

## 5. 画像情報を用いた土石流検知手法の検討\*

濱島京子\*\*, 堀井宣幸\*\*\*,  
豊澤康男\*\*\*\*, 玉手 聡\*\*\*\*

## 5. Detection Method for Debris Flow using Visual Information\*

by Kyoko HAMAJIMA\*\*, Nobuyuki HORII\*\*\*,  
Yasuo TOYOSAWA\*\*\*\* and Satoshi TAMATE\*\*\*\*

**Abstract:** There is an extremely high possibility of encountering a landslide due to debris flow in erosion control work and disaster relief work conducted on site where the ground may essentially collapse with a high degree of danger. Due to its large destructive force in particular, there is a large possibility that the landslide may develop into a labor accident with many deaths or injuries. To avoid a disaster due to this sudden debris flow, the key points are how quickly the occurrence is detected and whether it is possible to flee to safe shelter before the debris flow arrives. To achieve these goals, a system must be developed at the work site with placing observers or detection systems to ensure detection of the debris flow, an evacuation alarm that is certain to reach workers, and shelter that workers can move to within a short amount of time. Wire sensors that are frequently used as a detection system because of their highly reliable detection, have several problems: (1) workers must enter areas where there is a danger of debris flow during placement of the system, and (2) continual detection is not possible. Therefore, supplementary measures are needed to ensure further safety. Currently, an image detection sensor has been a focus of constant attention for its use as a detection system to compensate for these problems. The characteristics of this image detection sensor are: (i) easy placement of the system with no need for workers to enter dangerous areas and (ii) there is no system damage due to the debris flow and continual detection is possible. Thus, improvement of the system's detection capability as a whole is possible if it is used in combination with existing detection systems. However, there are few image detection sensors among those currently being developed that are designed to take safety theories into consideration. In order to create a safe work site, a system must ensure and maintain safety. There are theories for safety that are defined by ISO and the like in the field of mechanical safety.

This report will examine misdetection problems and image detection sensors that are pivotal to a Safety Reporting System that guarantees "definite safety" and offer suggestions for the determination of safe conditions with image detection sensors. In addition, this report will describe the creation of an image detection program to run on a machine with Personal Computer (PC) and the results of detection experiments that were performed with the program.

**Keywords;** Debris flow, Monitoring system, Image processing, Safety

\* 第10回インテリジェント・システム・シンポジウム, 第33回安全工学研究発表会, および平成13年度(社)砂防学会研究発表会(2001年5月)において一部発表した。

\*\* 境界領域・人間科学安全研究グループ Interdisciplinary and Human Science Safety Research Group

\*\*\* 研究企画調整部 Research Planning and Coordination Division

\*\*\*\* 建設安全研究グループ Construction Safety Research Group

### 1. はじめに

本質的に崩壊する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、土石流による土砂崩壊災害に遭遇する可能性が極めて高く、特にその破壊力の大ききから、多数の死傷者が生ずる労働災害に発展する可能性が高い。土石流による災害を免れるためには、発生をいかに早く検知し、土石流到達前に安全な避難場所へ逃げる事ができるか、が重要な鍵となる。これらを実現するためには、土石流発生を確実に検知するための監視人または検知機器の配置、作業者に確実に届く避難警報、作業者が短時間で移動可能な避難場所、などの総合的な対策を作業現場に構築することが必要である。

平成8年12月6日に長野県と新潟県の県境にある蒲原沢にて発生した土石流災害においては23名が死傷するという重大災害となったが、その原因は警報設備、土石流検知機器設置や監視人配置の不備、および避難用各種装備等の不備が原因とされている。これを受けて蒲原沢土石流災害以後に改正された労働安全衛生規則と相まって定められた「土石流による労働災害防止のためのガイドライン」においては、降雨量が警戒降雨量基準に達した場合に事業者が講ずるべき措置として、(イ) 作業中止及び避難、(ロ) 監視人の配置による土石流発生の監視、(ハ) 土石流検知機器等による土石流発生の検知、の3項目を定めている<sup>1)</sup>。

土石流検知機器の特徴については、第6章に詳細が述べられているが、共通する主な特徴は、機器設置時に土石流の予想流下領域内の危険箇所への立ち入りが不可欠となる点である。

検知機器としては通常ワイヤーセンサが用いられる事が多いが、このセンサは検出性能は高いものの連続検知が不可能という問題があり<sup>1)</sup>、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。現在、こうした欠点を補う検知機器として、画像検知センサが目ざされている。

画像検知センサの特徴を Table 1 に示す。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ち入りが不要、(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難い、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されている。

現在、各種画像検知センサの開発が行われているが、監視領域正常性確認などの安全確認手順が考慮されているものは少ない。

安全な作業現場を実現するためには、「作業現場の安

Table 1 Features of monitoring system.  
画像検知機器の特徴

センサ名称	画像センサ
観測・検知方法	土石流映像を画像処理することで発生を検知
特質	<ul style="list-style-type: none"> <li>映像による検知のため繰返し使用可能</li> <li>機器設置時に危険領域への立ち入りが不要</li> <li>他の異動物体による誤作動の危険性がある</li> </ul>
選定に当たっての留意事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>土石流の映像を鮮明に捉えられるようカメラを設置する必要がある</li> <li>工事用車両等の異動物体による誤動作に配慮</li> <li>夜間・悪天候（濃霧）時に配慮する必要がある</li> </ul>

全状態が確認されている時だけ作業の実行が許可される」という仕組みを、現場内に構築することが必要である。この仕組みは、安全確認型システムとよばれる動作原理を持つ土石流検知センサを使用して土石流検知・警報システムを構成することにより実現可能である。

安全確認型システムの動作原理とは「安全であるかどうかを常時確認し、安全であることを通報する」というものである。

一方、安全確認型システムと反対の動作原理を持つものに、危険検出型システムがある。危険検出型システムの動作原理とは「発生した危険を検出し、危険であることを通報する」というものである。危険検出型システムには安全上、大きな問題があり、この問題についての詳細は第6章で述べられている。

こうした理由から、各種土石流検知センサは安全確認型システムの動作原理を用いて設計されなければならないが、既存の土石流検知センサの多くは、安全確認型システムではなく危険検出型システムの動作原理を採用している。画像検知センサも例外ではなく、安全確認型システムの構造を持つセンサは少ない。

本章においては、安全確認型システムの動作原理を用いた画像検知センサについて検討を行った結果、およびその結果に基づく画像検知センサの実験結果について述べる。

### 2. 安全の原理

画像検知センサを設計する際に必要となる安全確認型システムの考え方について以下にまとめ、次に画像検知センサにおいて安全確認型システムの動作原理を構築する方法について述べる。

### 2.1 安全確認型システムの考え方とは

機械安全の分野では、人間に危害を加える可能性のある機械を「危険源」とし、危険源と人間の分離方法、特に人間が危険源のそばにいる時に危険源を活性化させない方法について検討が重ねられている。こうした機械と人間の混在環境の中で、人間の安全を保証するために考案されたシステム構築方法が安全確認型システムである<sup>2)3)</sup>。この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構造を有しており、具体的には「作業者が機械の運転範囲内にいないことを直接検知したとき機械の起動と運転の継続を許可する安全システム」である<sup>3)</sup>。安全確認型システムの基本モデルを Fig. 1 に示す<sup>2)3)</sup>。

この概念を土石流検知に当てはめると、まず危険源は土石流となり、各種検知装置は危険源と人間とを分離するための安全装置として捉えることができる。次に、土石流のない状態を安全状態とし、検知装置にて安全状態が確認された時のみ、現場での作業が許可される。

また、Fig. 1 に示すように、安全確認型システムでは AND 素子による判断機能を用いているために、安全状態が確認できない時には安全信号が ON 状態にならず、機械の起動は許可されない。このため、安全状態の確認方法が重要なポイントとなる。安全確認型システムでは安全状態の確認方法として直接検知方式を基本としている。Fig. 2 に安全確認型システム（直接検知方式）と、危険検出型システム（間接検知方式）の違いを示す。また、これらの2つのシステムによる状態判別の違いを Fig. 3 に示す<sup>2)3)</sup>。Fig. 3 に示すように安全に関する状態は3種存在する。不安状態とは安全とも危険とも断定できない曖昧な状態なことである。画像検知センサの場合には、濃霧や移動障害物により観測領域が遮蔽された状態などが不安状態に相当する。この状態においては、土石流映像を明瞭に捉えることができないため、実際には危険状態であるにもかかわらず、システムは安全状態と判別する危険がある。安全確認型ではあらかじめ定められた安全状態を確認できた時のみ作業許可信号を出すのが、危険検出型では不安状態においても作業許可信号を出してしまうという、安全上重大な欠陥が存在する。このように2つのシステム間では判別結果に重大な差が生じるにも関わらず、現実には危険検出型システムで画像検知センサが設計されていることが多い。

### 2.2 画像検知センサの正常性確認方法

安全確保の正当な手順に従うと、カメラを用いた安

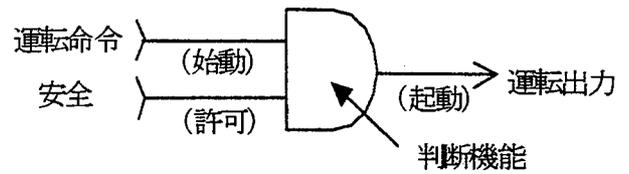


Fig. 1 Basic model of Safety Reporting System<sup>2)3)</sup>. 安全確認型システムの基本モデル<sup>2)3)</sup>

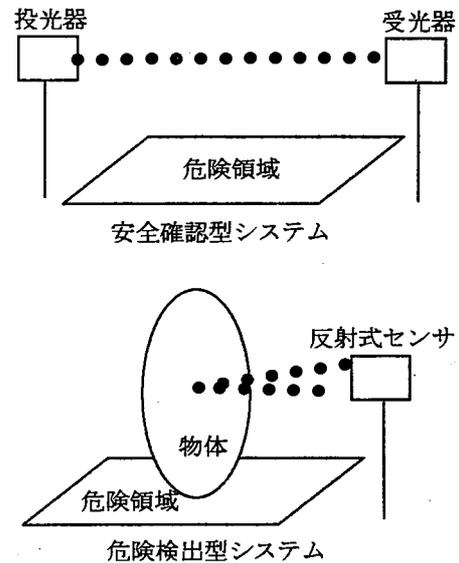


Fig. 2 Safety Reporting System and Hazard Detecting System. 安全確認型システムと危険検出型システム

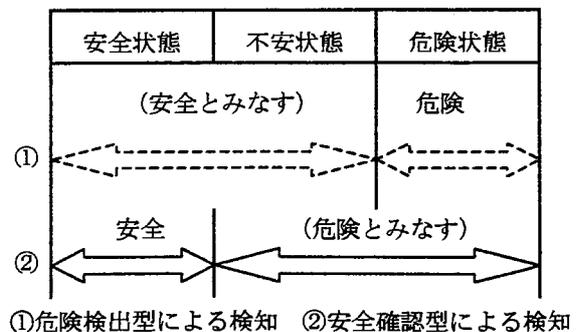


Fig. 3 Three states of safety<sup>2)3)</sup>. 安全に関する3状態<sup>2)3)</sup>

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作業許可信号を出力しなければならないとされている<sup>4)</sup>。つまり画像検知センサにおいて、「安全状態」を確認するためには、次の3つの正常性確認処理を行う必要がある。

- 1) 安全性：土石流が存在しないこと（直接検知方式で確認する）。

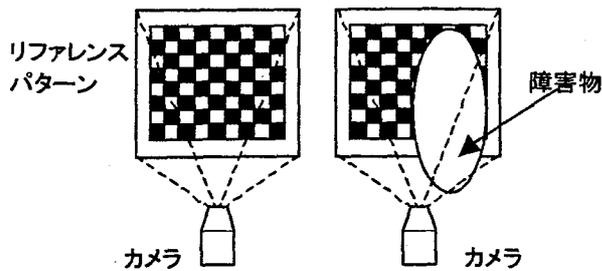


Fig. 4 The detection method using the reference pattern.  
リファレンスパターンを用いた検知方法

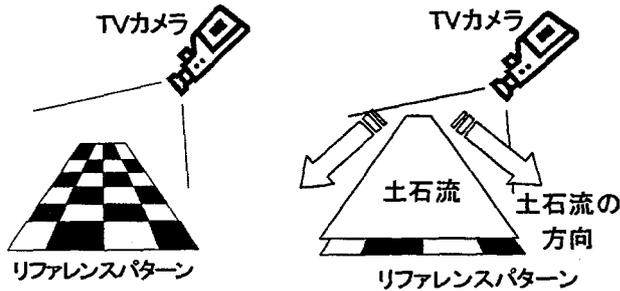


Fig. 5 Debris flow detection using the reference pattern.  
リファレンスパターンを用いた土石流検知

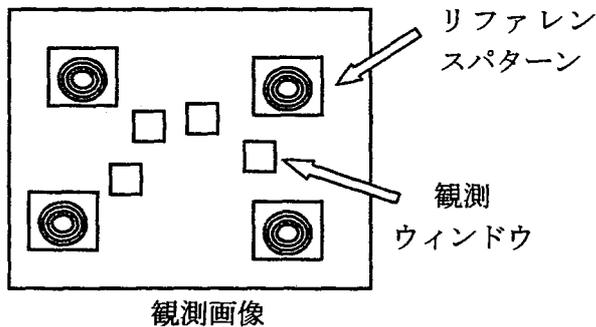


Fig. 6 Detection method using the reference pattern partially.  
部分的にリファレンスパターンを用いた検知手法

- 2) 監視領域の正常性：カメラが監視している領域が、観測に適した正常な状態であること。カメラが正常な位置を観測していること。
- 3) 機能の正常性：監視システムが正常に機能していること。

安全確認型の検出器は安全状態を高いエネルギー状態として検出する直接検知方式が基本とされている<sup>2)</sup>。画像検知装置の場合には通常、高いエネルギー状態を表すものとして、Fig. 4に示すリファレンスパターンを用いる方法が採られる。リファレンスパターン方法の安全状態は、カメラ映像内でパターンが全て正常に

検出されている状態（位置や個数など）として定義される。侵入物体によりパターンの一部が遮蔽されている状態や、カメラが正常な位置を観測していない場合には、安全状態として定められたパターンが検出できないため、危険状態として識別される。この方式では、パターン設置が必要となるものの、安全な状態が明確に定義されるため、安全状態のみを確実に検知することが可能である。リファレンスパターンを用いた土石流検知手法の理想的な例を Fig. 5 に示す。

しかしながら、土石流流下予想域上にエネルギー場を作り出すためには、危険領域への立ち入りが必要となり実際には土石流の流下予想域上にリファレンスパターンを設置することは困難である。その対策として、安全確認型システムと危険検出型システムを組み合わせた方式が考えられる (Fig. 6)。

この方法では、画像検知センサの機能確認用として、複数のリファレンスパターンを観測領域付近に設置する。安全状態として定められたパターンが確認される時は、監視領域の正常性および機能の正常性が証明されたとする。濃霧等により観測領域が不明瞭な場合にはパターン確認が行えないため、危険状態として判別される。この方式の問題もリファレンスパターン設置時に危険領域（土石流流下予想域）への立ち入りが必要になる可能性があることである。現場の状況によってはパターン設置そのものが困難であることも想定されるため、現場毎の状況に合わせたシステム構築が求められる。

### 3. 安全監視と誤検知問題

画像検知方式には主として、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<sup>5)6)7)8)</sup>。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 (1) 急激な速度ベクトル変化や (2) 色成分 (画素値) 変化に現れるためである。(1) は主にオプティカルフローや動ベクトルを用いた検知方式で、文献<sup>6)7)8)</sup>で示されている。(2) は、各画素値を色空間におけるベクトルとして表現し、土石流発生前後の色成分変化をベクトル間距離により計測し判別する手法であり、文献<sup>5)</sup>で示されている。

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引き起こされれば、それらもまた土石流として検知される。

従来、こうした判別結果は「誤検知」として扱われてきたが安全上は正常解（すなわち、危険状態）とし

Table 2 Three states in debris flow detection related to safety.

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	土石流未発生	判別結果が曖昧	土石流発生
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, 濃霧等)	
システムの正常性	正常動作	故障などの異常動作	

なければならない。Table 2 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、すなわち危険状態であると識別しなければならない。

4. 検知手法の提案

検出された画像上の「動き」は全て危険状態として判断しなければならないものの、移動障害物が頻繁に発生する状況では、作業者の危機意識や装置に対する信頼感を低下させる可能性もある(ただし、ユーザに対して安全確認型の概念を説明する努力は必要である)。また、現実には発生した動きが土石流であるか否か(移動障害物であるか)を実時間で完全に区別する事は現在の画像処理技術では難しい。さらに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33 msec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ため、識別処理を高速化するためには検知システムがより複雑になり高価になる可能性が高い。

本研究では、検出した動きの特徴から土石流であるか否かの識別処理を行うのではなく、画面上に土石流検知用ウィンドウおよび画面状態確認用ウィンドウの2種類の検知ウィンドウを設けて、情報の切り分けを行うこととした。土石流検知用ウィンドウでは、動きを検知した場合には全て土石流である(危険状態)と判断する。画面状態確認用ウィンドウでは、周辺環境の状況確認を行い画面内の正常性を確認する。観測領域の周辺にリファレンスパターンを設置できる場合には、画面状態確認用ウィンドウにてパターンの識別処理を行えばよい。これは Fig. 6 に示すような、安全確認型システムと危険検出型システムを組み合わせた方式となる。

提案手法の概略を Fig. 7 および Fig. 8 に示す。Fig. 7 は糸魚川1号砂防ダム付近から河川上流を撮影した画像である。Fig. 7 中央付近の白枠を監視領域とする。

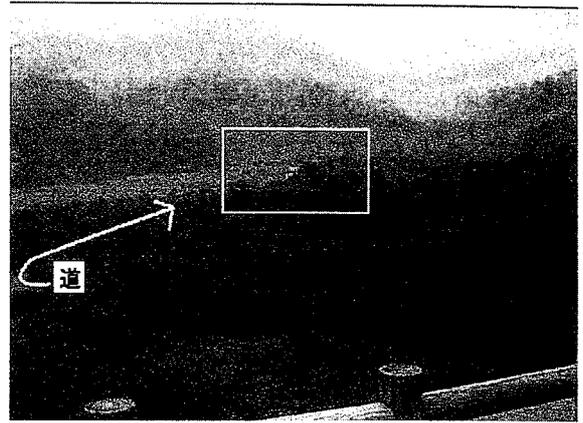


Fig. 7 View of the Itoi River No. 1 barrier to prevent landslides.  
糸魚川1号砂防ダム付近



Fig. 8 View of the state of an observation area.  
観測領域の状態

Fig. 8 に監視画像 (Fig. 7 白枠部のズーム画像に相当) を示す。

まず、河川流域上に土石流検知用の監視ウィンドウを複数個設定する (Fig. 8 の白枠領域に部分。以後、監視ウィンドウをまとめて「監視領域」と呼ぶ)。観測領域内の微小な変化を捉えるために、個々の監視ウィンドウサイズは小さく設定する。一般的な画像検知方式ではこの監視領域のみを設定し検知処理を行うが、本手法ではこの他に画面状態確認用の領域を設定する。

画面状態確認用領域は、監視の妨げとなる障害物発生やカメラの異常状態を検知するために設定する。土石流監視用画像を取得する際、通常は画面全体で土石流を捕らえるようカメラを設定することはなく、画面内の一部を土石流が通過するようにカメラを設定する。このため、画像内を土石流の流下領域と非流下領域に分割できることが多い。例えば Fig. 8 においては、監

視領域の下部（空間上では手前上部）に木々が存在し、この領域は河川流域から離れており空間的に河川よりも上部に存在するため、監視領域と同時に土石流がこの領域に発生することはない。この領域を土石流非発生領域として Fig. 8 に示す。また、Fig. 8 において画面左側に河川に向かう道が存在している事や、画面手前部分に広い空地があることなどから、何らかの理由で大型機器がこれらの領域に侵入する可能性があり、その際に機器が監視用画像に障害物として映る可能性がある。これより、土石流非発生領域を画面状態確認用領域として設定し、この領域において移動体が検知された場合には、画面内に障害物が発生したものと検知を行う。

監視領域において移動体が検知された場合には、土石流として検知を行う。さらに、監視領域および画面状態確認用領域の双方で移動体が検知された場合にも土石流として識別を行う。

本提案手法では、土石流検知用ウィンドウにおける動き検出処理には差分演算を中心とした文献<sup>5)</sup>の方法を採用している。文献<sup>5)</sup>の方法は、遠方監視領域のわずかな変化を捉える事が可能であり、かつ計算量が少ないという利点があるためである。また、画面状態確認用領域では、安全状態時の画像と取得した画像間での相関係数を計算することにより判別を行っている。

### 5. 検知実験

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 Fig. 9 および Fig. 10 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）。実験は Java を用いて検知プログラムを作成し、PC (WindowsNT, Dual CPU:PentiumIII500MHz, Memory 1G) 環境でオフライン処理にて行った。画像は NTSC カメラを用いてビデオレートで取込んだ。なお Fig. 9 の土石流映像は文献<sup>9)</sup>を使用した。

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（文献<sup>5)</sup>）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<sup>10)</sup>を実行している。非流下領域上には画面状態確認用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。

Fig. 9 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。Fig. 9 の各画像中央付近の4つの

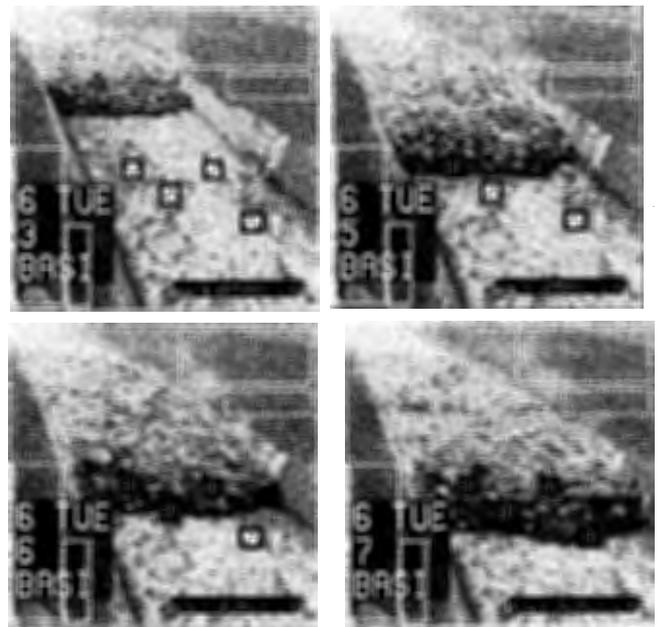


Fig. 9 Detection experiments using the debris flow image.  
土石流映像による検知実験

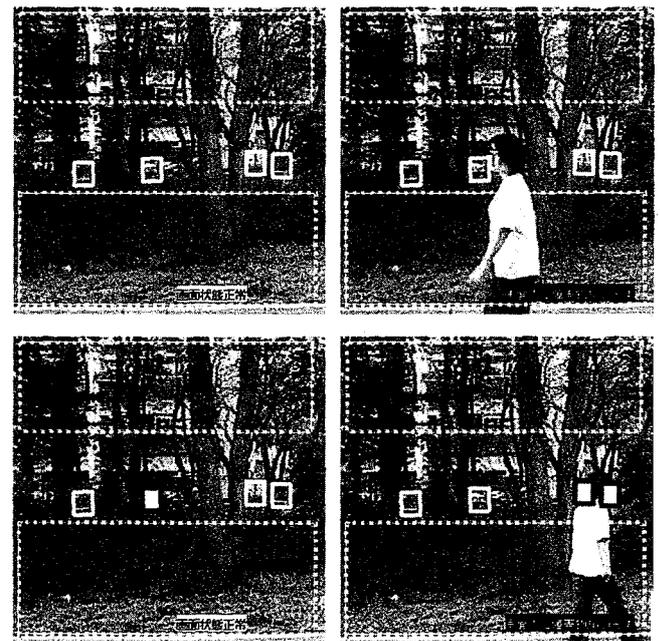


Fig. 10 Detection experiments in outdoor environment.  
屋外環境における移動体検知実験

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の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画面状態確認用ウィンドウであり、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表示し、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。Fig

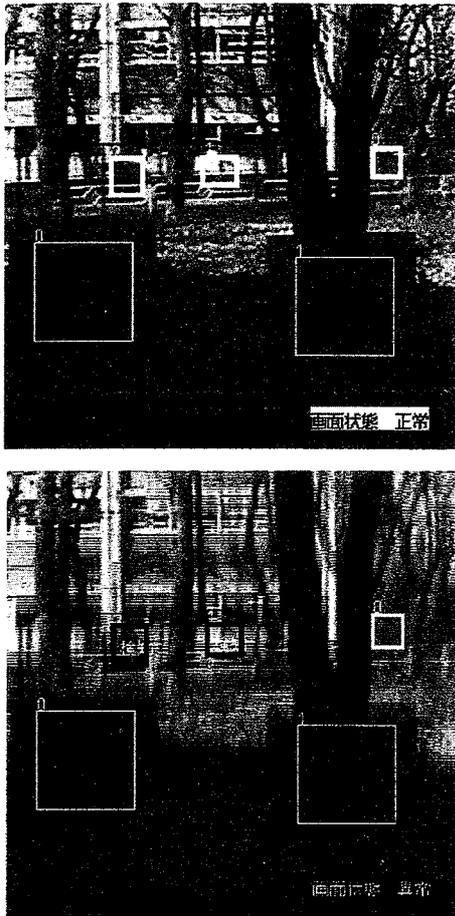


Fig. 11 Detection experiments using the reference pattern.

リファレンスパターンを用いた実験

9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。

Fig. 10は林の奥に存在する一般道を通る乗用車を土石流と仮定し、林前面を通る移動体を障害物と仮定した際の実験結果である。Fig. 10の各画像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。

観測領域とカメラの間にリファレンスパターンを設置した実験結果を Fig. 11に示す。実験に用いた2種のパターンは、相関値が低くなるよう図柄を作成している<sup>11)</sup>。この実験では、安全状態を記憶させた後(Fig. 11上図)にカメラに振動を加えて異常状態を発生させ、システムが異常を検知することが可能であるかどうか確認を行った。Fig. 11下図に示すようにパターン確

認用ウィンドウでは異常を検知しているが、設置した3つの土石流検知用ウィンドウ(画面中央部の3つの小ウィンドウ)のうち、右側にあるウィンドウは、異常を確認できていない(白枠太線で位置を強調)。検知用ウィンドウが異常を検出できなかった理由は、振動後に取得された観測領域の色成分構成が、安全状態での色成分構成と類似していたため、顕著な差分を検出できなかったためである。カメラに与えられた振動により鮮明な映像が取得できていないにも関わらず検知ウィンドウはその異常を検出していないため、土石流検知用ウィンドウのみを用いた観測方式は安全装置として問題があることが判る。以上のことから、土石流画像検知装置においては、自然物の特徴とは明らかに異なる人工物(看板等)によるリファレンスパターンを設置し、画面状態の正常性確認を行うことが望ましい。

## 6. おわりに

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。

本研究では安全確認型システム概念の重要性および、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検討を行い画像検知プログラム制作および検知実験を行った。画像検知装置で考慮すべき点を以下にまとめる。

- 1) 直接検知方式、フェールセーフ特性など安全確認型システムで構築できる部分は積極的に取り入れる。
- 2) 異常な動きを検出した際は全て危険状態として識別する。
- 3) 正常性確認用リファレンスパターンの設置を検討し、設置が可能な場合にはパターンによる正常性確認処理を行う。

最後に、画像検知センサを導入する際の参考として、画像検知方式の問題点等を以下にまとめる。

- 1) 濃霧等の悪天候時には、監視に適した映像が取得できないことが多く、画像による土石流検知を行うことができない。山間部の現場では天候が急激に変化する事があるため、悪天候時に作業が必要な場合には監視人の配置が必要である。
- 2) 常に動きのある箇所(流量のある河川等)を監視する場合には、観測領域内の動き変化を検出する方法として本研究が採用した方式とは異なる、オプティカルフロー方式が適している事がある。どちらを採

用するかは予備実験等の実施により判断すべきである。

- 3) 監視領域内に現れる画素値（色成分）変化から土石流であるか否かを判断するためには、画素値変化量に対する閾値決めが重要である。画素値の変動状況は現場毎に異なるため一意に決定することはできない。従って現場毎に一定期間の予備観測期間を設け、閾値の決定を行う事が望ましい。
- 4) 画像検知センサにより夜間の監視が必要な場合は、監視に適した画像を取得するために照明灯の設置が必要である。
- 5) このような点から現状では画像検知センサの検知能力は未だ十分ではない。このため検知の確実性が高いワイヤセンサとの併用や監視人の負担削減のための補助装置として使用する事が望ましい。

#### 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（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) 安全技術応用研究会 編著，“安全システム構築総覧—「機械/電気安全」「機能安全」—”，通算資料調査会（2001）。
- 4) （社）日本機械工業連合会，“情報産業支援即効型国際標準開発事業人の安全を守る次世代機械監視技術の標準化”，平成12年度 新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書（2001）。
- 5) 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）。
- 6) 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）。
- 7) 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）。
- 8) （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）。
- 9) 砂防広報センター，“鼓動する山河”，砂防工事現場における土石流に対する安全確保3（VHS）。
- 10) 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）。
- 11) 羽田芳朗，高瀬國克，“認識と計画の実時間統合に基づくロボットの作業レベルフィードバック制御”，日本ロボット学会誌，Vol.15，No.2，pp.134-143（1997）。

（平成13年12月28日受理）