

CCTVカメラ動画を用いた 土石流・崩壊の自動検出

くらかみたける ふる きひろかず いとうたかひろ たがたさとし
倉上 健¹・古木宏和¹・伊藤隆郭¹・田方 智²

¹ (株) 日本工営株式会社 中央研究所 先端研究センター (〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304)

² 日本工営株式会社 福岡支店 国土保全部 (〒812-0007 福岡県福岡市博多区東比恵1-2-12R&Fセンタービル5F)

本検討では、動体検出技術であるオブティカルフローを活用して、CCTVカメラ映像から土石流の流速算出と崩壊現象の検出の自動化に向けた検討を行った。土石流の流速算出に関して、技術者の目視による流速計測結果と比較し、概ね7～9割程度の精度で流速の検出が可能であった。崩壊については、崩壊現象発生箇所と発生タイミングの検出が可能であった。本研究成果により、減災という大きな社会課題に対し、土石流や崩壊の早期検知の省力化と、移動物体の到達時間把握が正確で安価に可能となり、土砂災害発生時の住民避難等に資する結果が得られた。

Key Words : CCTVカメラ, 動体検出, 土石流監視, 自動検出, 省力化, 自動化

1. はじめに

我が国では、毎年のように土砂災害が発生しており、人命や家屋への被害が頻発している。また、土砂災害は突発的に起こることが多く、避難指示のタイミングが難しいことから、逃げ遅れによる被害も見受けられる。そのため土石流や崩壊の規模を迅速に把握し、その情報を住民に伝えて避難行動につなげることが重要である。

現在、土石流検知には、防災目的のワイヤーセンサ・振動センサ等が用いられているが、従来からワイヤー切断時のメンテナンス、誤作動等の課題が指摘されている。また降雨条件等と関連して土石流規模を把握することは、砂防計画や施設計画において、重要な情報となる。

桜島では、年間数10回以上の土石流が発生しており、ワイヤーセンサ、LVPセンサ、振動センサ、土石流荷重計等を活用した土石流観測が精力的に行われてきた。また、上記のセンサ等と並行して、CCTVカメラ映像を用いた土石流観測・監視も行われている。CCTVカメラ映像を用いた土石流観測・監視では、技術者の目視によって土石流の水位・流速等を読み取ることで土石流の流量を算出している。しかしながら、CCTVカメラ映像から取得した動画データは膨大なデータ量であるため、解析・データ整理に当たり、時間的・人的コストを要する。また、技術者の

目視による水位・流速算出には人為的な誤差を含みやすいことが課題である。

平川ら¹⁾は、動体検出技術であるPIV解析を用いた土石流の流速について計測を行っている。PIV解析に使用する映像は、高解像度でかつ高フレームレートであるため、解析時間及びデータ伝送にコストを要する。石井ら²⁾は、動体検出技術であるオブティカルフローを活用してCCTVカメラ映像から土石流及び出水の有無の検知を行っているが、土石流及び出水の規模や流速などの物理量の把握できていない。

オブティカルフローは、映像上で物体の動きが少ない場合、検出できないが、土石流や崩壊現象のようにダイナミックに動く場合、移動する物体の検出は可能である。そのため、土石流の水位や流速などの物理量把握の省力化と崩壊の変動箇所検知に対してオブティカルフローが適用できる可能性がある。そこで、本検討では、オブティカルフローを活用して、CCTVカメラ映像から土石流の流速算出と崩壊現象の検出の自動化に向けた検討を行った。

本研究成果により、減災という大きな社会課題に対し、土石流や崩壊の早期検知の省力化と、移動物体の到達時間把握がより正確で安価に可能となり、土砂災害発生時の住民避難等に資することが期待される。

表-1 動体検出技術の整理

手法	概要	メリット	デメリット
オプティカルフロー	動いている物体の向きと移動量を検出	・大量の教師データを必要とせず、少ないデータでも適用可能 ・PIVと比較して動作が軽い	・対象物の見かけの動き（速さ）のみ取得可能である ・実際の速度算出には、現場状況を考慮した換算が必要 ・フレームレートの高い動画（30-60fps）の必要がある ・動きがない事象に対しては、検出が困難である
背景差分法	基準となる画像との変化部分を検出	・タイムラプスなどの時間解像度が低いデータや単純なスナップショットの差分にも対応可能	・雲の動き、影の動き等細かく変化する動きを誤検出する ・カメラに付着した水滴の影響を強く受ける ・基準となる画像と異なる点をすべて検出してしまう ・土石流の速度の検出には別途解析が必要である
AI	AIによって土石流・崩壊箇所を検出	・高い精度で土石流・崩壊の検出が可能	・大量の教師データが必要である ・解析結果の解釈が不明瞭である ・土石流の速度の検出には別途、解析が必要である
PIV	動いている物体の向きと移動量を検出	・大量の教師データを必要とせず、少ないデータでも適用可能	・高解像度、高フレームレート（100fps以上）の動画が必要である ・動画のデータ量が大きいため、解析に時間を要する ・解析時間が多くかかる

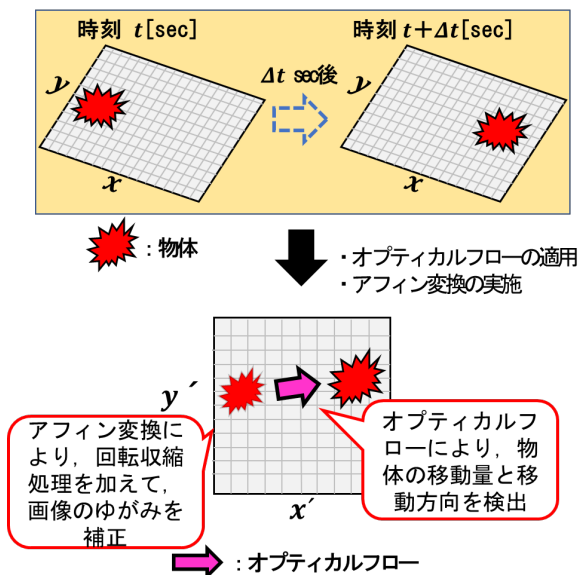


図-1 オプティカルフローの概念図

2. 解析手法

CCTVカメラ映像に対して動体検出技術を活用するために、まず既存の動体検出技術の整理を行った（表-1）。

本検討では、物体を検出して移動量の算出が可能な手法を選定した。

オプティカルフローは、雨や霧、水しぶき等のノイズが含まれている場合でも、物体の動きを取得していれば、ノイズ部分を時間方向に内挿して移動量の算出ができるため、解析手法として選定した。本解析手法は、連続的な画像（動画）から画像中の移動する物体が単位時間（1コマ経過するに）あたりに、どの方向に、何ピクセル動いたかを計測できる手法である。解析に使用するCCTV映像について、アフィン変換により、回転と縮小処理を加えて、映像のゆがみを補正した（図-1）。

3. 解析対象

本検討では、土石流、崩壊の二つを解析対象とした。解析対象のCCTVカメラ映像の選定にあたり、土石流では、人の立ち入りが可能な堰堤のCCTVカメラ映像のうち、堰堤袖部を真横から撮影している桜島野尻川1号堰堤のCCTVカメラ映像を選定した。崩壊では、崩壊現象を映像として取得している桜島野尻川8号堰堤のCCTVカメラ映像を選定した。

4. 流速検出精度の検証実験の実施

オプティカルフローは動画内に存在する物体の移動量（ピクセル/sec）についてのみ計測が可能である。土石流の実際の流速（m/sec）を算出するためには、CCTVカメラ映像のピクセルサイズとそれに対応する現場の距離を把握する必要がある。そのため、本検討では、流速検出精度の検証実験を実施した。

(1) 実験概要

検証実験では、まず、解析範囲（図-2の赤枠部）の始点・終点を設定して、現場にて実際の長さ（m）を測定した。測定した長さより、CCTVカメラ映像のピクセル当たりの長さ（m/ピクセル）を算出した。赤白ポールを持った実験員が解析範囲の始点と終点の間を移動する様子をCCTVカメラにて撮影した（図-2）。移動時間をストップウォッチで測定して、速度を計測した。撮影した動画に対してオプティカルフローを適用して、実際の速度に換算した。

(2) 実験結果

実験では、実験員の平均移動速度が3.3m/sec～4m/secとなるよう、10m区間を2.5～3秒で移動するよう調整した。

撮影した動画に対して本手法を適用したところ、平均移動速度が3.4m/secとなり、実験で設定した速度と整合することを確認した。



図-2 検証実験風景



図-3 CCTVカメラ映像への本手法の適用結果
(検証実験)

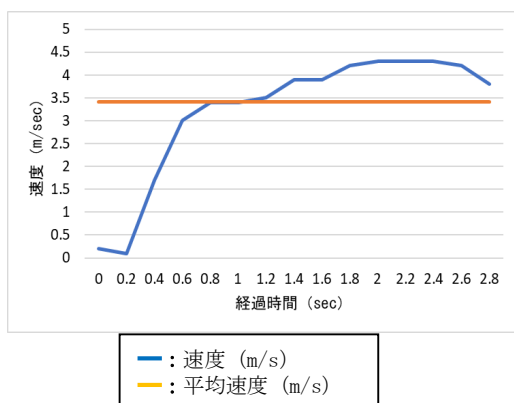


図-4 本手法によって検出された
実験員の速度と平均速度

5. 土石流に対する適用

(1) 使用するデータ

桜島の野尻川 1 号堰堤で土石流発生時に撮影されたCCTVカメラの映像（2020年6月11日9時42分～2020年6月11日9時43分）を用いた。

(2) 本手法の適用

取得した土石流のCCTVカメラ映像に対して本手法を適用して土石流の流速を検出した。本手法では、動いている土石流を移動体として認識し、動画の一コマ前と比較して、移動した距離から、見かけ上の流速（ピクセル/sec）を算出した。実際の土石流流速算出は、検証実験にて、取得したカメラ映像のピクセルサイズとそれに対応する実際の距離の関係から、見かけ上の流速を実際の流速に換算して算出した。本検討では、解析範囲を流下する土石流の表面流速の平均値を流速として算出した（図-6の青枠部）。技術者による目視での計測については、堰堤

の水通し天端幅を指標に、そこを流下する土石流の表面流速を計測した（図-5の赤枠部）。技術者による目視での計測と本手法で検出した流速との比較を行い、誤差率（%）を下式で算出した。

$$\text{誤差率 (\%)} = 100 \times \frac{\text{オブティカルフローによって検出された流速} - \text{技術者の目視計測結果}}{\text{技術者の目視計測結果}}$$

(3) 考察

算出した誤差率より、7-9割の精度で土石流の流速が算出可能であった。本手法では、範囲全領域（図-6の青枠部）の流速を算出しているため、流速の速い箇所だけではなく遅い箇所も考慮した流速となり、目視計測との間の誤差となった可能性がある。また、目視計測では、土石流の流心周辺の流速を、点または線で計測しているため、本手法の流速算出方法との違いも誤差要因の一つとして考えられる。



図-5 技術者による流速検出

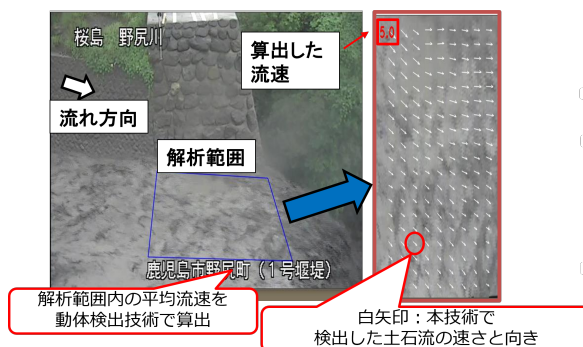


図-6 CCTVカメラ映像への本手法の適用結果
(土石流)

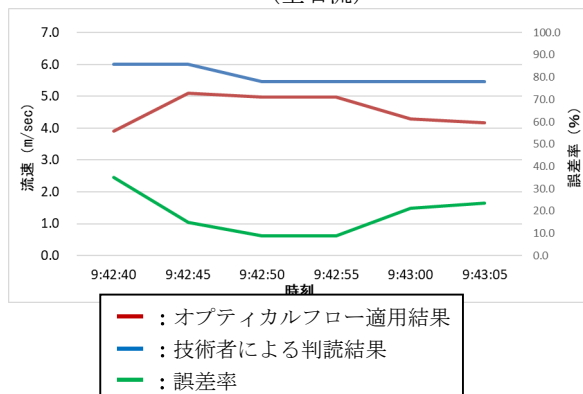


図-7 CCTVカメラ映像への本手法の適用結果（土石流）
と技術者の目視による流速判読結果との比較

6. 崩壊に対する適用

(1) 使用するデータ

桜島の野尻川8号堰堤で崩壊現象発生時に撮影されたCCTVカメラの映像（2021年08月19日16時38分～2021年08月19日16時42分）を用いた。

(2) 本手法の適用

野尻川にて発生した崩壊現象動画に対して本手法を適用して、崩壊現象発生箇所と発生タイミングの検出を行った。本手法では、動いている崩壊現象を移動体として認識し、動画の一コマ前と比較して、崩壊現象を検出している。図-8の白枠部は崩壊した箇所である。図-9と図-10に本手法を適用した結果を示す。図中の白丸箇所が本手法によって検出された崩壊部の土砂移動箇所である。

(3) 考察

図-9、図-10より崩壊現象発生箇所と発生タイミングの検出が可能であった。本手法によって、斜面が崩壊している様子を検出することは可能だが、住民の避難行動につながる重要な情報である崩壊規模についての把握が困難であった。崩壊前後の2時期の差分解析や背景差分法を活用、または本手法と併用することで崩壊規模把握への対応が期待できる。



図-8 本検討で対象としたCCTVカメラ映像（崩壊）



図-9 CCTVカメラ映像への本手法の適用（斜面下部の崩壊現象発生途中）



図-10 CCTVカメラ映像への本手法の適用（斜面上部の崩壊現象発生途中）

7. まとめと今後の展開

本検討では、動体検出技術であるオプティカルフローを活用して、CCTVカメラ映像から土石流の流速算出と崩壊現象の検出の自動化に向けた検討を行った。土石流の流速の検出は、これまで技術者の目視による計測のため主観を多く含む情報のみ取得可能であったが、本手法により客観的でかつ検出精度を確保した防災上有用な情報をリアルタイムに取得することが可能となった。また、崩壊現象は、カメラ映像を注視していないと発生タイミングの検出が困難であったが、本手法により、自動的に発生タイミングの検出が可能となった。本研究成果により、減災という大きな社会課題に対し、土石流や崩壊の早期検知の省力化と、移動物体の到達時間把握がより正確で安価に可能となり、土砂災害発生時の住民避難等に資する結果が得られた。

本手法は、汎用で全国的に設置されているCCTVカメラによる土石流流速の物理量把握の省力化、崩壊現象の検知技術の自動化に寄与できるDX技術と言える。これにより、多くの現場での実装適用が期待でき、減災の観点で大きな社会貢献が可能となる。

今後は、①本検討とは異なる規模の土石流への適用、②異なる現場での適用、③異なる現象（洪水流や泥流など、しぶきや流木、ゴミがあるような流れには適用可能）への適用、などによって、汎用性を検証していきたい。水位・流量を算出し、観測にて取得している土砂濃度を用いて流出土砂量の算出を行いたい。将来的には、RPAやAI技術と組み合わせでデータ取得から物理量算出まで省力的でシームレスなリアルタイム監視システムとして実装させたい。

謝辞：大隅河川国道事務所の皆様、五大開発様、関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 平川 泰之 諏訪 浩 福田 克之 小林 範之：土石流の表面流速計測におけるPIV適用の試み，砂防学会誌，Vol. 59, No. 2, pp. 49-54, 2006.
- 2) 石井 秀樹 森島 成昭 松岡 暁：監視カメラの画像判読技術を用いた土石流の監視に関する検討，平成23年度砂防学会研究発表会概要集，pp. 534-535, 2011.