PIV 手法を活用した「土石流検知システム」の検討

中国地方整備局　○田邊　顕彦
中国地方整備局　　大賀　祥一
中国地方整備局　　烏田　和彦

日野川河川事務所では、大山山系直轄砂防区域内（一の沢、二の沢、三の沢）において既設ＣＣＴＶカメラ映像から画像解析技術を活用しリアルタイムで土石流発生検知を行うシステムについて検討した。既存システムの画像差分法での誤検知の課題をもとに、現場適用性を考慮し最適な画像解析手法として PIV 手法を採用し、実際の土石流発生映像をもとに検証を行った。

キーワード:画像解析，リアルタイム，PIV 手法，自動監視システム，土石流センサー

1.　土石流検知センサーの現状

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。土石流発生検知技術としては、既に接触型のワイヤーセンサーや衝撃センサー等が開発・整備されているが、ワイヤーセンサーは一度切断された場合は再度張り直す必要があり、衝撃センサーでは落石等で誤検知が発生しやすい等の課題がある。

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なっている。

2.　既存システムの課題

日野川河川事務所においても既に画像で土石流を検知する非接触型の画像差分法による「画像検知システム」が約10年前から導入されているが、システムの誤検知が多発していた。

表-1　接触型センサーによる土石流検知の課題

センサー型	課　題
ワイヤーセンサー	・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	・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	・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。

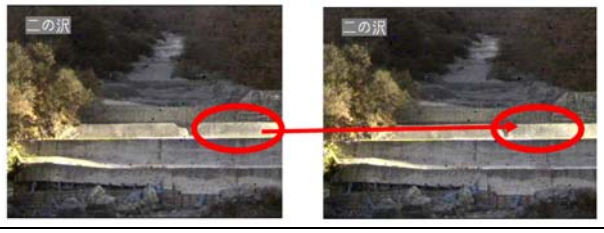
既存の「画像検知システム」では、カメラ画角内に自動車が通過することによる事象、降雨による雨粒がレンズに付着し映像が歪む事象、光の陰影による画面内の色変化による事象等さまざまな要因で誤検知が発生していた。

3.　土石流発生検知手法の選定

(1)　画像差分法の課題

画像差分法は、事前に保存したオリジナル画像と連続的に撮影した現時点の画像の明るさ（輝度値）を比較し、差分閾値を超過した画素が限界率を超えた場合に物体が

表-2　誤検知の主な要因

	状　況
自動車の動き	自動車が検知枠を通過した際に、誤検知が発生
降雨の影響	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
光の陰影	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 

動いたと判断される手法である。

画像差分法の利点は、2 枚の画像で瞬間的に動体の検知が可能であるため計算処理が軽く短時間で判別できることである。しかし、背景画像の輝度値が変化するだけで反応が出ること、同じ色合いの物体の動きに反応すること等により改良を加えても誤検知を減らすことに限界があった。

4. 新たな検知手法の検討

(1) PIV 手法の検討

大山に設置されている砂防用CCTVカメラは表-2の写真に示すように、常時流水がない砂防堰堤を正面から撮

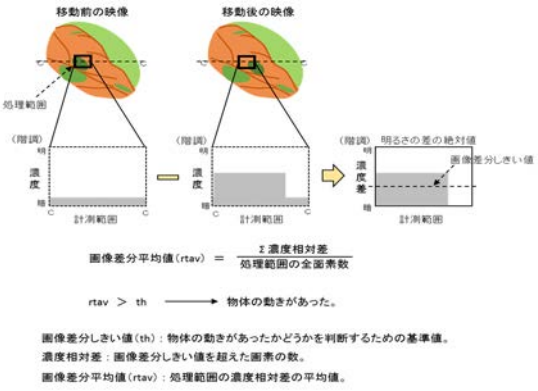


図-1 画像差分法の計測原理

影している。このため、本検討では、砂防堰堤に突発的に流下する土砂を瞬時に捉えることが可能な画像解析技術が適していると判断し、PIV*手法の適用を検討した。

※粒子画像流速測定法（Particle Image Velocimetry）

PIV手法は流下する土砂移動を瞬時に捉えることを得意とする画像解析手法の一つである。

旧手法（画像差分法）では誤検知となった画像の事例をもとに、新たな手法である「PIV 手法」によりリアルタイムに土石流検知が可能であるか検証を行った。

(2) PIV 手法による土石流検知の概要

a) PIV 手法の原理

PIV手法は、時間経過に従って変化する画像の小領域から、一定時間後の移動量をパターンマッチングし流況を求める技術で、画像から流向・流速を求める流速解析

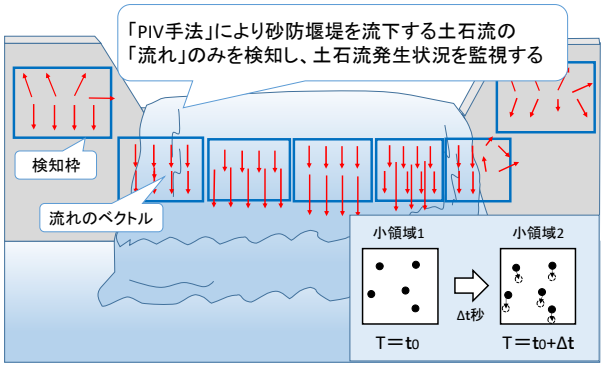


図-2 PIV 手法による堰堤越流部の土石流検知イメージ

手法の一つである。

b) 土石流検知の検知枠・計測点（グリッド）の設定

本手法による検証では、画面内に検知枠（高さ12ピクセル×横12ピクセル）を複数個設定した。その検知枠内には、ピクセルをグループ化した縦6×横6の合計36個の計測点を設定した。

c) 土石流発生検知の判定条件の設定

土石流発生を検知する条件は、①計測点（グリッド）の移動ピクセル数が 2 ピクセル以上であり、②計測点（グリッド）36 点の内で 15 点以上が下方向に連続してベクトルがカウントされたときの 2 つの条件を同時に満たす場合とした。これにより土石流発生時とそれ以外の傾向（平常時や雨等）を分類することが可能となった。

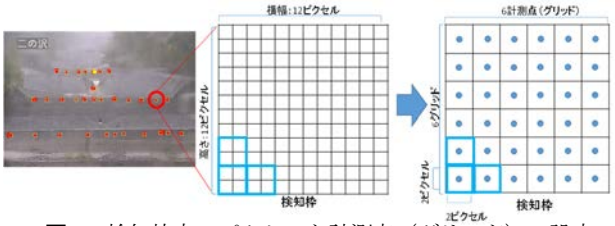


図-3 検知枠内のピクセルと計測点（グリッド）の設定

5. 新手法における土石流検証結果

(1) 土石流検知の検証結果

「PIV 手法」による検知状況について一の沢、二の沢、三の沢の過去の記録映像をもとに検証を行った結果、突

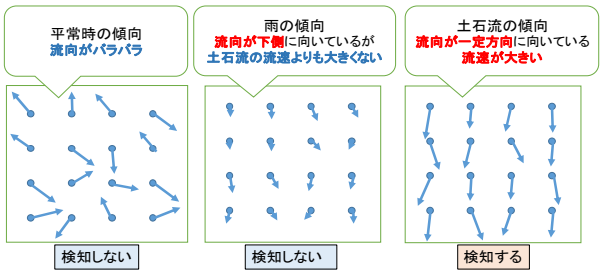


図-4 土石流発生による検知の有無の分類例

発的に発生する土石流発生の瞬間を適切に検知できることを確認した。

(2) 誤検知回避の検証結果

現行システムの「画像差分法」では、誤検知となっていた現象を回避することを目的に、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ことを検証した。検証の結果、現行システム「画像差

一の沢における土石流発生検知　　二の沢における土石流発生検知

図-5 土石流発生の瞬間を検知した事例

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「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。

(3) 画像差分法と PIV 手法による精度比較結果

既存手法の「画像差分法」と新手法の「PIV 手法」による精度比較を行った結果、図-8 に示すように PIV 手法を利用した場合では誤検知回数が大幅に減少した。

図-6 誤検知を回避した事例（1）

図-7 誤検知を回避した事例（2）

ただし、PIV 手法でも雨滴による誤検知発生も数回確認された。今後の改善策としては「画像鮮明化処理」等による画像品質の向上策や、誤検知回避処理を行う等の対策を組合せることで、誤検知率をさらに抑えることができると考えている。

a) 「画像差分法」における誤検知の要因分析

画像差分法では、以下の状況が発生した際に多く誤検知が確認された。特に降雨時には輝度変化も大きくなるため、数分に一度誤検知が発生していた。

＜誤検知の発生状況例＞

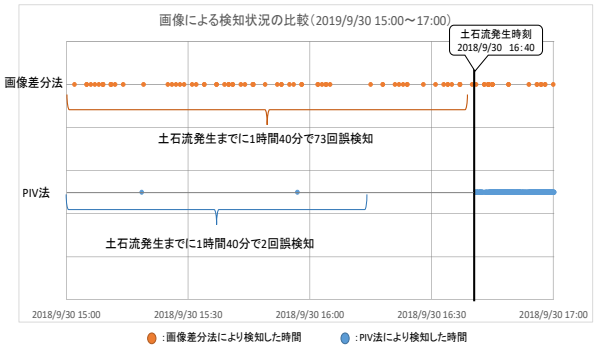


図-8 PIV 誤検知を回避した事例

カメラレンズに雨滴が付着し、雨滴が流れ落ちる状況では誤検知が多く発生していた。

b) 「PIV 手法」における誤検知の要因分析

PIV 手法では、以下の状況が発生した際に誤検知が 2 回確認された。以下に誤検知が発生した際の状況を示す。

＜誤検知の発生状況例＞

カメラレンズに雨滴が付着し、雨滴が流れ落ちる状況

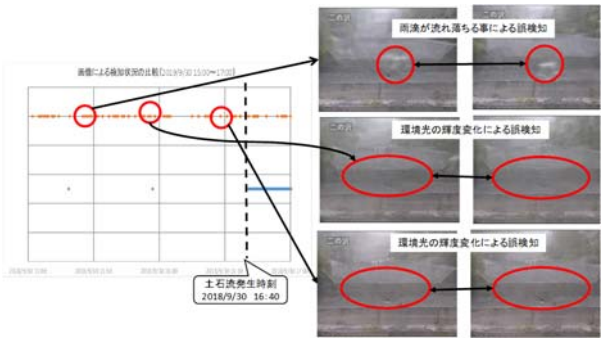


図-9 画像差分法による誤検知発生状況例

では、1時間40分で2回の誤検知を確認した。

以上より、PIV 手法を利用した場合は誤検知回数が少なくなったことが確認できたが、雨滴による誤検知発生も 2 回確認されていることから、この PIV 手法に加えて「画像鮮明化処理」による画像品質の向上策や、単発での検知については誤検知回避処理を行う等の対策を組合

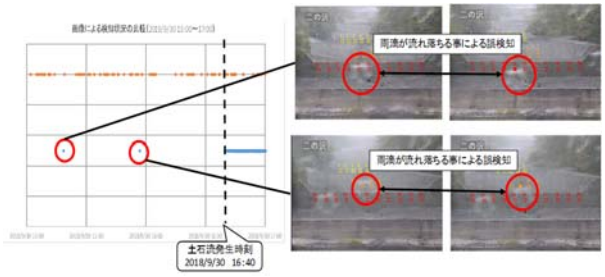


図-10 PIV 手法による誤検知発生状況例

せることで、誤検知率をさらに抑える方法も考慮する必要がある。

(4) 41 万画素と 200 万画素の画像分解能の比較

カメラ解像度の違いによる解析精度差の比較を行った。表-3 のとおり 41 万画素（CCTV カメラ）と 200 万画素（FullHD カメラ）の画像分解能を比較した結果、200 万画素は 41 万画素よりも精度が高くなることが分かる。

三の沢を例にすると、カメラから最遠の砂防堰堤が約 75m であるため、41 万画素カメラでは 8.7 ㎝/pix、200 万画素カメラでは 2.5 ㎝/pix の分解能 となり、200 万画素カメラにすることで約 3.5 倍の解析精度を得られる。分解

表-3 画素数による画像分解能

対象物までの距離	41 万画素の画像分解能	200 万画素の画像分解能
75.0m	0.0870m/pix（8.7 ㎝/pix）	0.0250m/pix（2.5 ㎝/pix）
45.0m	0.0506m/pix（5.0 ㎝/pix）	0.0140m/pix（1.4 ㎝/pix）
20.0m	0.0294m/pix（2.9 ㎝/pix）	0.0081m/pix（0.8 ㎝/pix）

能が向上することで遠い地点の土石流の微小な動きも適切に判別できると予想できる。

現在、国土交通省が推奨する CCTV カメラの解像度は 200 万画素（1920×1080pix）のフルハイビジョンカメラであるため、今後設置するカメラは、10 ㎝/pix 以内を確保するために 200 万画素以上を推奨したい。

６． 土石流の流量算出手法の検討

これまで接触型の機器では土石流の接触等で機器が損傷するため、土石流の流量を計測する手段がなかった。しかし、近年では画像解析技術の進展により、土石流の

図-11　41 万画素の CCTV カメラによる画像

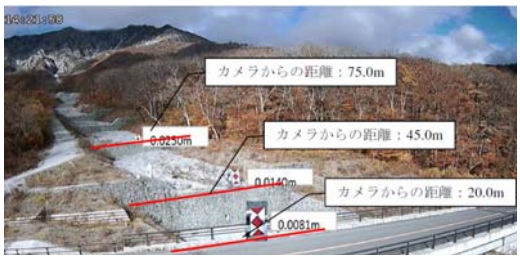


図-12　200 万画素の CCTV カメラによる画像

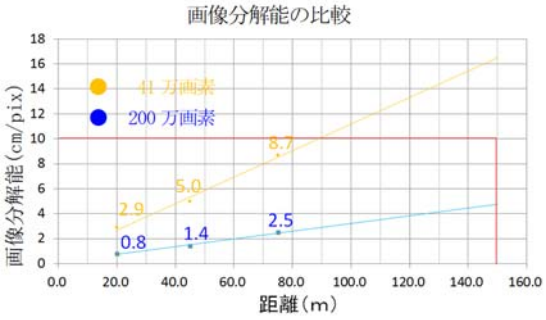


図-13　41 万画素と 200 万画素の画像分解能の比較グラフ

流量を非接触で計測することが可能となりつつある。本検討では、土石流検知に加え画像解析により土石流の流量を算出する手法について検討を行った。

(1)　土石流量の算出方法の検討

画像解析技術を利用し、袖部に接する水面位置を輝度（明るさの度合い）から 自動判別させ「水位計測」を行う。 流速計測では、画質が悪い状態でもリアルタイムに計測可能な STIV*手法を利用し横断面を複数の検査線で分解し各検査線の表面流速を自動計測する。「水位」と「流速」を非接触で同時計測し、砂防堰堤の横断形状をもとに流量を自動算定できる仕組みとする。

*STIV：Space-Time Image Velocimetry の略

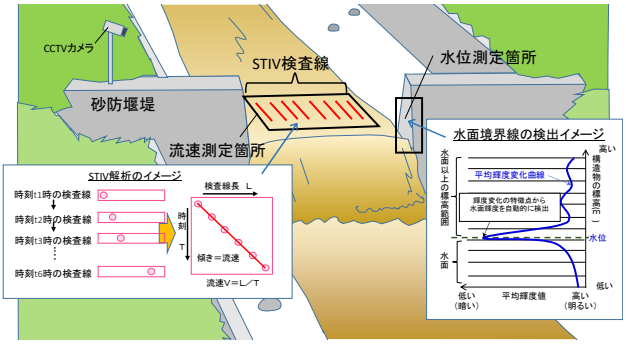


図-14　画像解析を利用した水位・流速の計測方法

(2)　画像による流量計測時の課題

現在、CCTV カメラは砂防堰堤を正面から撮影する画角で設定されているため、流量算出にはカメラを横方向へ旋回して水位・流速を計測しやすい画角を変えることが必要となる。

また、夜間時においても流況の波紋を確実に捕捉するために赤外線等の光源をもとに流下する映像から水位および流速を計測する必要がある。また流速解析時の映像のフレームは 1/15 秒の映像コマが必要となるため、映像を確実に取得できるカメラおよび蓄積機能が必要である。

これらの課題については、令和元年度の CCTV 改良工事においてカメラ機能の改良を行い、カメラの自動旋回および赤外線照明による映像の取得機能を改善したため流量計測における体制が整備された。

７． まとめと今後の展開

本検討では、大山（一の沢、二の沢、三の沢）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、誤検知を少なく確実に検知できることが検証結果より明らかになった。

また画像解析技術を利用して流量算出を行う手法について検討を行い、映像取得における体制が整えられた。

これまでの検討をもとに現在システム構築を進めており、今後は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、検知および流量精度の検証が進められていくものと期待している。