

PI-36 画像情報を用いた土石流検知手法の検討

第3報：安全の立場からみた移動障害物誤検知問題について

独立行政法人 産業安全研究所 ○濱島京子 堀井宣幸 豊澤康男 玉手聡

1. はじめに

本質的に崩壊危険性の高い現場で行われる砂防工事や災害復旧工事では、土砂崩壊災害に遭遇する可能性が極めて高いため、災害防止対策として監視人の配置または検知機器の設置が求められている[1]。検出性能の高いワイヤーセンサが検知機器として使用される事が多いが、このセンサの問題点は(1)設置時に危険箇所への立入が必要、(2)動物や流木等によるワイヤ切断、(3)連続検知が不可能、等であり、より確実な安全確保のためには何らかの補完対策が必要とされている。これに対し画像検知センサの特徴は(i)機器設置が容易かつ危険箇所への立入が不要、(ii)土石流による機器破損がなく連続検知が可能、(iii)他種検知センサの誤検知要因の影響を受けない、等であることから、既存の検知機器と併用する事によりシステム全体の検知性能の向上が可能となる。現在、各種画像検知センサの開発が行われているが監視領域の正常性や誤検知問題を安全面から考慮したものは少ない。本報告では、「確定的な安全」を保証する安全確認型システムを軸に誤検知問題について述べる。

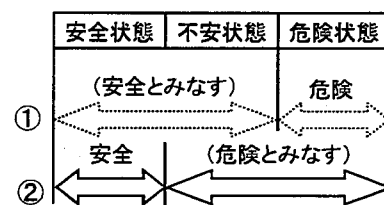
2. 安全監視と誤検知問題

人の安全を守ろうとする時は、確率的要素をできるだけ排除し「確定的な安全」を保証しなければならない[2]。確定的な安全とは、安全確保の原理が決定論に基づいている安全のことをいう。機械安全の分野で強く提唱されている「安全確認型システム」は「安全が確認できたときだけ機械の運転を許可するシステム」であり確定的な安全を保証する。このシステムでは、機械故障時や環境側の安全が確認できない時はON信号(作業許可信号)が出力されない(図1)。画像検知センサやワイヤーセンサも機械装置であるため、安全確認型で設計を行う必要がある。安全確保の正当な手順に従うと、カメラを用いた安全監視システムでは以下の3点が満たされている時のみ許可信号を出力しなければならない。

- (1) 安全性：安全状態(土石流が発生していない状態)であること
- (2) 監視領域の正常性：カメラが監視している領域が正常であること
- (3) 機能の正常性：システムが正常に機能していること

工場等の安全監視では、危険領域内に人がいないことが安全状態である場合にはリファレンスパターンを用いて上記3点の確認が行われる。床面に敷いたパターンをカメラで撮影し、パターンが全て正常に見える時は監視領域内を安全とみなす。パターンの一部が見えない時は人間が領域内に侵入したとして危険と判断する。安全確認型の検出器は安全状態を高いエネルギー状態(パターンの照射)として検出することが基本とされているが[2]、土石流検知においては観測対象が自然環境であることからパターンの設置等は難しい。また土石流流下予想域を通過するエネルギー場を作り出すためには、危険領域への立入が必要となる。このため画像状態の変化から安全性を判断しなければならない(この点において真の確定的な安全が保障されない可能性は現状では否めない)。

画像検知方式は主として、流体の速度またはフレーム間での画素差分値変化を利用した2種類の検知方法が存在する[3][4][5][6]。これは突発的に発生し高速で流下するという土石流の特徴が、画像空間内においてある単位時間内に急激な速度ベクトル変化や色成分(画素値)変化を引き起こすためである。いずれの手法においても、単位時間内における画素値の変化が閾値以上であるか否かで土石流判別を行う。従って画面内に侵入した移動障害物等により同様の画素値変化が発生すれば、それらもまた土石流として検知される。従来、こうした識別は「誤検知」として扱われてきたが安全上は正常解としなければならない。表1に土石流検知における安全に関する3状態を示す。安全状態では観測領域の映像を明瞭に取得していることが条件となるため、観測領域を遮蔽し監視の障害となる移動障害物の存在は不安状態と識別しなければならない。画像監視に用いられる一般的なカメラの映像取込速度は33msecであり、様々な識別処理を実行するとシステム全体の検知サイクルは毎秒数回程度となる。このため状況によっては移動障害物が観測領域を遮蔽しても土石流として検知できない可能性があり、土石流検知が不可能であるにも関わらず、その異常をシステムが検知できないという安全上最も危険な状態に陥る。従って、画面内に侵入した移動障害物をいち早く検知し、対策を促すための処理が必要となる。本研究では土石流検知ウィンドウの他に移動障害物検知ウィンドウを設け、画面内に侵入した障害物検知を行っている。



①:危険検出型による検知 ②:安全確認型による検知

図1 安全に関する3状態(文献)

表1 土石流検知における安全に関する3状態

	安全状態	不安状態	危険状態
安全性	土石流なし	判別結果が曖昧	土石流あり
監視領域の正常性	観測領域が明瞭	観測領域が不明瞭 (障害物による遮蔽、濃霧など)	
システムの正常性	正常動作	故障などの異常動作	

本研究では土石流検知ウィンドウの他に移動障害物検知ウィンドウを設け、画面内に侵入した障害物検知を行っている。

3. 検知実験例

まず、観測画面を土石流流下領域および非流下領域の2種に分類する。流下領域上に土石流検知ウィンドウを設定し、背景差分による検出処理を実行する。土石流非発生時に作成した背景画像と観測画像との差分を計算し、差分値が閾値以下の場合には安全状態とみなす。また、日光等の環境変動に頑健な差分を実現するため適応的背景推定処理[0]を実行している。非流下領域上には障害物検知ウィンドウを設定し、背景画像および観測画像間の類似度を測る相関係数により障害物を検知している。実際の土石流映像および一般の屋外環境に対する検知実験の様子を図2、図3に示す(図中に表示された識別結果が本稿印刷時に見易くなるよう、描画ツールを用いて結果表示部分を強調した)。図2は水無川流域で発生した土石流映像に対する実験結果である。図中央付近の4つの四角枠は土石流検知用ウィンドウであり、安全状態では白色、危険状態では黒色に色が変化しメッセージを表示する。また4つの白い破線で囲まれた領域は障害物検知ウィンドウであり、安全時には画面右下に白地に黒文字で安全メッセージを、障害物検知時には黒地に白文字で警告メッセージを表示する。図2では画面左下に表示されたタイムカウンタの変化が障害物として検知されている。図3は林の奥に存在する一般道を通る乗用車を土石流とし、林前面を通過する移動体を障害物と仮定した際の実験結果である。図中央の白枠領域が土石流監視ウィンドウであり、安全状態には白枠を表示し、危険状態には白く塗りつぶされた領域に変化する。乗用車の通過領域の手前に林が存在するという比較的観測条件の悪い状況で実験を行ったが、通過した乗用車および障害物の全てが検知可能であった。

4. さいごに

人命を守るための各種検知機器は、確定的な安全を確保する安全確認型システムで設計される事が望ましいが、土石流検知のように屋外環境においては適用が難しい状況も存在する。しかしその思想を取り入れ、確率的要素を排除する努力は必要である。本稿では移動障害物に対する誤検知問題を安全の立場から見つめ直し、正常解としなければならない理由および障害物検知の必要性について述べた。今後は天候変化による監視領域の正常性判断などについても検討を行いたい。

5. 参考文献

1. 建設業労働災害防止協会, "土石流による労働災害 防止の手引き", 建設業労働災害防止協会, 1999.
2. 向殿政男 監修, 安全技術応用研究会編, "国際化時代の機械システム安全技術", 日刊工業新聞社, 2000.
3. (社)建設電気技術協会調査研究部, "画像処理による土石流発生検知方式", 建設電気技術技術集, pp.42-46, 1998.
4. 小山俊彦, 稲葉宏幸, 板倉安正, 笠原正雄, "MPEG 画像を用いた土石流の発生検知システムの提案", 1998年映像情報メディア学会年次大会予稿集, pp.382-383, 1998.
5. 東裕俊, 菅本昌克, 宮倉由紀夫, "遠隔監視による斜面崩壊発生検知システムの実用化について", 土木情報システムシンポジウム講演集, Vol.24, pp.161-164, 1999.
6. 横尾正幸, 細矢知秀, 小櫻義隆, "CCDカメラを利用した土石流・落石検知システムの開発", 横河ブリッジグループ技報, No.29, pp.150-153, 2000.
7. 島井博行, 三島健稔, 栗田多喜夫, 梅山伸二 "移動物体検出のためのロバスト統計を用いた適応的な背景推定方法", MIRU2000 講演論文集, Vol.2, pp.391-396, 2000.

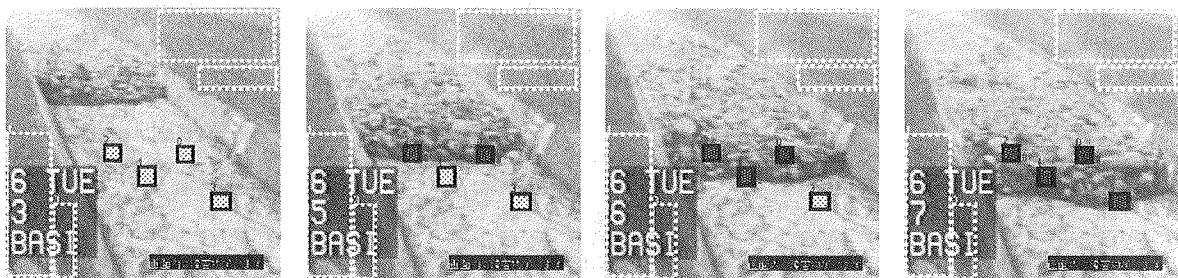


図2 実際の土石流映像(水無川)を使用した検知実験

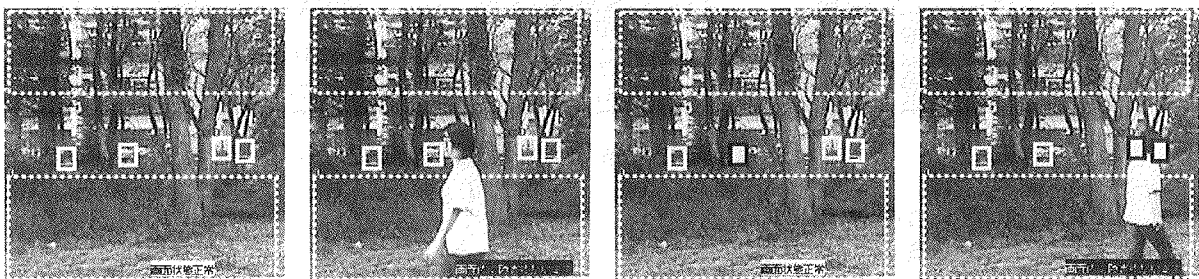


図3 屋外環境における移動体検知実験