

成蹊大学 ○小野哲治 青木正喜
日本無線 松木功

概要

土石流が発生する可能性の高い川に固定監視カメラを設置して、その画像から土石流の検出を行う。土石流を検出するために、フレーム間差分と特定点についての画素値の時間変化に注目する。これらを組み合わせて用いることにより、土石流の検出を行った。

1. はじめに

今まで用いられてきた土石流発生検知装置として、ワイヤセンサがある。ワイヤセンサは川に設置してあるワイヤが切断されることにより、土石流検出を行う。そのため、一度切断されると、それ以降は検出できないという問題点がある。このような既存のセンサに替わる、または補完する非接触型センサとして固定監視カメラの映像から、画像解析を用いて土石流発生検知の目指す。これにより継続的に河川を監視することが可能となる。

2. 土石流による画像の変化

本研究では画像解析を用いて、土石流検出を行う。そこで、土石流が発生した際に、画像として何が起きるのかを考える。

2.1 性質の変化

定常状態において、川の流れている内側と岸である外側に注目して考える。降雨による増水、土石流発生、等により流量が増加した場合、川幅が広がる。流量増加前は、川(流れが存在する)と岸(流れが存在しない)のように大きく性質の異なる2点だが、流量増加後、両方共に流れが存在するため、差が少なくなり同じような性質を示す(図1)。

本研究では、何らかの要因によって河川の流量が増加した状態を「川の流れの異常」と定義する。

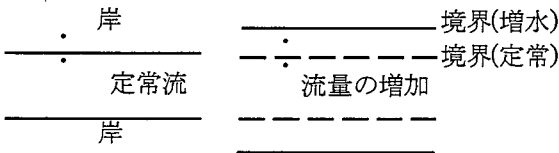


図1 川幅の増加

2.2 局所的な変化

画像上の特定点(局所)について時間変化を考える。定常流の状態において、変化の少ない場所に土石流が到達すると、それと共に大きな変化が起きるはずである(図2)。

川の流れに対して垂直方向の特定点に注目する。段波も同様に流れに対して垂直方向の幅を持って押し寄せてきた場合、注目点群の変化は同時刻に起きるはずである(図2)。

また、その注目点群を川から岸にかけて設置した場合、変化の起きた注目点の場所から段波の幅を推定できる。

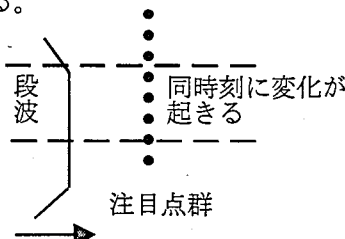


図2 特定点の変化

2.3 大局的な変化

特定点の集合は局所的な情報である。それに対して大局(画像全体)での変化を考える。土石流は定常流と比べて、流速、流量が共に大きいので、画像の時間変化が大きくなる。これらの変化している領域を土石流の流れている範囲の目安として用いることができる。本研究では、画像の時間変化の大きい領域を「変化領域」と定義する。

3 アルゴリズム

土石流が画像に及ぼす影響から下図の様に土石流検出の流れを組み立てた。

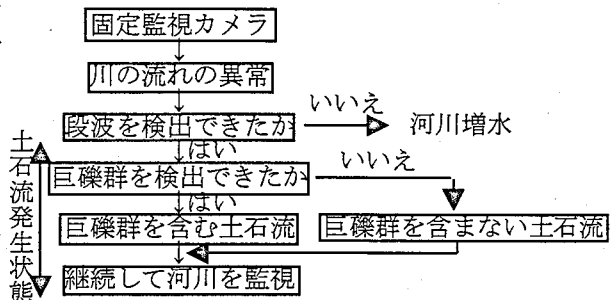


図3 アルゴリズム

4 対象画像

固定監視カメラから得られた画像を図4に示す。解像度は360×240、モノクロ256階調である。定常流の状態から土石流が到達して泥流と変化する画像である。参考のために目視で土石流と川とダムの部分に線を描いた。



図4 土石流画像 定常流=黒, ダム=白, 土石流=灰

5 土石流の検出手法

時系列画像に対して、画像上の特定点についての画素値の時間変化に注目する。本研究では雑音の影響を少なくするために、注目画素を中心として5×5画素の平均画素値を用いる。それに加えて、フレーム間差分を適用する。

5.1 川の流れの異常

川の流れの異常を検出するために、図5に示す川岸の4組に注目した。第1組の画素値の時間変化を図6(a),(b)に示す。その差を計算し(式(1)), 移動平均フィルタで平滑化(式(2))を行う(図8(c))。これらから、土石流到達と共に、画素値の差が減少していることがわかる。そこで、全ての組のM(t)が10未満に収まれば、川の流れの異常と判定する。

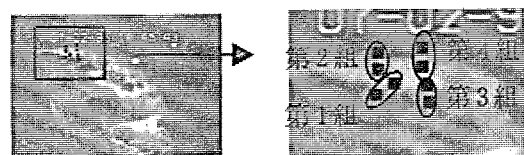


図5 川岸の4組

$$D(t) = f_1(t) - f_2(t) \quad \text{式(1)}$$

$$D(t): \text{画素値の差}$$

$$f_1(t): \text{画素値(定常流} \rightarrow \text{土石流)}$$

$$f_2(t): \text{画素値(岸} \rightarrow \text{土石流)}$$

$$M(t) = \frac{1}{60} \sum_{i=-59/30}^0 D(t) \quad \text{式(2)}$$

$$M(t): \text{移動平均フィルタ}$$

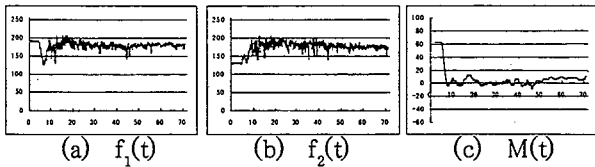


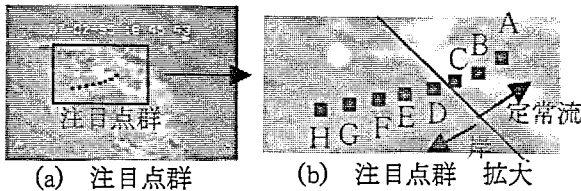
図6 第1組の画素値とその差

5.2 段波の検出

段波を検出するために、図7に示す8点に注目した。注目点Bにおける画素値の時間変化を図8(a)に示す。また、過去2秒の最大値と最小値(式(3))を用いて変化量を示す(図8(b))。これは段波発生時の画素値変化がある程度時間及んでいるためである。

何も変化が起きていない時、 $g(t)$ は常に10未満に収まっている。この値に余裕を持たせ、 $g(t)$ の閾値=20と設定した。

定常状態において、D以降は岸の部分(図7(b))なので、同時刻にA,B,C,Dの $g(t)$ が閾値以上ならば(定常流よりも幅が広い)、段波発生とする。もう一つの条件として、全8点の注目点の中で閾値以上の注目点が6個以上ならば、段波発生とする。そして、閾値を越えた注目点の数で、段波の幅を表す。



(a) 注目点群 (b) 注目点群 拡大

図7 段波の注目点

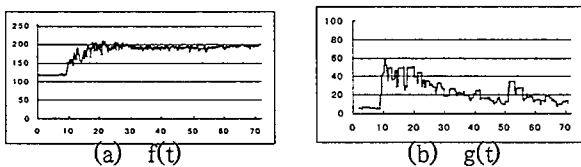


図8 注目点Bの時間変化

$$g(t) = \max(t) - \min(t) \quad \text{式(3)}$$

$$\max(t) = \max\{f(t) \mid -2 < t \leq 0\}$$

$$\min(t) = \min\{f(t) \mid -2 < t \leq 0\}$$

$$f(t): \text{画素値の時間変化}$$

5.3 変化領域

変化領域を算出する手法としてフレーム間差分を用いる。本研究では動きの大きい部分を検出することを目的としているので、フレーム間差分の絶対値を用いる(式(4))。さらに、閾値(Th)を設定して二値化(式(5))を行う(図9)。これは、閾値以上の画素は動きの大きい領域と見なすためである。これが変化領域に対応する。そして、Th以上の画素の面積を求める(式(6))ことで画像全体として動きの大きさを示す(図10)。

実際にフレーム間差分を適用する場合は1/3秒(10フレーム)毎に処理した。これは処理する時間間隔が短いと、画像の変化が小さいためである。土石流発生前の2枚の画像(1フレームと11フレーム)からフレーム間差分絶対値を求め、その頻度分布から、定常的な流れを検出しないため、Th=20と設定した。

$$FD(x,y) = |f_n(x,y) - f_{n-1}(x,y)| \quad \text{式(4)}$$

$$FD_n(x,y): n \text{ フレームと } n-1 \text{ フレームの}$$

$$\text{フレーム間差分絶対値}$$

$$f_n(x,y): n \text{ フレームにおける } (x,y) \text{ の画素値}$$

$$n: \text{ フレーム番号 } (n \geq 2)$$

$$B(x,y) = \begin{cases} 0 & FD_n(x,y) < Th \\ 1 & FD_n(x,y) \geq Th \end{cases} \quad \text{式(5)}$$

Th: 閾値

$$N_n = \iint B(x,y) \quad \text{式(6)}$$

$$N_n: Th \text{ 以上の画素数}$$



図9 二値化画像
462-452 フレーム

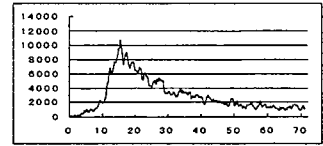


図10 N_n の時間変化

5.4 巨礫群の検出

フレーム間差分を用いて巨礫群の検出を行う。図9のように、フレーム間差分二値化画像では、ダム断面から巨礫群が急激に現れるために、その近くに大きな連結成分として表れる。そこで、二値化画像に対してラベリングを行い、ダム断面(図11)に接触している中で最大の連結成分を用いて、巨礫群の有無を判定する(図12)。

土石流先端部に含まれる巨礫の大きさは約2mから約5mなので、画像上で直径が約2mから約5mぐらいの円の面積に対応する画素数を巨礫群の閾値として設定できる。砂防ダムの高さは5m前後なので、これを元に、検出する巨礫の大きさを仮定した(図13)。そこで、ダム断面の最大連結成分が1200画素以上ならば、巨礫群が存在すると判定する。

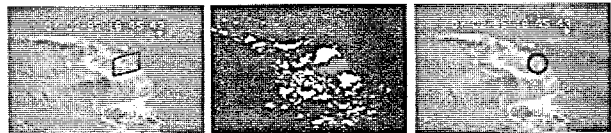


図11 ダム断面 図12 ダム断面の最大連結成分 図13 巨礫の閾値 1200画素

6 結果

今まで述べてきた検出手法を図3のように組み合わせ、土石流検出を試みた。その結果を図14に示す。参考までに、注目点(川の流れの異常の4組、段波の8点)を図示してある。

表1 検出項目

状態	定常: 定常状態 異常: 川の流れの異常 土石: 土石流発生状態		
段波	段波の有無	段幅	段波の幅
巨礫	巨礫の有無	面積	変化領域の面積



(a) 0.34秒 状態: 定常 段波: 無 段幅: 0 巨礫: 無 面積: 123
(b) 8.06秒 状態: 異常 段波: 無 段幅: 0 巨礫: 無 面積: 1363
(c) 29.2秒 状態: 土石 段波: 有 段幅: 7 巨礫: 有 面積: 10816

図14 検出結果

7 結論

本研究では、簡単な手法を組み合わせることで土石流状態を判別し、巨礫を検出した。今後の課題は、流出土砂の体積推定、等である。