

三次元変位計測システムの開発と斜面崩壊予測への適用 Development of 3D Displacement Measuring System and its Application to the Prediction of Landslides

近藤 秀一*・青野 智則*・小林 晃*・青山 咸康*
Shuichi KONDO, Tomonori AONO, Akira KOBAYASHI and Shigeyasu AOYAMA

1. はじめに

豊浜トンネル崩落事故以来、全国で斜面崩壊対策が行われている。本研究では崩壊予測手法として、デジタルカメラを用いた三次元変位計測システムを開発し、それを用いてダム貯水池周辺の地すべりをモデルとした模型実験を行い、表面形状と破壊プロセスについて考察した。

2. 三次元変位計測システム

三次元変位計測システムは、二台のカメラで同一の対象を撮影し、各々の写真への投影位置の違いを利用する写真測量の原理を用いている。カメラと写真と対象との幾何学的関係から得られる次の共線条件式から対象の三次元座標を求める。¹⁾

$$x_r = -c \frac{a_{11}(X_R - X_0) + a_{12}(Y_R - Y_0) + a_{13}(Z_R - Z_0)}{a_{31}(X_R - X_0) + a_{32}(Y_R - Y_0) + a_{33}(Z_R - Z_0)} \quad (1)$$

$$y_r = -c \frac{a_{21}(X_R - X_0) + a_{22}(Y_R - Y_0) + a_{23}(Z_R - Z_0)}{a_{31}(X_R - X_0) + a_{32}(Y_R - Y_0) + a_{33}(Z_R - Z_0)} \quad (2)$$

(x_r, y_r) : 写真上の座標, (X_R, Y_R, Z_R) : 対象の三次元座標, (X_0, Y_0, Z_0) : カメラの中心の座標, a_{ij} : カメラの回転行列, c : 焦点距離である。この式についてテーラー展開を用いて線形化を行い、最小二乗法によって三次元座標の計算を行う。^{2), 3)}

3. 室内地すべり実験

3.1 実験概要

Fig.1に実験装置の概略を示す。長さ75.5cm, 幅53.0cm, 高さ50.0cmの容器内に傾斜角約30度の斜面を作り、上流側の水位を上げ斜面内部の地下水位を上昇させて崩壊させる。材料の主な物性値をTable1に示す。斜面上約30cm四方にマップピンを差込み、その動きを上空から二台のカメラで撮影する。時刻毎のピンの三次元座標から斜面変化を追う。カメラの記録画素数は約10万画素である。キャリブレーションの結果、今回はxy方向0.27mm, z方向1.8mmの解像度を得た。

3.2 斜面の面積ひずみ

斜面を観察するにあたって、面積ひずみ E_s (%) を(3)式で定義する。

$$E_s = \frac{S_t - S_0}{S_0} \times 100 \quad (3)$$

Table1 properties of material

乾燥密度	1.50 g/cm ³
透水係数	0.029 cm/s
せん断抵抗角 (ϕ')	31.8 °
粘着力 (c')	24 kPa

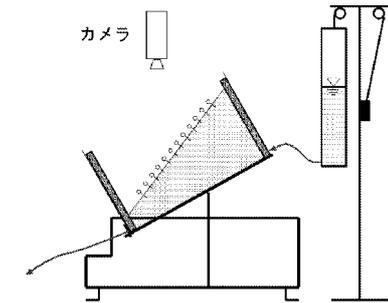


Fig.1 Schematic view of test facilities

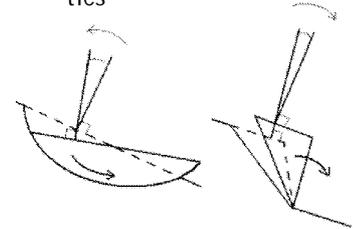


Fig.2 Circular slip and Toppling

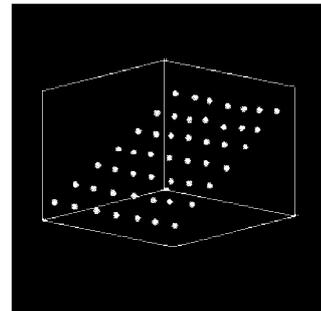


Fig.3 3D arrangement of pins on a slope

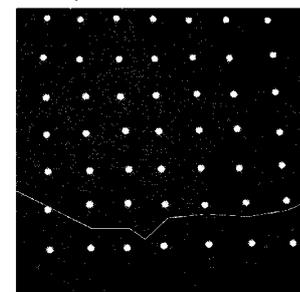


Fig.4 Picture of a crack position

*京都大学大学院農学研究科 : Graduate School of Agricultural Science, Kyoto Univ.)

S_0 : 最初の三角形の面積, S_t : 時刻 t の三角形の面積である。崩壊前後の面積ひずみ分布図を右に示す。図では上が下流, 下が上流で, 斜面は上向きに崩壊している。ひずみが大きくなる所を正(黒), 小さくなる所を負(白)としている。Fig.4は崩壊時の斜面を撮影した亀裂位置画像であり, 上流側で亀裂が発生しているのがわかる。分布図と比較すると, 亀裂付近で面積ひずみが徐々に高くなっており, 特に斜面崩壊の10秒前から顕著になっている。

3.3 崩壊のモード

崩壊のモードには円弧すべりとトップリングの2種類があり, 地すべり土塊の斜面法線ベクトルの角変化から推定する。円弧すべり (Fig.2左) では法線ベクトルは上流方向に傾き, トップリング (Fig.2右) では下流方向に傾くと考える。崩壊前後の角変化分布図を右に示す。上流方向に傾く所を負(白)で, 下流方向に傾く所を正(黒)で表している。分布図によると, 崩壊後に亀裂より下流側にある地すべり土塊全体で, 斜面法線ベクトルが上流方向へ傾いているため, 崩壊モードは円弧すべりであると考えられる。

4. おわりに

(1) 写真測量の原理を用いた三次元座標計算を用いて斜面の様子を再現できる。(2) 室内地すべり実験では, 面積ひずみが高くなる所に亀裂が生じ, 斜面が崩壊した。ゆえに三次元変位計測で面積ひずみを観察すると, 崩壊を予測できる可能性がある。(3) 崩壊直後の

斜面の法線ベクトルの変化に着目すれば斜面崩壊のモードを推定することができる可能性がある。
参考文献

- 1) 保谷忠男: 測量業書第3巻 写真測量, 社団法人 日本測量協会, 1988.
- 2) 中川 徹・小柳義夫: 最小二乗法による実験データ解析 プログラムSALS, 東京大学出版会, 1982.
- 3) 堀場夏峰・秋山演亮・木村 哲・清水健治・大西有三: トンネル内空変位計測システムの開発, 第3回最近の地盤計測技術に関するシンポジウム発表論文集, pp.51-54, 2001.

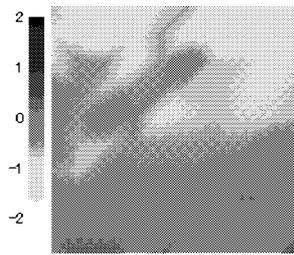


Fig.5 Area distortion 20 seconds before collapse

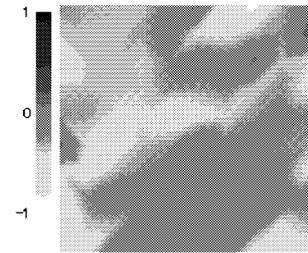


Fig.6 Angle change 20 seconds before collapse

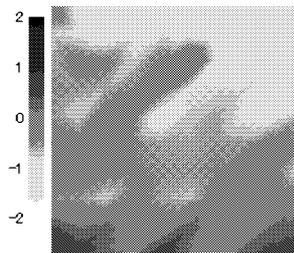


Fig.7 Area distortion 10 seconds before collapse

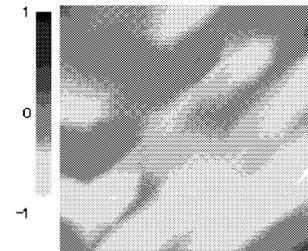


Fig.8 Angle change 10 seconds before collapse

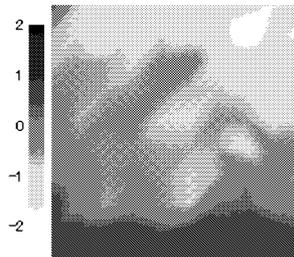


Fig.9 Area distortion at the moment of collapse

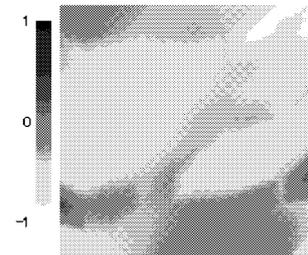


Fig.10 Angle change at the moment of collapse

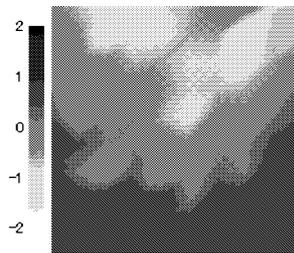


Fig.11 Area distortion 10 seconds after collapse

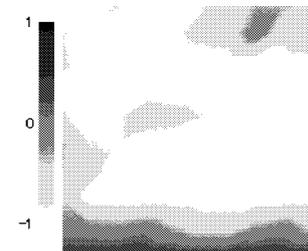


Fig.12 Angle change 10 seconds after collapse