

6. 土石流検知・警報システムの検討及び開発*

豊澤康男**, 梅崎重夫***, 堀井宣幸****

6. Development of Monitoring and Alarm System for Debris Flow*

by Yasuo TOYOSAWA**, Shigeo UMEZAKI*** and Noriyuki HORII****

Abstract: Various measures, such as weather forecasting, prediction of debris flows, evacuation drills, etc. were taken to avert accidents at construction site caused by debris flow. In doing so, factors found indispensable to preclude debris flow accidents are as follows; (1) Detecting a flow without fail, (2) Issuing evacuation warnings, and (3) Safe evacuation.

This research examined the requirements for (1) and (2), and developed a new monitoring and alarm system for the debris flow which satisfies the need for “definite” safety.

Almost all debris flow detecting systems at construction sites are of the hazard detecting variety whereby an alarm trips only after a flow is detected. Evidently the hazard detecting system does not work while in safe mode (a debris flow has not occurred) or indefinite mode (a system failure). Only when the system does not in itself fail will the censor detect a debris flow and trip an alarm. Should the system malfunction, the alarm will not register even when a debris flow actually occurs. A salient problem with the hazard detecting system is that no one can notice a detecting system failure in indefinite mode.

On the other hand, the “Safety Confirmation Type” system invariably functions even in safe state and performs safety self-checks. It continues to report “safe state” with a green light, etc., and trips an alarm when safe mode shifts to indefinite or hazardous mode. Accordingly, the “Safety Confirmation Type” system is indispensable for accident prevention since it can detect a debris flow and trip an alarm without fail. In other words, the “Safety Confirmation Type” guarantees “definite” safety.

In this study, a monitoring and alarm system for debris flow, which satisfies the needs of a “Safety Confirmation Type” as fail-safe, was developed, and continues to confirm its principal factors as followings:

- (1) Detecting wire,
- (2) Alarm effectiveness,
- (3) Battery power for backup,
- (4) Fail-safe controller and electrical wiring.

The system reports its “safe state” with green light when all the above factors are verified as “YES”. It can also indicate a possible failure of any of the above four with an individual color light, enabling immediate remedial action.

Keywords; Debris flow, Monitoring system, Alarm system, Safety

* 平成 13 年 5 月平成 13 年度 (社) 砂防学会研究発表会¹⁾, 平成 13 年 10 月第 56 回土木学会年次学術講演会²⁾において、各々、本研究の一部について発表した。

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

*** 機械システム安全研究グループ Mechanical and System Safety Research Group

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

1. 研究目的

土石流による災害の防止のため、予知・予測から避難まで多岐に渡った対策が実施されている。これらの対策のなかで、土石流災害を防止するために最小限必要な事項を挙げると次に示す3点に絞られる。

- ① 発生した土石流を検知すること
- ② 避難を行うように警報すること
- ③ 作業者が安全な場所に避難すること

上記①及び②を確実に実施するための土石流検知警報システムの必要な要件について検討するとともに、その要件を満たすシステムを開発・試作した。

2. 土石流検知・警報システム

2.1 既存の土石流検知センサー

土石流による労働災害の防止・対策としては、砂防ダムをはじめとする抑止構造物が重要な役割を担うが、砂防ダムそのものの建設工事等においては、土石流を予知・検知し作業員が安全に避難するためのシステムの構築が重要となる。

現在、土石流の検知システムとしてはワイヤーセンサーをはじめとする多種のセンサーが開発され、現場に設置されて実績をあげている。しかし、これらのセンサーの中には、地形等の制約により設置できない場合や誤動作が生じたり低品質のものでは土石流を検知しない可能性が危惧されるなど様々な問題点を有している。

土石流を予知するためには土石流の原因となる斜面崩壊や地すべりの状況を詳細に観測し、その要因と発生メカニズムを分析する必要がある。それを踏まえて、崩壊が発生する可能性や発生時期を予測しなければならない。しかし、広く分布している土石流発生区域を全て観測し続けることが困難であること、土石流はその発生源を事前に特定することが難しいことなどから、土石流の予知に関しては十分安全といえるシステムは未だ開発されていない。

上述のことから、土石流による労働災害を防止するためには土石流を予知ではなく、実際に発生した土石流を検知するシステムが必要になる。以下に、カタログや既存の文献等^{3),4),5)}から調査した代表的な検知センサーについて特徴、長所、短所等を示す。調査したセンサーは、①ワイヤーセンサー、②転倒型断線式センサー、③礫移動式センサー、④コンタクト式センサー、⑤振動センサー、⑥音響センサー、⑦光電センサー、⑧投下型センサー、⑨超音波レベル計、⑩監視カメラ、⑪赤外線温度センサーである。

2.2 既存のセンサーの種類と特徴

① ワイヤーセンサー (Fig. 1)

〈原理・特徴〉 土石流の通り道に横断方向に電線を張り、流下時にそれが切断されることにより検知する。

〈長所〉

- ・ 検知の確実性はかなり高い。
- ・ 複数の電線を張ることでその何本かが誤って切断されても残りのセンサーで検知できる。
- ・ 同位置に高さを換えて電線を張ることで、大まかな土石流の規模を知ることができる。

〈短所〉

- ・ 一度切断されると次に張り替えるまで検知できない。
- ・ 張替えには人の手が必要であるため、人が降りられないような深い谷には設置できない。
- ・ 動物や流木、落石などによっても切断される可能性がある。
- ・ 電線の老朽化による断線が考えられる。
- ・ 降雪時には使用できない。

② 転倒型断線式センサー (Fig. 2)

〈原理・特徴〉 センサー内部にワイヤーを通しており、外部の金属壁に部分的に脆弱部を持たせたセンサーである。土石流の通り道に設置し、流下時に脆弱部が破壊され、内部のワイヤーが切断されることで検知する。

〈長所〉

- ・ 検知の確実性は高い。
- ・ ワイヤー部分が外部に露出していないため、積雪による断線がなく冬季観測が可能である。

〈短所〉

- ・ 一度転倒すると新しく取り替えるまで検知できない。
- ・ 転倒が期待される位置を検討して設置しなければならない。
- ・ 融雪時の雪の流動体によって転倒しないように強度の調節が必要である。
- ・ 設置に人の手が必要なため、人が降りられないような深い谷には設置できない。
- ・ 動物や流木、落石などによっても切断される可能性がある。

③ 礫移動式センサー (Fig. 3)

〈原理・特徴〉 河床に置いたセンサー付き礫が移動することによって検知する。

〈長所〉

- ・ 検知の確実性は高い。
- ・ 積雪による断線がなく冬季の使用が可能である。
- ・ 大きさの違った礫を使用することで土石流の規模をある程度知ることができる。

〈短所〉

- ・一度流されると新しく設置するまで検知できない。
- ・設置する礫の大きさを検討する必要がある。
- ・現地で設置するため埋め込み作業が必要である。
- ・融雪で流される可能性がある。
- ・設置に人の手が必要なため、人が降りられないような深い谷には設置できない。
- ・センサー部が故障した場合、これを検知出来ない可能性がある。

④ **コンタクト式センサー (Fig. 4)**

〈原理・特徴〉 溪岸の両岸で土石流が接触しない高さのところの横断方向に電線を張り、その中央部分から先端部にセンサーを取り付けた電線をたらす。土石流が表面部に触れることで検知する。

〈長所〉

- ・電線部が切断されない限り連続して検知できる。

〈短所〉

- ・一度センサーをつるす電線部が切断されると新しく設置するまで検知できない。
- ・強風等で誤作動する可能性がある。
- ・設置に人の手が必要なため、人が降りられないような深い谷には設置できない。
- ・動物や落石、流木などで誤作動が生じる可能性がある。
- ・水位上昇と土石流の区別がつきにくい。
- ・センサー部が故障した場合、これを検知出来ない可能性がある。

⑤ **振動センサー (Fig. 5)**

〈原理・特徴〉 土石流流下に伴って発生する地盤振動を地中に埋設したセンサーによって検知する。

〈長所〉

- ・土石流の通り道外に設置するため故障しない限り連続使用が可能である。
- ・土石流の発生が予想される河床から離れたところに設置しても検知できる。

〈短所〉

- ・土石流以外の振動も検知してしまうおそれがある。
- ・誤作動防止のための振動のレベル設定が難しい。
- ・設置する地域の地盤構成材料や振動発生源までの距離の違いのため、レベル設定が難しい。
- ・地盤特性と振動特性の関係、振動源からの距離に伴う地盤振動の減衰特性を知る必要がある。
- ・センサー部が故障した場合、これを検知出来ない可能性がある。

⑥ **音響センサー (Fig. 6)**

〈原理・特徴〉 土石流の流下に伴い発生する20～500Hzの音をマイクロフォンで捉え、その音のレベルから検

知する。

〈長所〉

- ・音によって検知するため、繰り返し利用可能である。

〈短所〉

- ・土石流以外の音も検知してしまうおそれがあり、事前にレベル設定が必要である。
- ・土石流規模と音響信号の関係、地盤構成材料による音響信号の伝達特性、土石流からの距離による音響信号レベルの減衰特性などを知る必要がある。
- ・センサー部が故障した場合、これを検知出来ない可能性がある。

⑦ **光センサー (Fig. 7)**

〈原理・特徴〉 土石流通過地点に可視光線又は赤外線を発光し、発生時に光が遮断されることによって検知する。

〈長所〉

- ・センサー故障や被災がない限り連続して使用できる。

〈短所〉

- ・豪雨や霧、降雪、降灰等によって誤動作が生じるおそれがある。
- ・動物、流木等による誤動作がありうる。
- ・反射型の場合、対岸に設置するプリズムの清掃が必要である。
- ・送受信分割型の場合、受信側にも電源が必要である。
- ・センサー部が故障した場合、これを検知出来ない可能性がある。

⑧ **投下型センサー**

〈原理・特徴〉 常に電波を射出するセンサーを内蔵した容器をヘリコプターなどで河床に設置する。土石流によって容器が傾き電波の射出が中断されることによって検知する。

〈長所〉

- ・人が降りられないような地形条件でも設置可能である。

〈短所〉

- ・小規模な土砂流にも反応してしまうおそれがある。
- ・細粒土砂が容器内に流入することで誤動作が生じる可能性がある。
- ・一度検知してしまうと設置しなおすまで検知できない。
- ・電源がバッテリー等の場合は使用時間が制限される。

⑨ **超音波レベル計 (Fig. 8)**

〈原理・特徴〉 超音波送受信器によりパルス状超音波の送受信を行い、超音波の往復時間から土石流表面の高さを検出する。

〈長所〉

- ・検知距離6m以内では、検知の可能性が比較的高い。

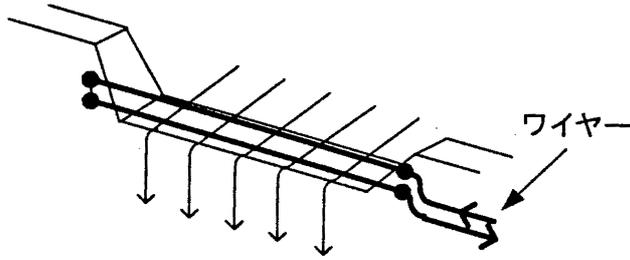


Fig. 1 Wire sensor.
ワイヤーセンサー

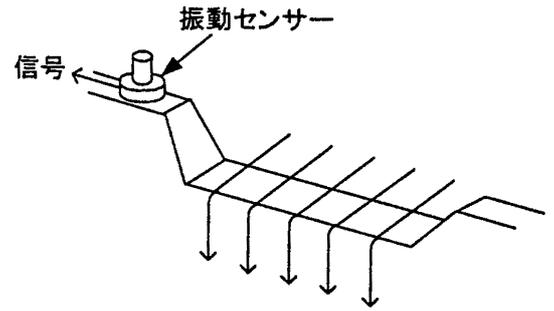


Fig. 5 Ground vibration sensor.
振動センサー

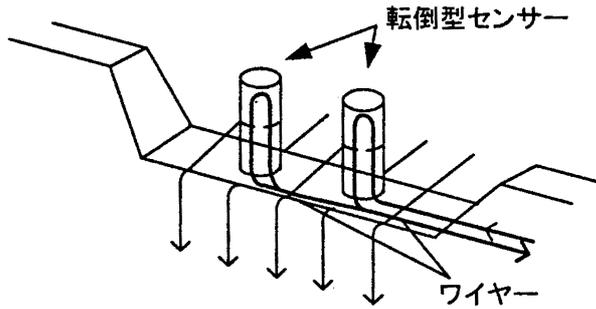


Fig. 2 Wire sensor built-in structure.
転倒型断線式センサー

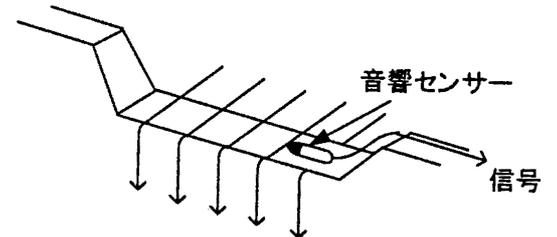


Fig. 6 Acoustic flow sensor.
音響センサー

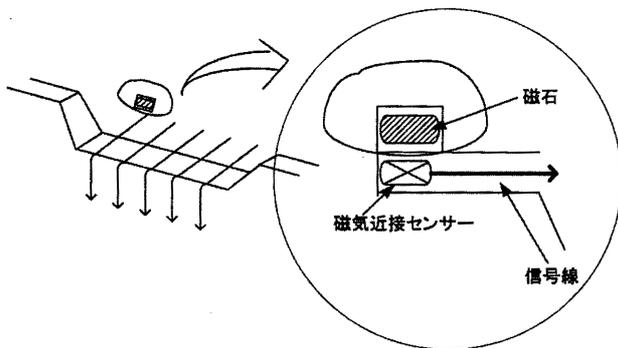


Fig. 3 Magnetic sensor built-in stone.
磁気近接センサー

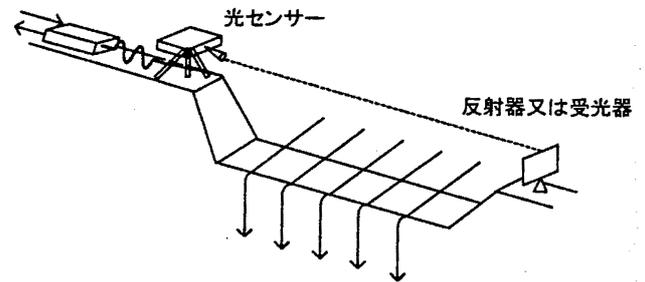


Fig. 7 Optical sensor.
光センサー

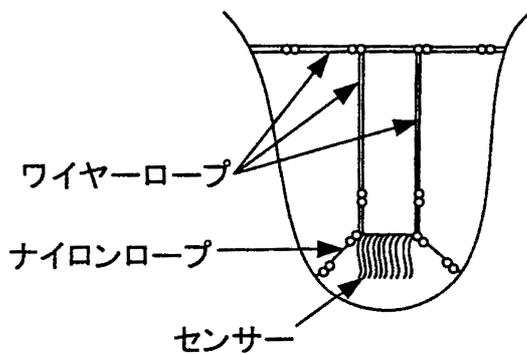


Fig. 4 Contact sensor.
コンタクト式センサー

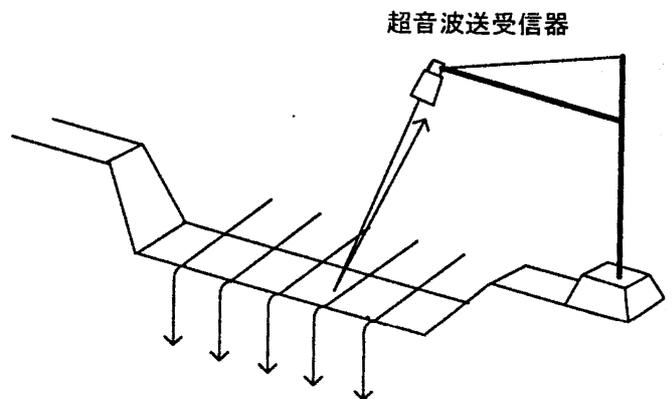


Fig. 8 Ultrasonic level monitor.
超音波レベル計

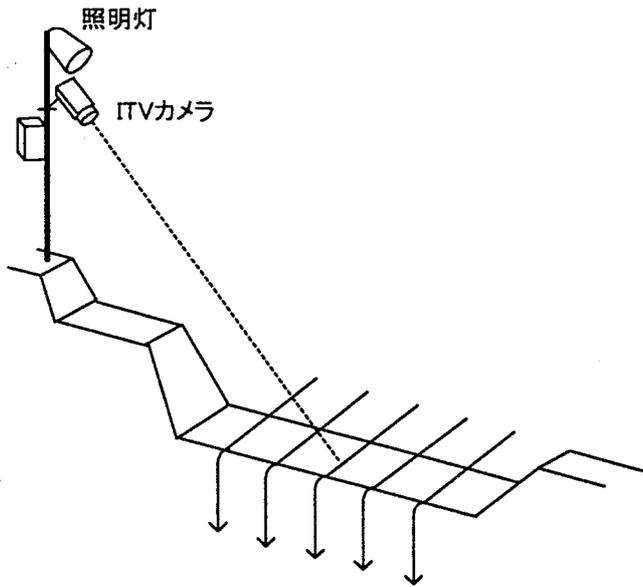


Fig. 9 ITV camera (Visual Monitoring).
監視カメラ

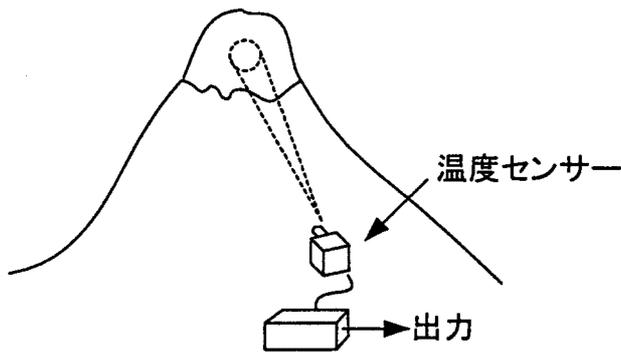


Fig. 10 Infrared thermometer.
赤外線温度光センサー

- ・ 非接触のためセンサーの故障がない限り連続使用が可能である。

〈短所〉

- ・ 高価である。
- ・ 検知距離が短い。

⑩ 監視カメラ (Fig. 9)

〈原理・特徴〉 工場用の ITV カメラを土石流の流路に向け設置しておき、ITV 画像により土石流の発生を検知する。

〈長所〉

- ・ 人が直接画像を目視して判断できるため検知の可能性は高い。
- ・ 画像処理を行うことで検知を自動化することも可能である。

〈短所〉

- ・ 夜間には超高感度カメラを用いても、目視確認が可能な照度を得るために照明が必要である。
- ・ 画像データ受信局に監視人の常設が必要である。
- ・ 降雪、濃霧、豪雨時には監視能力が低下する。
- ・ 高価である。

⑪ 赤外線温度センサー (Fig. 10)

〈原理・特徴〉 物体が放射する赤外線を捉え、非接触で物体表面の温度分布を二次元画像データとして表し、活動状況を検知する。主に火砕流などを測定対象とする。

〈長所〉

- ・ 非接触で広いエリアの温度分布を遠隔から計測監視ができる。
- ・ 熱画像が二次元の面情報なので、対象範囲の温度分布が瞬時に認識できる。

〈短所〉

- ・ 熱面がかなり地表に近くなるとデータの変化が得られない。

2.3 既存の土石流検知警報システム

土石流による労働災害を防止するためには、土石流の発生を検知するだけでなく、これらのセンサーで検知された情報をすばやく現場に伝えて警報し、作業員を退避させなければならない。そのためには、様々な土石流検知センサーや警報装置を組み合わせ、土石流を検知・警報するための防災システムを構築する必要があると考えられる。このような防災システムを、「土石流検知警報システム」という。

現在は、ワイヤーセンサー等を用いた各種防災システムが開発されているが、これらのシステムの現場への普及率はそれほど高くはなく¹⁾、実際に使われているもののなかには信頼性への検証が必ずしも十分でないものもある。

現場で用いられているセンサーとしては、ワイヤーセンサーが最も多いことから、ここではワイヤーセンサーについて①ワイヤー切断方式システムと②近接スイッチ方式を取り上げてその特徴と問題点を挙げる。

① ワイヤー切断方式土石流検知システム

〈特徴〉

土石流が流下することによってワイヤーが切断され、その情報が無線又は有線でコントローラに伝達され、警報器に出力される。警報器としては、サイレンや回転灯を用いている。

〈問題点〉

- ・ 仮にワイヤーが切れても切断点が近接していると通電状態となることがある。(土石流が来たのに「来ていない」と判断してしまうことになる。)

- ・コントローラ、ワイヤー間の一箇所でも電気配線が短絡を起こすと、土石流が来てワイヤーが切れてもこれを検知できない。雨水等によって電氣的な漏れが生じたときも同様である。
- ・人為的に故意に電源を OFF にしてしまうとこれを検出することができず、警報を發せられない。
- ・バックアップ電源の電圧が低下してもこれを検出できない。
- ・電気配線の一部でも故障すると警報できない。
- ・定期点検が自動的に行われない（人手を必要とする）。
- ・警報器が故障していても、これを検出できない。
- ・ワイヤーが確実に切断される保障がない。
- ・無線で情報を伝達する場合には、電波の混線が起こった場合、警報できなくなる。

② 近接スイッチ方式土石流検知システム

〈特徴〉

土石流が流下することによってワイヤーが引き抜かれたときに、磁気近接センサー等がそれを検知する。その情報を、無線又は有線でコントローラに伝達し、警報を發する。警報器はサイレンや回転灯を用いる。

問題点としては「磁気近接センサーが故障してもこれを検出できない。」ことが考えられる。その他については上述した①ワイヤー切断方式土石流検知システムと同様である。

3. 土石流検知警報システムの要件

3.1 危険検出型と安全確認型

危険検出型は、システムが正常であれば土石流発生時にこれを検知し、危険の情報と判断して警報を發する。従って、危険検出型が危険を通報しないときは、安全であると考えられる。しかし、これは必ずしも正しいとはいえない。なぜなら、例えば危険を検出するためのハードが故障した場合やシステムの電源が OFF である場合には、危険の情報を検知することができず、通報することもできなくなってしまうからである。つまり、危険検出型では土石流が発生しても危険を検知できず、警報できない可能性があるといえる。

土石流の発生を正確に予測することは非常に困難である。危険検出型は、このようにいつ発生するかわからない危険に対しても、発生したときにだけ必ず動作しなければならない。つまり危険検出型は、危険時に確実に動作するという確信がない限り、安全であるとはいえない。従って、危険を検出するだけの危険検出型では、安全性において必ずしも十分であるとはいえない。

土石流検知警報システムは、危険が生じたとき（土

Table 1 Difference between “Hazard detection type” and “Safety confirmation type”.
危険検出型と安全確認型の違い

| 区分 | 従来の土石流検知警報システム危険検出型 | フェールセーフ型土石流検知警報システム安全確認型 |
|-------|---------------------|--------------------------|
| 安全状態 | 警報が鳴らない | 安全確認 |
| 不確定状態 | 警報が鳴らない | 警報が鳴る |
| 危険状態 | 警報が鳴る | |

石流が発生したとき) にのみシステムが動作するのではなく、「土石流が発生していないこと」を常時確認し、安全であることを通報するようなシステムである必要がある。このようなシステムを「安全確認型」という。安全確認型は、常時動作して安全を通報しているため、電源が OFF である場合や、ハードが故障してしまった場合、安全確認の通報がなされなくなることにより安全でないという情報が得られるシステムである。

Table 1 に、危険検出型と安全確認型の違いを示す。危険検出型は、安全状態にあるときは特に動作しておらず、不確定状態にあるときは何もしていない。危険状態にあるときは警報が鳴るはずだが、これはあくまでもシステム自体が正常であることが前提になければならない。システムに何らかの故障が生じた場合は、土石流が発生しても、警報を鳴らすことができない。

一方、安全確認型は、安全状態の時も常に動作して安全確認を行っている。不確定状態、危険状態になると、安全が確認できないために警報を發することになることから、土石流による労働災害防止のためには、確実に土石流を検知することのできる安全確認型であることが望ましい。

また、安全確認型は従来のシステムでは人の手によって定期的に行われていたメンテナンスを、常に安全を通報するという動作によって自動化していることになる。従って、安全確認型は、従来の危険検出型より高い信頼性とメンテナンス性を有するといえる。

3.2 既存の検知システムの安全確認型化

ワイヤーが切れていないこと（安全）を電流が通していることで確認する方式は、安全確認型の典型である。この方式になり得るものとして Fig. 2 に示した「転倒型断線式センサー」などがある。また、ワイヤーの代わりに光ファイバーを用いて光を通して戻ってくることを確認する方式も安全確認型といえる。振動センサー (Fig. 5)、音響センサー (Fig. 6) 等について

は、振動や音がないときはセンサーが故障しているか、又はセンサーは故障していないが土石流が発生していないかの区別がつかない。これを安全確認型にするには、既知の振動や音を発生させて、それを確実に計測していることを確認し、センサー系に故障がなく安全であることを常に確認する必要がある。このように振動や音を発生させる機構を付加して初めて安全確認型となるが、その分機構が複雑となることは否めない。

Fig. 3 において使用されている磁気近接センサーも同様に磁石があるという情報(この場合、安全ということ)を常時監視しているということで安全確認型と考えられるが、磁気近接センサー自体が故障している場合が想定される。上述した振動センサー等と同様に磁気近接センサーが正常に稼働していることを常時確認する機構を加えることが安全確認型となるための条件となる。

3.3 フェールセーフ

土石流検知警報システムは、災害発生時にシステムの故障等により警報を発することができず、災害が発生するようなことがあってはならない。従って、そのような時でも警報を発することができるようにフェールセーフ型とすることが重要である。

フェールセーフとは、「システム自体やシステムを構成する要素が故障しても、これに起因して危険が生じることのないように、故障の影響を安全側に固定する仕組み」のことをいう。

ここで、フェールセーフ化されていないシステムとフェールセーフ化されたシステムの違いを明確にするため、わかりやすい例として産業用ロボットを挙げる。フェールセーフ化されていない産業用ロボットをA、フェールセーフ化された産業用ロボットをBとする。Aは、運転中に人が侵入してくるといったような危険な状態をセンサーにより検知して非常停止する危険検出型である。一方Bは、危険な状態がないことをセンサーにより常時確認し、安全であるときのみ運転し、安全の確認が取れない限り停止する安全確認型である。この時点ではA、B共に正常に運転している状態である。ここで、A及びBのセンサーが故障していたと仮定する。Aはセンサーの故障により危険な状態が検知できず、非常停止することができない。しかし、Bはセンサーの故障により安全の確認が取れないために、運転せずに停止したままである。このように、故障によってAは明らかに危険側へ向かい、Bは明らかに安全側に向かっていることがわかる。これが、フェールセーフ化されていないシステムとフェールセーフ化されたシステムの明白な違いである。

3.1で危険検出型と安全確認型について述べたが、いずれの場合でもシステムの故障などにより、発生している危険や安全のすべてを検知できない場合が考えられる。その場合、危険検出型では、検出することのできなかった危険は安全の情報として判断され、警報されない。つまり、危険検出型は本質的にはフェールセーフになりえない。一方、安全確認型では、検出できなかった安全は危険と判断され、警報される。このことから、安全確認型はフェールセーフとなり得るシステムであるといえる。

また、フェールセーフを危険検出型で実現するには、システムが異常を生じたときにそれを検知して警報するという方法をとることになるが、この場合検知装置が故障していないかを検知するための第二の検知装置が必要となり、第三、第四と限りなく検知装置が必要となってくる。しかし、安全確認型であれば、システムが異常を生じたときはもちろん、検知装置が故障した場合でも警報を発することができるため、検知装置は一台でよいと考えられる。

以下に、システムのフェールセーフ化の原則と、フェールセーフ化されたシステムが持つ特性や仕組みを示す。

〈システムのフェールセーフ化の原則〉

- (1) 非対称誤り特性を持つように設計する。
- (2) 安全情報は高エネルギー状態に、危険及び故障を通報するための信号は低エネルギー状態に対応させ、危険や故障を誤って安全と通報しないようにする。
- (3) 安全情報はユニビットに伝達するようにする。予想される最大の環境ノイズに対する耐久を確保するため、安全情報には十分なエネルギーを持たせる。
- (4) 安全情報は、ユニビットに伝達するようにする。

〈フェールセーフ化されたシステムが持つ特性、仕組み〉

・インターロック

安全であるという情報に基づき、システムの動作を許可したり、禁止したりする仕組みをいう。

・非対称誤り特性

システム自体やシステムを構成する要素が故障しても、安全側に誤る故障の頻度が、危険側に誤る故障の頻度よりも著しく高い特性、または安全側にしか故障しない特性のことをいう。

・ユニビットな情報伝達 (Table 2)

システムに安全情報が入力されない限り誤って正常であるという信号を発生することのない情報伝達の形態のことをいう。つまり、Table 2の③の状態が許されない情報伝達形態をいう。

Table 2 Unate transmitting for the safety information.
ユニテな情報伝達

| | X | Y | 判定 | |
|---|---|---|-------------|--|
| ① | 0 | 0 | 正常 | 入力 X (安全情報入力) → 情報伝達 → 出力 Y (運転信号の許可) |
| ② | 1 | 0 | 許される 故障 | 入力なし: X = 0 出力なし: Y = 0 |
| ③ | 0 | 1 | 許されない 故障 | 入力あり: X = 1 出力あり: Y = 1 |
| ④ | 1 | 1 | 正常 | |

3.4 フェールセーフ型土石流検知警報システム

前述したように従来のほとんどの土石流検知警報システムは土石流を検出して警報を発生する構造である (Fig. 11, Fig. 12 参照)。この構造のシステムでは、警報器自体が故障していた場合警報を発することはできず、土石流が発生してもこれを見逃す危険性が存在していた。すなわち、危険を検出して警報を鳴らす方式は本質的にフェールセーフな土石流検知装置ではなかった。

土石流検知警報システムは、土石流の発生を見逃すことがないシステムである必要がある。そのためには、従来の土石流検知警報システムのように危険を検出して警報する危険検出型より、安全確認型であることが望ましい。さらに、システム自体が故障してしまうことによって警報を発することができず、災害が生じてしまうことのないようなフェールセーフ型であること

が重要である。

本研究では、ワイヤーセンサーを用いた土石流検知警報システムを安全確認型としてフェールセーフ化することについて検討した。フェールセーフ化された新しい土石流検知システムとして、Fig. 13, Fig. 14 に

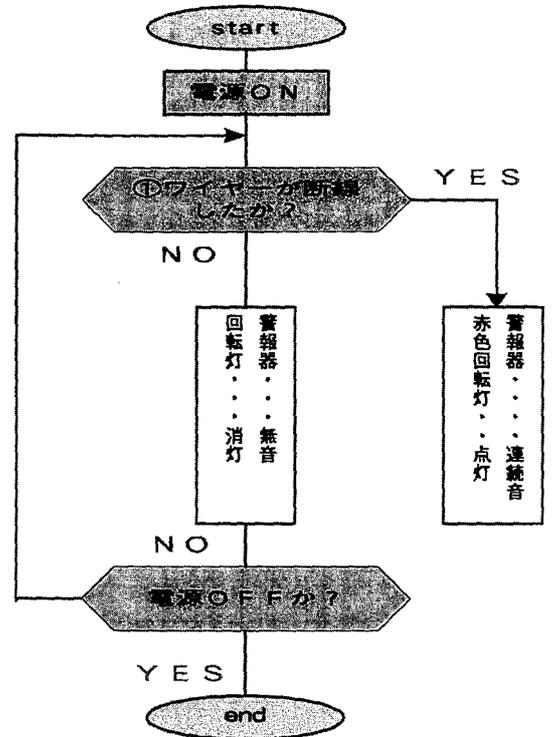


Fig. 11 Flow-chart of monitoring and alarm system commonly used.
従来の土石流検知警報システムのフロー図

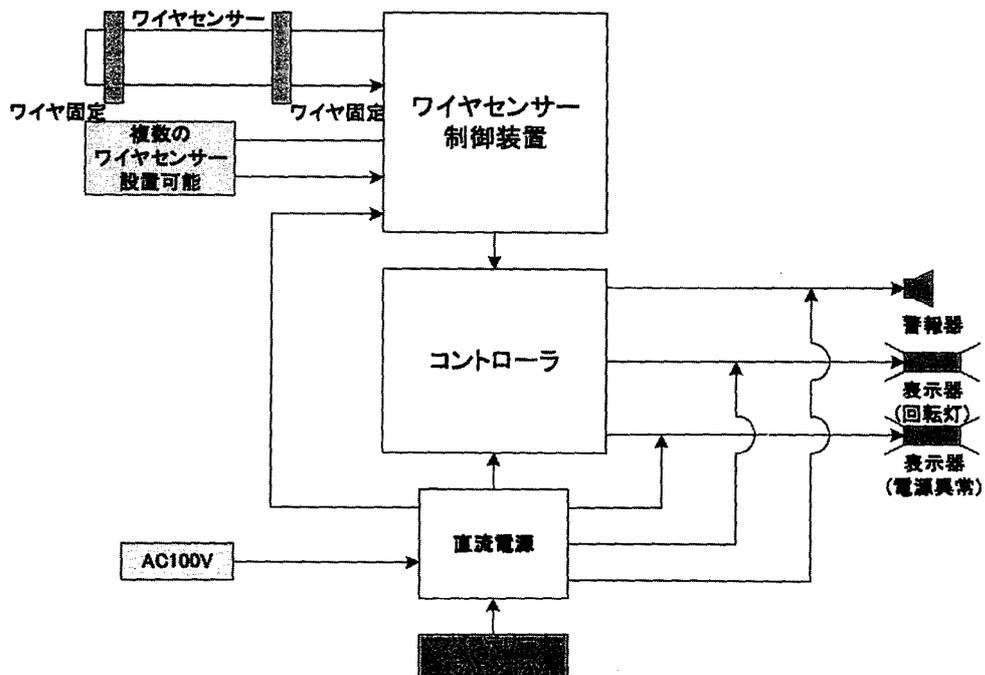


Fig. 12 Circuit diagram of monitoring and alarm system commonly used.
従来の土石流検知警報システムの構成図

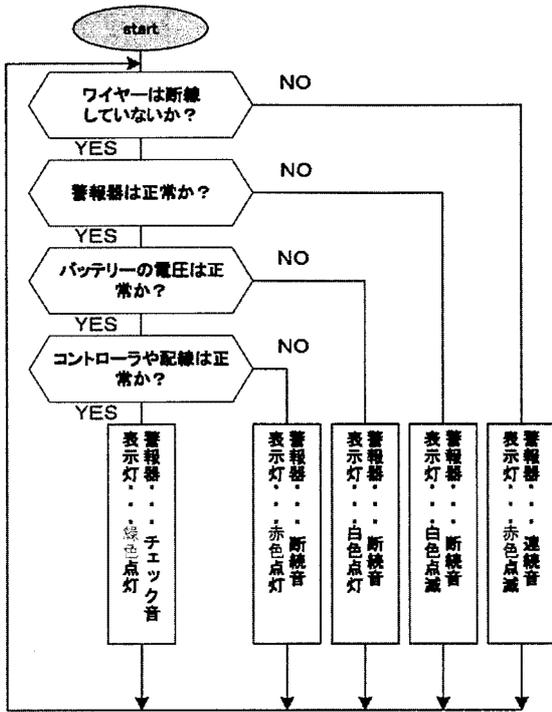


Fig. 13 Flow-chart of fail-safe monitoring and alarm system.
フェールセーフ型土石流検知警報システムのフロー図

示すようなフェールセーフ型土石流検知警報システムを提案する。

Fig. 11, Fig. 12 に、従来のシステムのフロー図と構成図を示す。ほとんどの従来システムはワイヤセンサーが切断した時のみ作動し警報するシステムであった。つまり、ワイヤーが断線したか、していないかを判断し、断線した時のみ動作し、警報するシステムであり、それ以外の場合には、警報器は無音で回転灯も消灯している。従って、システム自体の故障や警報器の故障があったとしても、これを検出することはできなくなっている。

本研究では、ワイヤセンサーを用いた土石流検知警報システムをフェールセーフ化することについて検討した。Fig. 13 のシステムフローに示すとおり、当該システムは基本的には次の4項目について常時確認している。

- ① ワイヤーが断線していないこと
- ② 警報器が正常であること
- ③ バッテリーの電圧が正常であること
- ④ コントローラや配線が正常であること

さらに、当該システムは、これら①～④の項目がすべて“YES”の信号を出した時に警報器はチェック音を鳴らし、表示灯は緑色に点灯することによって安全を通報する。また、①～④項目のいずれかが“NO”の信号を出した時は、それぞれ異なった警報表示をすることができる。従って、故障時でも故障箇所を瞬時に特定できるようになっている。

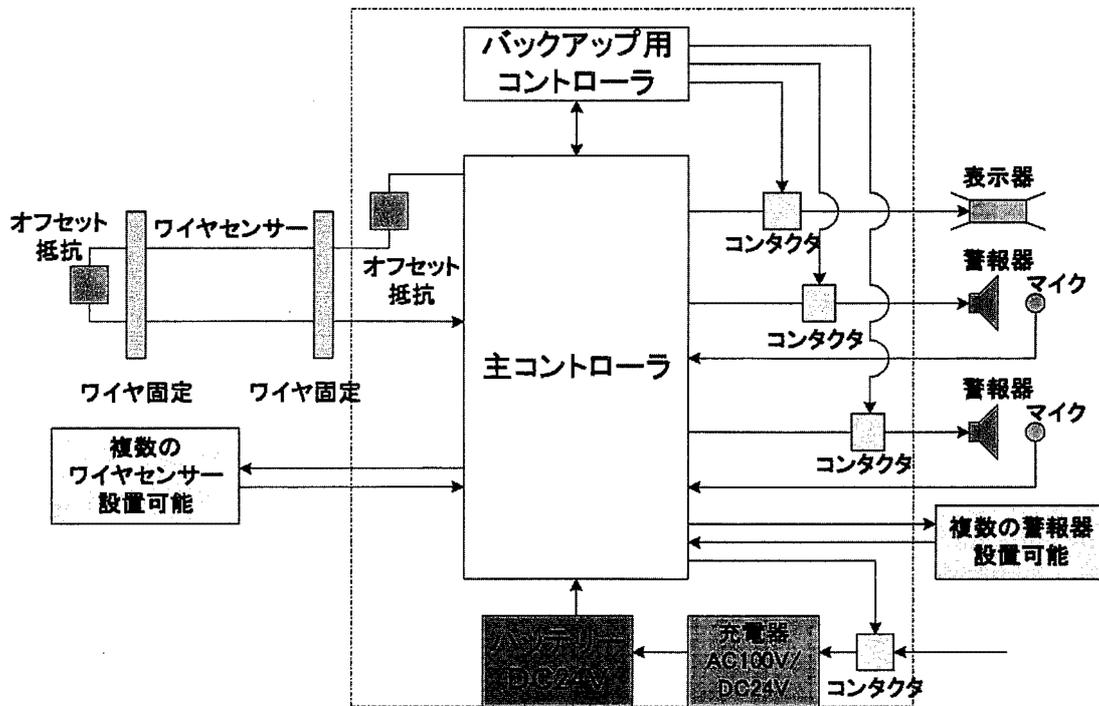


Fig. 14 Circuit diagram of fail-safe monitoring and alarm system newly developed.
フェールセーフ型土石流検知警報システムの構成図

このように、フェールセーフ型土石流検知警報システムは土石流発生時にはもちろん、故障等その他の危険が生じた時にも、警報を鳴らすという動作により、安全側に固定されており、フェールセーフ化されているといえる。

3.5 フェールセーフ型土石流検知警報システムの試作

試作した本システムは、土石流が発生していないことを確実に通報する安全通報器である。さらに安全情報が途絶えたときに確実に警報を鳴らして危険を知らせることが可能となる。構成及び特徴をまとめると次のとおりである。

<制御部>

- ・内部のコントローラが自己点検機能を有する構造のフェールセーフ機構である。(コントローラが自己点検機能付3重化ダイバシティ(異機種)構造のフェールセーフ(FS)PLCである。つまり、異なる3種のCPUが常に互いを監視しているため、いずれかが故障しても警報を鳴らすことができる。)
- ・土石流が発生していないことを常時動作して確認し、安全であること、システムが正常であることを通報する安全確認型である。
- ・コントローラを2重化することによってバックアップ構成とし、主コントローラが故障した場合でも警報することができる。
- ・非常電源(バッテリー)の自動点検機能を有する。
- ・常時安全を通報することで維持管理を自動化している。従って、システムを容易に維持管理できる。

<センサー部>

- ・センサーに一定条件を持たせ、その条件を満足している時のみ安全通報を出す構造である。(ウィンドウコンパレータ)この方法によりワイヤーセンサーの断線はもとより、ワイヤーセンサーとコントローラ間の電気配線の短絡が発生しても警報を出すことができる。(Fig. 14に示すように、センサー部に2つの抵抗を設けて一定の電圧をかけ、その電圧を主コントローラで監視している。電圧の値が一定範囲にある場合を安全とし、土石流発生時のワイヤーの断線や他の要因により一定範囲より外れた場合に警報を発する。)
- ・センサー部が機械的機構を持たないため機構部の固着や変形、錆びなどの影響を受けない。

<警報器部>

- ・警報表示を常時監視し、表示器への配線の短絡及び断線も常時監視している。異常時には警報を出す。
- ・警報器音の確認を一定の繰り返しで正常確認を実施

している。また、警報器への配線の短絡及び断線も常時監視している。異常時には警報表示する。

- ・停電や故意に電源が落とされてもこれを検出し一定期間内警報を出すことができる。
- ・定期的に警報器からチェック音(警報器の立ち上がり音)を鳴らし、マイクでその音を拾って、主コントローラで警報器音が正常に鳴ることを確認している。
- ・警報器に関しても二重化し、一方の警報器が故障した場合でも、他方の警報器で警報することができる。

4. 結 論

土石流検知警報システムの必要な要件は、①発生した土石流を検知すること、及び②避難を行うように警報することであり、これらを確実に実施するためには、危険を検出して警報する危険検出型より、危険がないことを常に確認する安全確認型であることが望ましい。さらに、システムが故障した場合でも、これを起因として災害が発生することがないようにフェールセーフ型であることが重要であり、これらの要件を満たすフェールセーフ型土石流検知警報システムを試作した。

参 考 文 献

- 1) 豊澤康男, 堀井宣幸, 梅崎重夫, 玉手 聡, 大野陽子, 片田敏行, 末政直晃:「フェールセーフ型土石流検地警報システムの開発」平成13年度砂防学会研究発表会概要集, pp.92-93, (2001).
- 2) 堀井宣幸, 豊澤康男, 橋爪秀夫, 丸山憲治, 大野陽子:「土石流による労働災害防止に関する調査と土石流検知システムの開発」平成13年度土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.56th, 第6部, pp.224-225 (2001).
- 3) 水山高久:「解説・土石流警報, 避難システム」, 新砂防 Vol.35, No.2, No.125, pp.1-2 (1982).
- 4) 山田 孝, 南 哲行, 水野秀明:「土石流災害防止のためのセンサー開発の現状と今後の課題」, 砂防学会誌 Vol.50, No.5, No.214, pp.60-64 (1998).
- 5) 池谷浩他:「土砂災害防止のための情報システム」, (社)全国治水砂防協会, (1985).
- 6) 糸川壯一, 蓬原弘一, 杉本 旭:「安全技術入門」中央労働災害防止協会, (1986).
- 7) 労働省安全衛生部:「工作機械等の制御機構のフェールセーフ化に関するガイドラインの逐条解説」.
- 8) 梅崎重夫, 杉本 旭, 中村英夫:「産業機械の安全」策に関する基礎的考察」, 日本信頼性学会誌, Vol.2 No.7, pp.659-675. (2001).

(平成14年1月21日受理)