

定点カメラ画像解析による斜面崩壊予兆検出の試行

国際航業株式会社 正会員 佐藤匠, 佐藤渉 非会員 中山香月
大阪大学 正会員 小泉圭吾
高知大学 正会員 笹原克夫

1. はじめに

斜面崩壊に対して屋外で長期間インターバル撮影が可能なトレイルカメラを用いて30秒間隔のインターバル撮影を実施し、その取得画像に対して画像解析を適用し、斜面崩壊イベントおよび斜面崩壊前の微小斜面崩壊の検出を試行した結果を報告する。なお本件は高知大学主幹・複数の大学・民間企業が参画し、さまざまな計測機器により計測・監視を行っている斜面を人為的に崩壊させ、取得されたデータを基に今後の斜面監視システムの高度化を目指す「高知斜面崩壊発生予測モニタリングシステム研究開発コンソーシアム(通称「佐川WG」)」の課題の一つとして実施されたものである。

2. 実験サイト・使用機器

2. 1. 実験サイトおよび崩壊実験概要

実証実験を行った場所は高知県高岡郡佐川町東部の山中である。崩壊実験は2022年7月27日に実施した。崩壊実験は対象斜面において崩壊が発生するまで斜面末端部をバックホウにより段階的に掘削することで実施した。なお3段目の掘削を行った後の16:38:37に斜面崩壊が発生している。

2. 2. 使用機器

本研究では屋外で長期のインターバル撮影による監視が可能なトレイルカメラ「ハイクカムLT4G」を利用して30秒間隔のインターバル静止画撮影を実施した。画像は4032×3024 pixel(約1200万画素)で取得し、本体内蔵のSDカードに記録したもののについて実験終了後に画像解析を実施した。

3. 画像解析手法

斜面変位検出に用いる画像解析は以下の異なる土砂動態を同時に検出する手法¹²⁾を適用した。なお解析画像は事前に位置調整を施している。

3. 1. 画像変位検出(地すべり性変位の検出)

斜面崩壊の予兆となる斜面の微小な変位検出を目的として局所的な画像変位検出を行った。手法はテンプレートマッチングを利用し、1時期目の矩形画像を2時期目から探索して画像変位の有無の検出を行った。斜面変位など2時期間で画像内に映り込んだオブジェクトに変位が発生した場合は矩形画像の探索において矩形画像が2時期目では異なる場所で検出され、2時期間の変位方向および変位量が求まる。一方、2時期間で画像変位が発生しなければ1時期目の任意の領域で取得された矩形画像に最も類似する画像は2時期目の同じ座標で検出されるため、局所的な変位箇所が変位ベクトル群によって可視化される。

3. 2. 相関消失領域検出(崩壊領域の検出)

前述のテンプレートマッチングによる画像探索を行う過程において、もっとも類似する箇所を検出する手段として2時期間の輝度値による画像相関評価が行われる。ここで1時期目の局所矩形画像を2時期目から探索した結果、相関係数が著しく低い領域は「1時期目の画像が2時期目のどこにも見当たらない」ということであり、2時期間で大きく地表面の形状が異なったこと(地表面のかく乱)を意味する。この低相関領域を画像上にマッピングすることにより斜面崩壊・土砂の流出・堆積などの発生した領域を可視化することが可能となる。

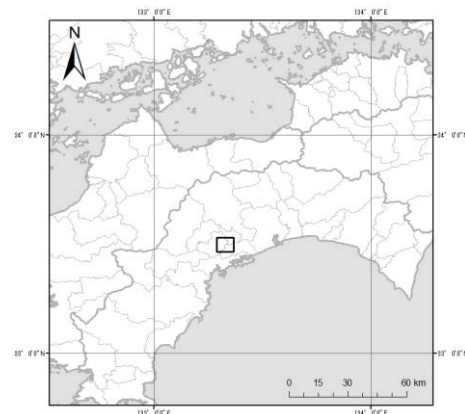


図1. 実験サイト位置(黒枠)

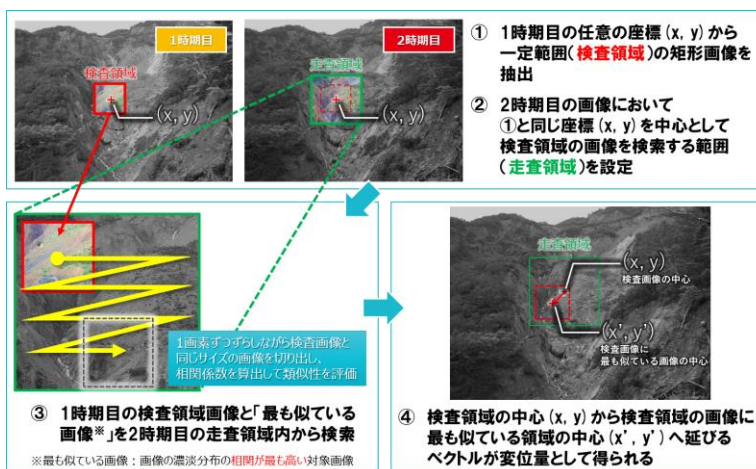


図2. テンプレートマッチングによる斜面変位の検出概念

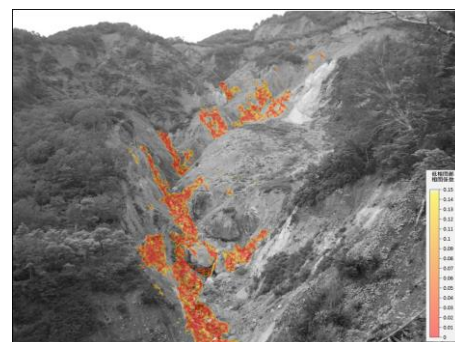


図3. 土砂動態に伴う低相関領域(＝地表面かく乱領域)の可視化例

キーワード: 画像解析, 予兆検出, 斜面崩壊, 変位検出, 斜面監視

連絡先: 〒183-0057 東京都府中市晴見町 2-24-1 国際航業株式会社 TEL:042-307-7471

4. 解析結果

4.1. 連続画像ペアによる変位解析

30 秒間隔で取得した連続画像を利用して最新の 2 時期間ペア (30 秒間隔) で斜面崩壊発生までの解析を実施した。この解析では最新の 30 秒間隔での変位状況が評価される。この画像解析の結果、斜面掘削によって上部斜面が崩壊する 60 秒前 (16:37:00) に 1 pixel の微小変位が検出された。また、崩壊発生時には斜面崩壊部が相関消失領域として検出されている。

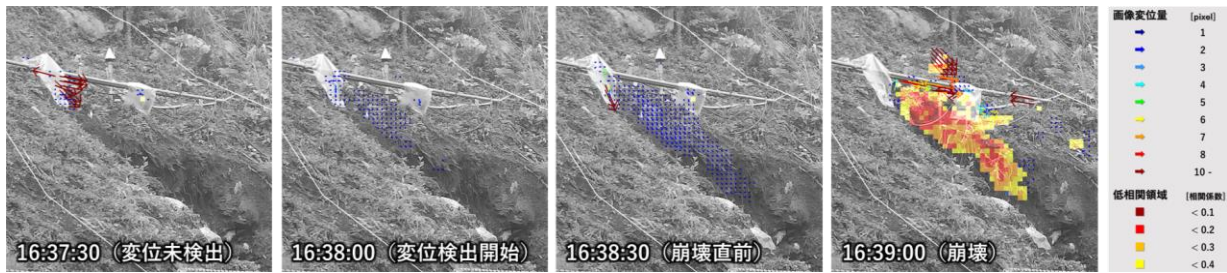


図4. 連続画像ペア (30 秒間隔) による変位解析

4.2. 基準画像を初期値とした累積変位解析

画像解析画像のうち 1 時期目画像を 2 段目掘削作業終了後の 16:05:30 で固定し、2 時期目を最新画像とした解析ペアによる画像解析を実施した。この解析では初期画像に対して 30 秒ごとの累積変位が画像上で評価される。

この画像解析の結果、斜面掘削によって上部斜面が崩壊する 29 分前 (16:10:00) に 1 pixel の微小変位が検出された。

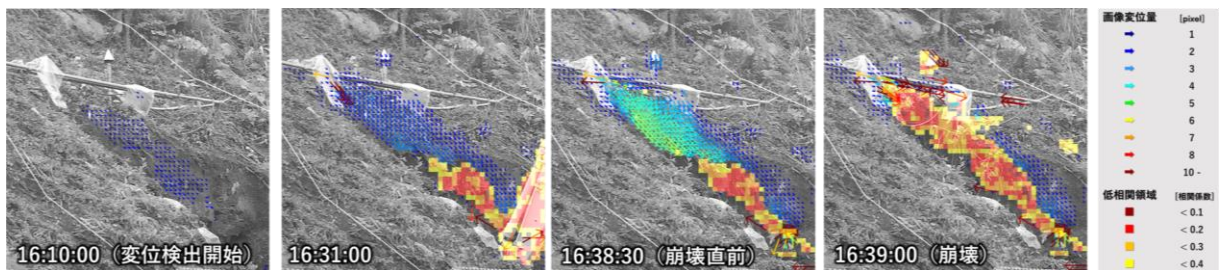


図5. 初期画像を固定した累積変位画像解析による変位解析

4.3. 解析結果検証

画像解析の変位検出精度を評価するために撮影対象に映り込んだ機材の実寸を利用して評価を行った結果、1 画素の実スケールは 4.9mm であった。このため 1 pixel の変位が発生した場合、画像投影面に対して約 5mm の変位が発生したことになる。

30 秒間隔の解析 (4.1.) では 30 秒間に 5mm 以上の変位が発生した 16:36:30 から 16:37:00 において初めて変位ベクトルが検出された一方、初期画像を 16:05:30 で固定した累積変位解析 (4.2.) では 16:10:00 の時点で変位ベクトルが検出されている。

この結果について斜面上に取り付けたプリズムをトータルステーションで計測した結果、16:03:30 を起点とした変位量を参照すると 16:08:30 以降で変位速度 (Y・Z 成分) が上昇しており変位のタイミングについて整合的であることが確認された。ただし 16:05:30 を起点とした相対変位量を確認すると、16:10:00 時点では Y・Z 成分の変位量を合成しても 5mm には達していない。この原因は 1 画素以下の変位が画像化 (ラスタ化) によって画素スケールに拡大されたことによるものと推察される。一方、30 秒間隔の画像解析では崩壊直前まで変位ベクトルが確認されていなかった。これは前述のラスタ化による拡大の影響を含めても直近 30 秒間の斜面における変位量が 16:37:30 までは 1 pixel (=約 5mm) 以下であったことによるものと考えられる。

5. まとめ

30 秒間隔で取得された画像による画像解析を行い、初期画像を固定することで斜面崩壊発生の 29 分前に崩壊予兆となる斜面変位が検出された。画像解析では変位発生領域が面的に得られることから、崩壊規模の推定も容易である。

6. 謝辞

本報をまとめるにあたり、斜面の変位や変形のモニタリングに基づく小規模な斜面のがけ崩れ予測のアルゴリズム開発を目的とした、高知大学主幹・複数の大学・民間企業参画の「高知斜面崩壊発生予測モニタリングシステム研究開発コンソーシアム (通称「佐川 WG」)」のメンバーとしてご協力いただいた皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 佐藤：定点カメラによる斜面変動モニタリング，日本写真測量学会平成 30 年度秋季学術講演会 (2018)
- 2) 佐藤他：定点カメラによる斜面変状モニタリング手法，平成 31 年度砂防学会研究発表会 (2019)

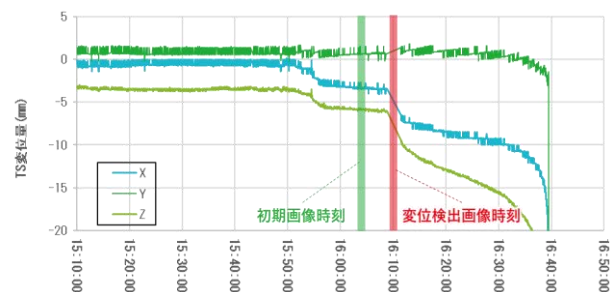


図5. トータルステーション計測による斜面変位