることが確認された。

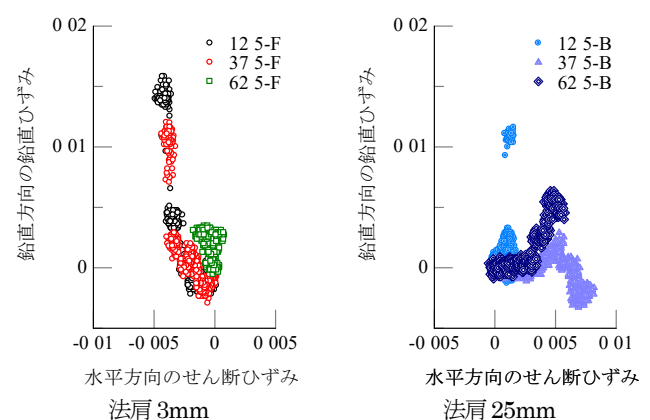


図-5 各箇所のせん断ひずみ～鉛直ひずみ関係

今後は計測データから崩壊土塊範囲を推定する方法などについて検討したい。

謝辞

本研究は、科学研究費助成事業（挑戦的萌芽研究）課題 ID16689560／「多次元方向の変位計測に基づく斜面崩壊発生予測」研究代表者：笹原克夫）の成果の一部である。

参考文献

- 1) 例えば 切土法面の調査・設計から施工まで編集委員会編：地盤工学・実務シリーズ 5 切土法面の調査・設計から施工まで、地盤工学会、1998
- 2) 斎藤：土質工学におけるレオロジー 7.2 斜面崩壊予測、土と基礎、Vol. 29, No. 5, pp. 77-82, 1981
- 3) 福岡：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
- 4) 伊藤ら：新遠心模型実験装置（NIIS-Mark II Centrifuge）の開発、産業安全研究所研究報告、NIIS-RR-2005（2006）、pp.57-74, 2006.
- 5) 伊藤ら：遠心場掘削シミュレーターを使用した簡易な斜面補強工法の斜面安定効果に関する遠心模型実験、第 47 回地盤工学研究発表会、pp.779-780, 2012.
- 6) 例えば、吉川：画像解析による局所変形計測法を用いた砂質土の浅い基礎の支持力発現機構に関する研究、山口大学博士論文、pp.27-52, 2007.
- 7) 笹原・伊藤：土のダイレイタンシーに着目した切土施工時の斜面安定度評価の試み、第 52 回日本地すべり学会研究発表会、pp.118-119, 2013.