

1. 序 論

堀井宣幸*

1. Introduction

by Noriyuki HORII*

Abstract: Since Japan has a lot of steep terrain, local heavy rainfalls may sometimes produce dangerous debris flows. In December 1996, a large debris flow occurred at Gamaharazawa located at the border between Nagano and Niigata prefectures. The debris flow, which involved construction workers working in the drainage basin, resulted in a serious disaster with 14 persons dead and 9 persons injured. In this case, once a debris flow occurs not only many workers in the basin but also nearby residents might be involved and then the disaster becomes expanded widely.

From these background mentioned above, the establishment of the effective countermeasures for preventing labor accident due to the debris flow is an urgent problem because it is thought that a lot of erosion control structure such as sabo dams etc. may construct in the future from a geographical characteristic of our country.

To defend the worker from the debris flow with high progressing probability, the method of the adequate foresight the occurrence of debris flow is established. And, also it is indispensable to construct alarm-evacuation system, which can ensure effective evacuation. Moreover, it is necessary to understand the flow characteristic of the debris flow for the sake of establishing the foresight method and the evacuation system.

In this special research project, following comprehensive research have been carried out.

1. A questionnaire survey to on-site construction safety management of debris flow.
2. An experiment study on the flow characteristics of a debris flow.
3. Evaluation of evacuation time in case of debris flow by on-site experiments.
4. Detection method for debris flow with using visual information.
5. Study and development of monitor and alarm system for debris flow.
6. Construction of a support system for optimum arrangement of debris flow detection sensors.

Keywords; Debris flow, Labor accident, Detection sensor, Foresight method, Detection system, Alarm-evacuation system, Erosion control, Visual information, Optimum arrangement, Fail-safe

1. はじめに

平成 8 年 12 月 6 日 (金) 10 時 40 分頃, 新潟県糸魚川市平岩地区及び長野県北安曇郡小谷村にまたがる姫川支流の蒲原沢地区において, 災害復旧工事 (平成 7 年に発生した集中豪雨による土砂崩壊等による災害復

旧のため, 姫川との合流部から上流約 1 km の区間において施工されていた砂防ダム, 護岸等の工事) を行っていたところ, 姫川合流地点から上流約 2.7 km の地点で発生した山腹崩壊が引き金となり土石流が発生し, 蒲原沢を流れ落ちて姫川まで流れ込んだ。

この土石流により, 災害復旧工事現場で作業中の作

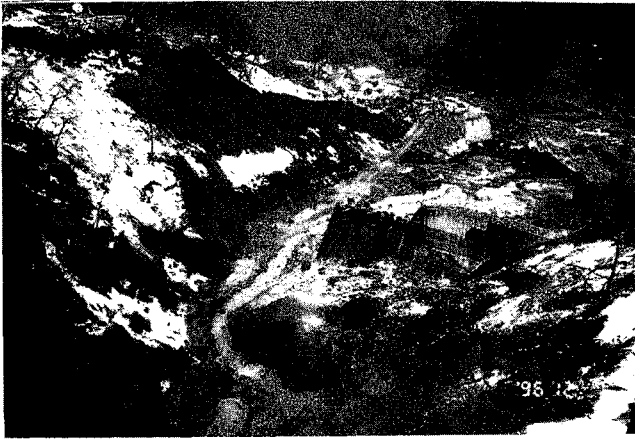


Photo 1 Gamaharazawa debris flow accident.
蒲原沢土石流災害の状況

業員 68 名のうち、14 人が行方不明（その後全員が遺体で収容）、9 人が負傷するという重大災害となった（Photo 1 参照）。

このように、土石流災害が一旦発生した場合には多数の労働者が被災する確率は極めて高く、さらに作業現場に止まらず近隣住民を巻き込んで広範囲に被害が拡大する場合も多く、社会的影響も甚大である。また、我が国の地形的特性から、砂防・治山工事が今後とも増加するものと考えられ、土石流による工事関係者等の労働災害の発生が懸念されるため、土石流等による労働災害の防止対策の確立は緊急な課題となっている。

このように重篤な労働災害につながる確率の高い土石流から労働者を守るためには、土石流の発生を事前に、かつ的確に予知する方法を確立し、それに基づき、効果的に避難が行える警報・避難システムを構築することが不可欠である。また、予知方法や避難システムを確立するためには、土石流の流下特性をあらかじめ把握する必要がある。

このような状況を踏まえ、本特別研究では、土石流発生の危険性の高い工事現場における土石流対策の実態の把握、遠心力・載荷装置を用いた土石流発生現象のシミュレーション実験の実施、最適な土石流の早期検知システムのあり方に関する検討、および効果的な避難・警報システムの開発、等の研究を実施した。

2. 研究の概要

本特別研究で実施した研究テーマ、およびその研究成果の概要を以下に述べる。

(1) 土石流による労働災害防止対策に関するアンケート調査

本研究においては、土石流災害防止工事における現場の安全対策についての現状を把握することを目的として、土石流発生危険河川等における工事現場を対象に調査票を配布し、現場で実施している災害防止のための措置や、警報避難設備等について、その現状や現場が抱えている問題点などについて調査した。

アンケート調査結果のうち、土石流検知・警報システムに関してまとめると次のようである。1) 土石流の危険性が高い現場のうち土石流検知警報システム等による土石流災害防止対策を施していない現場は約 40%であった。2) 土石流検知警報システムの点検頻度が少ない場合は故障に気づかない可能性がある。3) 土石流検知警報システムは「低コストでメンテナンスが容易で、かつ、誤動作が少なく信頼性が高い」ことを考慮して開発することによって現場での普及率が上がるものと考えられる。

(2) 土石流の流下特性に関する実験的研究

— 模擬土石流の粒径および構造物の剛性が衝撃応力に与える影響 —

本研究では、土石流が構造物に衝突した時に発生する衝撃応力について検討した。研究では、模擬土石流に含まれる粒径と構造物の剛性が衝撃応力に与える影響について調べるため、遠心模型実験を行った。その結果、①土石流の速度は、混入物の径が大きくなるほど遅くなる。②土石流の衝撃応力は、含まれる混入物の径が大きくなるほど大きなものとなる。③混入物に礫が含まれる場合、衝撃応力は構造物の剛性が大きいほど大きくなる傾向があるなどの知見が得られた。

(3) 現場避難実験による土石流発生時の避難時間の検討

土石流災害防止において避難時間を予測するための基礎的データを取得するために現場避難実験を行った。

その結果、作業員数 1 人、幅 1m のとき避難速度は、平坦部（地盤条件・礫）においては距離 30m 以下で：2 m/s、斜面部では斜面角度 30°のときの登りで：0.6 m/s、斜面角度 10°のときの登りで：1.1 m/s、はしご部においては昇：0.4 m/s、降：0.35 m/s をおよそその避難速度の基準とすることが妥当であるとの結論を得た。

ただし、避難速度は作業員数、道幅等によって変化するため、次のような要因によって避難速度を変化させる必要がある。1) 平坦部において、作業員数を増加させると避難速度は減少し、道幅・距離を増加させると避難速度が増加する。2) 斜面部において、斜面角度・作業員数を増加させると避難速度は減少し、道幅を増加させると避難速度は増加する。3) はしご部において、

作業人数が増加すると避難速度（個人）は増加する。

(4) 画像情報を用いた土石流検知手法の検討

現在、各種土石流画像検知センサーの開発が行われているが、監視領域の情報が正しく伝達されているかを確認する安全確認手順を考慮したものは少ない。安全な現場を構築するためには、安全を確保・維持する仕組みが必要であり、そのための「安全」の構築方法として、機械安全の分野においてはISO等で定義されている。画像検知センサーに限らず、現在使用されている各種検知機器においても安全確認手順を考慮して構築されたものは少なく、早急な対応が必要である。

これらのことから、安全確認型システムを基礎とした、画像検知センサーについて検討を行った。特に、検知された異常な動きを全て危険状態として識別すべき理由や、画面異常や濃霧等の天候変化に対処するためのリファレンスパターンの必要性等について述べた。

さらに、PC上で動作する検知プログラムを制作し、土石流映像および一般屋外の移動体を土石流と仮定した検知実験を行い、リファレンスパターンの有効性等について検討を行った。

(5) 土石流検知・警報システムの検討及び開発

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様々な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は、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、及び3) 作業者が安全な場所に避難することに絞られる。

本研究では、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した。その結果、1)危険を検出して警報する危険検出型システムより、危険がないことを常に確認する安全

確認型システムであること。2)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なフェールセーフ型であることが要件として必要であり、これらを満たすようなフェールセーフ型土石流検知警報システムを試作した。

(6) 土石流検知センサー最適配置支援システムの構築

「土石流検知センサー最適配置支援システム」は、土石流検知センサーの最適な配置計画を支援するための解析ツールとして構築したものである。従来、土石流検知センサーの設置場所については定性的かつ経験的に判断されてきており、経験のある技術者が過去の土石流発生状況や地形的特性を考慮して決定しているのが現状である。土石流を確実に検知するためには、検知センサーを最適な位置に配置する必要がある。このためには、想定される土石流の発生場所・規模・到達時間・到達範囲等についての的確な解析を行い、定量的に土石流を予測することが不可欠と考えられる。

本研究では、複雑な数値計算と膨大なデータ管理を効率的に処理するためにGIS（地理情報システム）を応用した土石流検知センサー最適配置支援システムを開発した。本システムを用いることにより、土石流の発生から流下・堆積までを定量的に追跡することができ、その解析情報をもとに画面上で土石流検知センサーの配置検討を行い、設置場所から工事サイトまでの土石流到達時間を算出することができる。

以上、本特別研究で実施した6研究テーマについて、その概要を述べた。これらの研究成果のすべてが、必ずしもそのまま災害防止対策につながるものではないが、関係者が土石流等による労働災害対策の確立する際の情報として利用いただければ幸いである。

(平成14年1月18日受理)