

画像解析技術を活用した 「土石流検知アラートシステム」の紹介

望月 優生・鄧 朝暉・久保山 敬介

近年では毎年のように発生する土砂災害により、人命被害や家屋流失等が頻発している。土砂災害による被害の軽減のためには、土石流の発生をいち早く検知することが重要である。

本稿では、カメラ映像を利用した非接触型の「土石流検知アラートシステム」の技術開発の成果と、その検証事例及び今後の課題・展開について紹介する。

キーワード：土石流検知センサー、画像解析、リアルタイム、PIV解析、自動監視システム

1. はじめに

土石流発生検知の技術の例として、接触型のワイヤーセンサーや、衝撃センサーが挙げられるが、ワイヤーセンサーは一度切断された場合は都度人の手で張り直す必要があり、落石や動物などにより切断・誤報の可能性がある。また、衝撃センサーや振動センサーは、落石等で誤検知が発生しやすく、精度を上げるためにはセンサーを複数台設置する必要があるなどの課題がある（表-1）。

また、接触型のセンサーは、土砂による破損や埋没等によりセンサー自体が機能しないことが問題として挙げられる。

表-1 接触型のセンサーの課題

センサー型	課題
ワイヤーセンサー	<ul style="list-style-type: none"> ワイヤーが切断されることで異常検知が可能であるが、一度切断された場合は、再度張り直す必要があり、その間は欠測となる。 落石や動物等により切断・誤報の可能性がある。
振動センサー	<ul style="list-style-type: none"> 地面の中にセンサーを埋め込み、土石流が発する地盤振動を捉える仕組みであるが、埋め込み作業が大がかりとなる。 精度を上げるためには、センサーを複数台設置することが必要となる。
衝撃センサー	<ul style="list-style-type: none"> 杭等を設置し、その杭への衝撃等を検知する仕組みであるが、落石等で誤検知が発生しやすい。 精度を上げるためには、センサーを複数台設置することが必要となる。

そこで本稿では、画像解析技術を活用し、カメラ映像から非接触で安全かつ誤検知等が少なく土石流発生監視が実施できる「土石流検知アラートシステム」について開発し、さまざまな環境下でも適応可能な仕組みの開発と、その精度検証について記載する。

2. 土石流検知アラートシステムの概要

(1) 画像解析による土石流検知手法の検討

本システムは、カメラ映像を利用して、土石流の発生を突発的に流下する土石流を瞬時に捉え、アラートメールを関係者に送信することが可能なシステムである。画像を用いた非接触型センサーであるため、継続した土石流の検知が可能である。

(2) 新たな土石流検知のしくみ

従来の画像解析による土石流検知の手法としては、画像差分法が挙げられる。しかし、カメラ画角内に土石流以外の物体が移動した場合や、降雨により雨粒がレンズに付着した場合、光の陰影による画面内の色調に変化が発生した場合など、さまざまな要因で誤検知が発生していた（表-2）。

このような背景から、誤検知を極力抑えて適切に土石流を検知する仕組みとしてPIV（粒子画像流速測定法：Particle Image Velocimetry）手法による土石流検知について検討した。

(a) PIV手法による土石流検知のしくみ

PIV手法は、時間経過で変化する水面を撮影した動画像から、画像の小領域内の粒子の移動量を、パターンマッチングで求める技術で、画像から流体の瞬間的

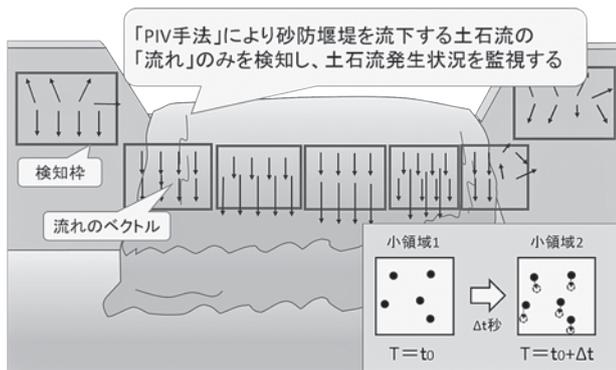
表一 画像差分法による土石流検知の主な誤検知要因

状 況	
土石流以外の物体の移動	<p>自動車が検知枠を通過した際に、誤検知が発生</p>
降雨の影響	<p>雨粒がカメラレンズに付着し、検知枠内の映像が歪み、誤検知が発生</p>
光の陰影	<p>検知枠内の太陽光の照射具合の変化により誤検知が発生 夜間の自動車等のライトが検知枠内に入り、誤検知が発生</p>

な流向・流速を求める手法の一つである。このPIV手法を利用して、砂防堰堤の法面を突発的に流下する土石流の「流れ」を捉えることで、土石流の検知を行う(図一1)。

(b) 土石流検知の検知枠・計算点の設定

本手法では、砂防堰堤を映しているカメラの画面内に検知枠(縦12ピクセル×横12ピクセル)を複数個設置する。その検知枠内には、縦横2ピクセルを1つ

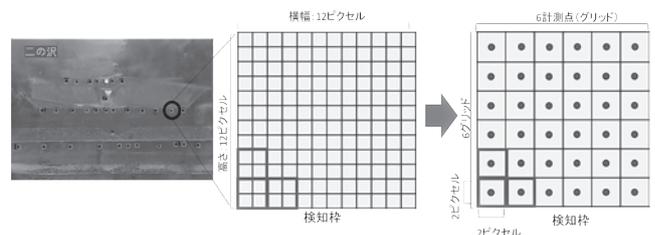


図一 PIV手法による堰堤越流部の土石流検知イメージ

の計測点のグループとした、縦6×横6の合計36個の計測点を設定した、PIV手法によりそれぞれの計測点の流向および流速の解析を行う(図二)。

(c) 計測点の流向流速の傾向解析

PIV手法による解析では、連続する画像2枚の画像をもとに、時間経過における計測点の流向と流速を解析する。一定時間におけるそれぞれの計測点の流向と流速の平均値を算出し、解析した動画の検知枠内における流向と流速の傾向を解析することで、土石流の流れを検知する。本手法による解析では、土石流の検知を行うために2秒間60枚の動画をを使用した(図三)。



図二 検知枠内のピクセルと計測点(グリッド)の設定

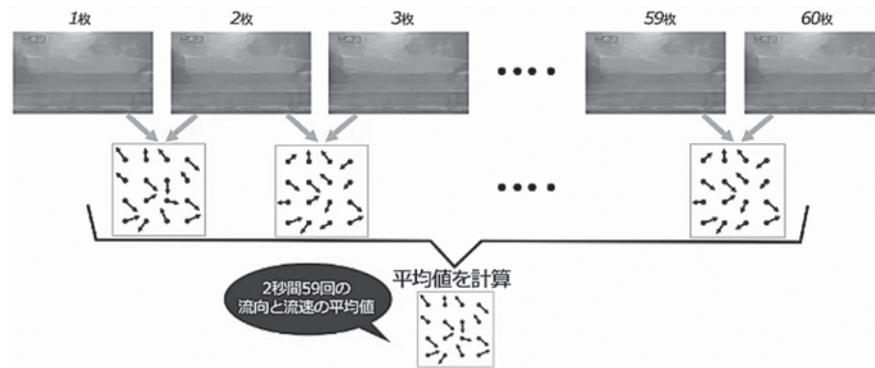


図-3 土石流発生による検知の有無の分類例

(d) 土石流発生検知の判定条件

土石流発生を検知する条件は「①計測点の流速が2ピクセル以上であること」、「②計測点36個のうち、15個以上(約40%)が土石流の流下方向に移動していること」の2点を採用した。

上記2つの条件を同時に満たした場合、土石流と判断することとし、これにより土石流発生時と、それ以外(平常時や雨等)を判別することが可能となった(図-4)。

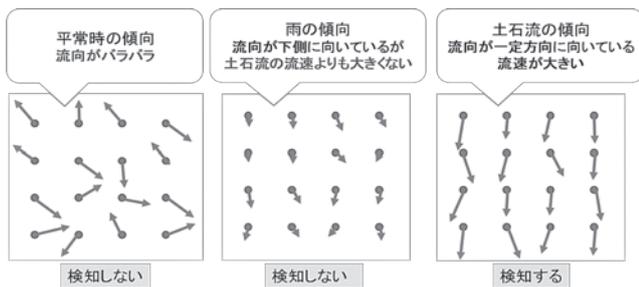


図-4 土石流発生による検知の有無の分類例

3. PIV 手法における土石流検知の検証結果

(1) 土石流検知の検証結果

「PIV 手法」による土石流検知について、土石流の発生映像をもとに検証を行った。その結果、突発的に発生する土石流を適切に検知できることを確認した(図-5)。

また、従来法である画像差分法では誤検知となっていた現象について、新手法である PIV 手法において同様の状況においても誤検知が回避できるか検証を行った。検証の結果、従来法である「画像差分法」では誤検知となった状況(人や車等の移動, 雨滴の付着, 環境光の変化)において、新手法の PIV 手法では誤検知しない仕組みとなったことを確認した(図-6)。



図-5 誤検知を回避した事例

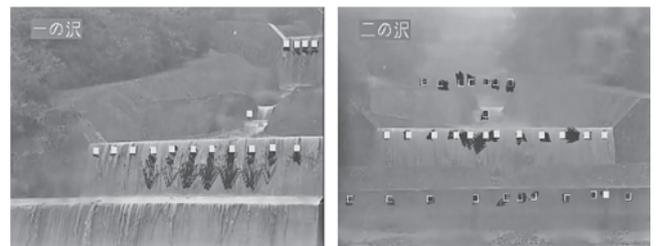


図-6 土石流発生の瞬間を PIV 手法で検知した事例

(2) 画像差分法と PIV 手法による精度検証結果

1 時間 40 分間の映像を利用し、従来法である画像差分法と新手法である PIV 手法で精度比較の検証を行った。この結果、画像差分法では 73 回の誤検知が確認されたが、PIV 手法では土石流発生までに 2 回しか誤検知が発生しないことを確認され精度が向上したことを確認した(図-7)。

PIV 手法での単発の誤検知については、雨滴がカメラ



図-7 画像差分法と PIV 手法の検知状況の比較結果

ラレンズを流れ落ちることにより発生していることがわかっており、システム側で「連続した土石流の検知」を行った際に土石流発生と判断させることで、誤検知を回避する対策を行った（図-8）。

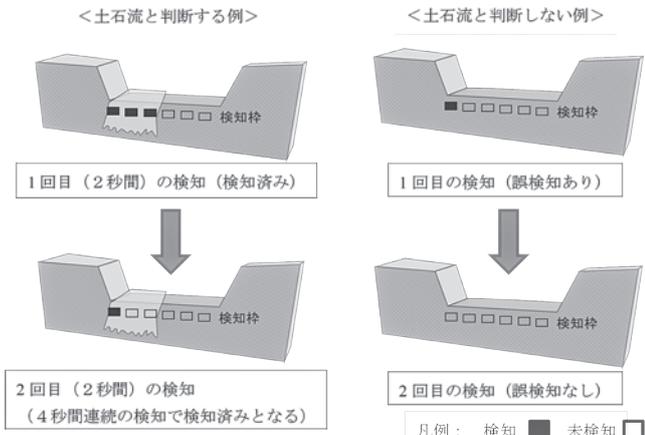


図-8 検知枠内の画像の色調傾向の数値化のイメージ例

(3) グレーレベル同時生起行列フィルタによる統計的な誤検知対策

しかし、PIV手法による土石流検知でも、濃霧や夜間照明によるハレーションなど、様々な要因により誤検知の発生が見られることがわかっている。

そのため、ここではグレーレベル同時正規行列フィルタリングによる統計的な誤検知対策について検討を行った。

グレーレベル同時生起行列 (Gray Level Cooccurrence Matrix; GLCM) フィルタとは、画像のテクスチャに関する情報を抽出するために設計された解析手法であり、画像内のエッジの強さ等の特徴量を数値化し、その測定値から画像の分類を行う手法である。

グレースケール画像（またはカラー画像の各成分）では、画像のテクスチャは輝度値の変動量や空間スケール、空間的パターンによって定義される。グレースケール画像の領域には、広い範囲にわたってグレーレベルでの輝度がほとんど変動していない領域がある。このような領域は視覚的に滑らかに見え、狭い範囲でグレーレベルに多くの大きな変化が見られれば、視覚的に粗く見える特性がある（図-9）。

グレーレベル同時生起行列フィルタを利用して検知枠内の画像の特徴（コントラスト・均質性・分散）により雨粒・霧・ハレーションであるかを判別し、土石流検知を行わない仕組みを検討した。

土石流発生時の動画および、ハレーション発生時の動画をもとに、検知枠内の画像の特徴量を数値化し、それぞれの事象が発生した際の画像の特徴量を算出した。

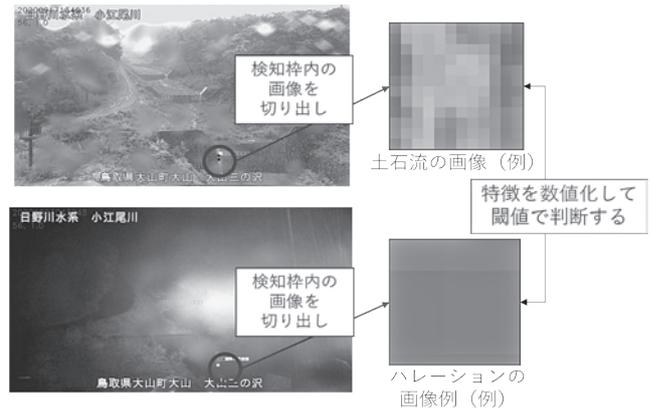


図-9 検知枠内の画像の例

ハレーションが発生した際の特徴量の数値を整理したところ、コントラスト値が0.01~0.65、均質性値が0.72~1.00、分散値が0~0.34の範囲に集中している結果となった（図-10~12）。

検知枠内の画像コントラスト値が0.5以下かつ均質性が0.75以上、または分散値が0.95以上となった際に土石流の現象として検知できたことから、これらの数値を閾値として設定し、閾値を超過した際は雨、霧、ハレーションのいずれかである現象として自動判別する仕組みとした（図-13）。

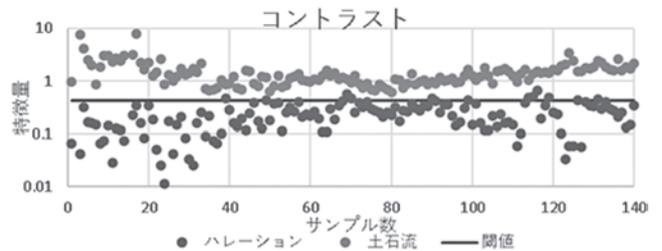


図-10 土石流発生時とハレーション発生時におけるコントラスト値の特徴量の傾向

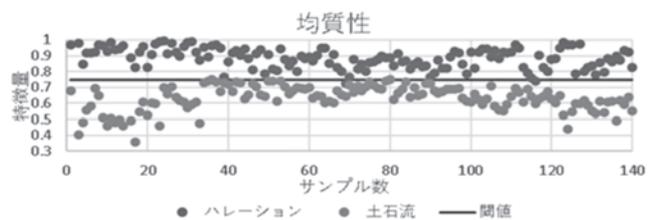


図-11 土石流発生時とハレーション発生時における均質性値の特徴量の傾向

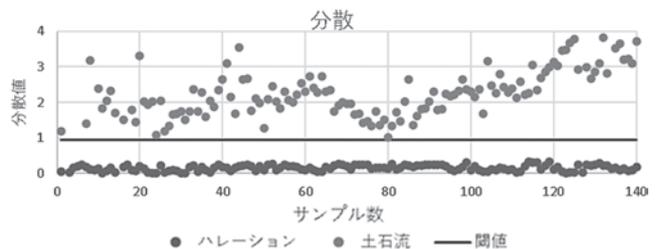


図-12 土石流発生時とハレーション発生時における分散値の傾向

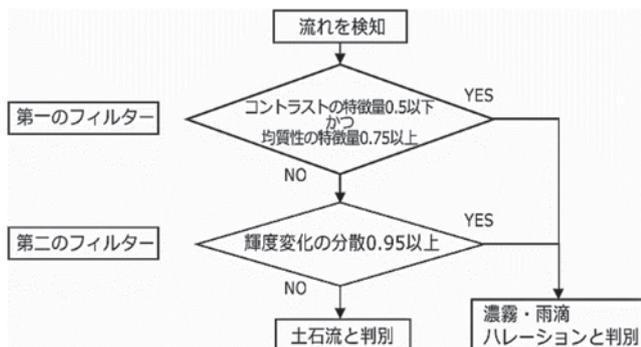


図-13 フィルタリングのフローチャート

4. 今後の展望

本検証では、砂防施設における土石流発生検知を画像解析手法の一つである「PIV手法」を利用することで、誤検知率を抑え確実に土石流発生を検知できることが検証結果より明らかになった。

また画像の特徴を数値化して、土石流発生を検知か、霧・雨滴・ハレーション等の影響による誤検知であるかを自動で判別する仕組みを導入することができた。

これまでの検証結果をもとに「土石流検知システム」さらなる精度向上を進めており、土石流発生時の瞬間映像や土石流流下時の映像がさらに蓄積されることで、検知精度の向上・検証が進められていくものと期待している。

5. おわりに

本検討では、国土交通省中国地方整備局日野川河川事務所より土石流発生時における過去映像のご提供および、土石流発生検知手法における改善策等のご指導を頂いた。ここに記して謝意を表します。

J|C|MA

《参考文献》

- 1) 第72回中国地方技術研究会 画像解析技術を活用した土石流検知および流量算出システムの検討
- 2) 令和3年度砂防学会研究発表会 画像解析技術を利用した「土石流検知システム」の検討

【筆者紹介】



望月 優生 (もちづき ゆうき)
 いであ㈱
 情報システム事業本部 情報システム事業部
 防災情報システム部
 グループ長



鄧 朝暉 (ドン ジャオホイ)
 いであ㈱
 情報システム事業本部 情報システム事業部
 防災情報システム部
 エキスパートエンジニア



久保山 敬介 (くぼやま けいすけ)
 いであ㈱
 情報システム事業本部 情報システム事業部
 防災情報システム部
 シニアエンジニア