

1. はじめに

砂防堰堤や溪流保全工などの砂防施設の施工現場は本質的に土石流などの直撃による災害を被りやすい。そのため、これらの災害から労働者を守るための防災対策がなされている。その基本的な考え方は、土石流などの発生が懸念されるときには工事を行わない、すなわち現場から離れるというものである。そのため、土石流などの発生予測のための雨量計や発生そのものを検知するワイヤー・センサーなどが設置され、避難訓練が実施されている。常に災害の危険に接しているような現場ではリモートコントロールが可能な施工機械やさらに進んで無人化された施工法が採られることがあるが、システムの規模が大きいことや施工機械のコストが高いことなどから、比較的小規模な多くの砂防工事現場では適用が難しい。その結果、不測の土石流などの発生により犠牲者が出ることもある。平成8年12月6日に姫川水系蒲原沢で発生した災害はその一例といえよう。

本研究は、このような砂防工事現場における、警戒避難システムの可能性について検討することを目的として、システムに要求されるであろう必要要件について検討しようとするものである。特に、不測の現象が生じた際の避難行動に対する効果的な情報の流れを検討するため、まず、効率的と考えられる情報伝達システムと情報の流れを提示し、単純な条件の下での避難シミュレーションを行い、システムの検討を行っていく上での課題を整理する。

2. 本研究で考える防災情報システムの概要

本研究で考えている防災情報システムの概要を図-1に示す。システムに要求される機能として以下の4つが挙げられる。

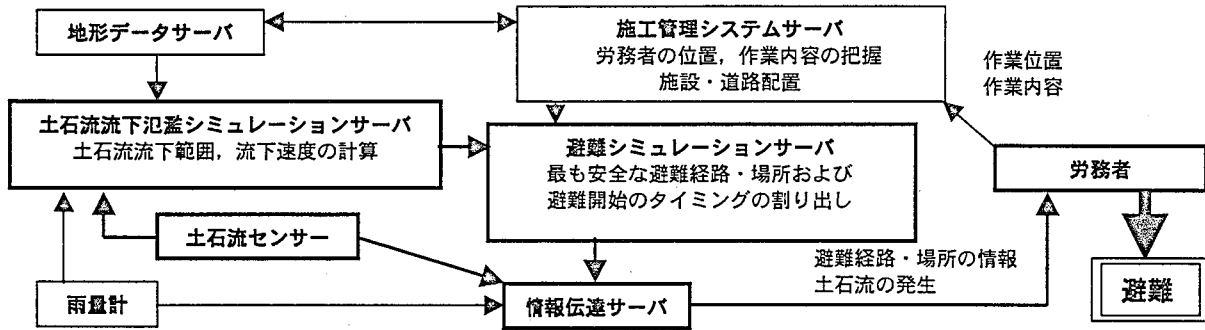


図-1 防災情報システムの概要および情報のフロー

- 1)労働者の位置がリアルタイムに捕捉されている
- 2)土石流が発生した際の氾濫範囲、流下速度が予想されている
- 3)地形、避難場所、避難経路等の情報があらかじめ入力されている
- 4)平常時には施工管理システムとして稼働し、労働者の位置・作業内容を把握している (1)の労働者の位置把握に対応)

3. 避難シミュレーション

土石流による被災を受けた工事現場であり、その土石流に関する研究<sup>1),2)</sup>が行われていることから、新潟県・長野県県境に位置する姫川左支川蒲原沢を例として取り上げ避難シミュレーションを実施した。対象とした土石流は平成8年12月6日の蒲原沢土石流災害時の土石流で、その流下・氾濫過程については既往の研究成果<sup>2)</sup>を用いた。例えば、それによると溪流を流下する際の土石流の流速は約20m/sec.となっている。図-2に災害発生時の扇状地上での労働者の作業位置(図中:①, ②, ③, ④)、作業用道路、避難場所の位置関係を示す。本研究では想定する作業位置としては災害時のそれを用い、避難場所としては災害時に設定されていた場所(左岸避難小屋、土砂捨て場)に加え、新たに避難場所A、避難場所B、避難場所Cを設定し、加えてそれぞれの避難場所へ続く避難路として作業用道路(図中:既存の避難路)を主に用いるように設定した。また、土石流の早期検知を図るため蒲原沢災害時には設置されていなかった土石流センサーを蒲原沢砂防ダムから上流800m地点の蒲原沢左支川合流部(以後上流センサーと呼ぶ)と蒲原沢砂防ダムから上流200m地点の蒲原沢2号砂防ダム(以後下流センサーと呼ぶ)の2カ所に設ける。

図-2中の①, ②, ③, ④の位置の各労働者についてそれぞれ避難シミュレーションを実施した。避難シミュレーションは以下の条件で行った。

- 1)労働者は防災情報システムから避難に関する情報を得てから避難を開始する

2) 労務者はあらかじめ定められた避難路を避難場所へ向かって移動する

3) 労務者は 1.4m/sec. (徒歩に相当) で移動する

4) 土石流と接触あるいは避難路埋没で避難不可能と判断する

避難シミュレーションは表-1 に示すように避難開始時刻を変化させて、以下の3つのケースを中心に避難開始時間を変えて実施した。

1) 上流センサー作動後に避難開始 (0sec.)

2) 下流センサー作動後に避難開始 (25sec.)

3) 蒲原沢砂防ダム土石流到達後に避難開始 (35sec.)

なお、表中の Case1, Case2, Case3, Case4 はそれぞれ作業位置①, ②, ③, ④における避難シミュレーションを意味する。

### 5. 結果および考察

避難シミュレーションの結果を各作業位置における避難可能な避難場所と余裕時間について整理して表-2 に示す。この結果からこの解析条件の下では各作業位置においてあらかじめ設定したいずれかの避難場所に避難可能であることが示される。また、この場合

1) 上流側センサー切断時(0sec.)に1度目の警告

「土石流発生、避難態勢をとれ」

2) 下流側センサー切断時(25sec.)に2度目の警告

「土石流発生、〇〇を通り〇〇へ避難」

のように2段階に分けて警告を行うこと、作業場所によって余裕時間に差があることから情報発信は余裕時間の短い作業場所から行うことが適切であると考えられる。さらに以下の2点が指摘されよう。

1) Case3, Case4 における避難場所Bのようにほぼ同じ避難経路と思われる場合でも余裕時間が大きく異なることがある。

2) 避難場所の安全性の評価が重要であり、安全性に問題がある避難場所に対応する作業位置では場合によっては作業を行わないことが必要となる。

### 6. おわりに

5. から分かるように防災情報システムにおいて避難の成否は避難シミュレーションサーバに大きく依存する。避難の確実性を高めるためには、複数の条件の違う土石流を想定した避難シミュレーションの実施、避難場所の安全性に問題がある場合の避難経路・避難場所の設定方法、天候等の各状況に応じた作業禁止エリアの設定方法等、サーバ内のアルゴリズムについて検討を行っていかなければならない。また、施工管理システムによって施工状況に応じて変化する工事現場の諸条件(労務者の作業位置、地形等)がリアルタイムに把握されていなければ精度の高い避難シミュレーションは困難である。そのための情報把握の方法、サーバ間での情報交換の方法も検討すべき課題である。加えて防災情報システム本体だけでなく防災情報システムを効果的に機能させる平常時の避難訓練、防災教育の方法も重要な検討課題である。

### 参考文献

- 1) 砂防学会 (12.6 蒲原沢土石流災害調査委員会 委員長 山口伊佐夫) : 12.6 蒲原沢土石流災害調査報告書。1997.
- 2) 土木学会 (蒲原沢土石流災害調査特別委員会 委員長 江頭進治) : 姫川支川蒲原沢土石流災害と危機管理に関する調査研究。1998.

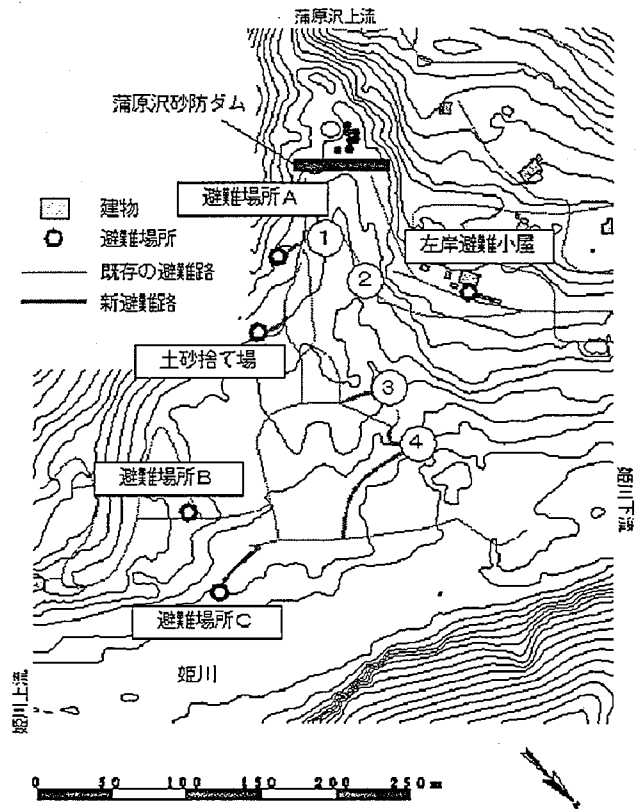


図-2 工事現場位置関係図

表-1 解析ケースリスト

作業位置	避難開始ケース	避難開始時刻
Case1	①上流センサー	0sec., 10sec., 20sec.
	②下流センサー	25sec., 35sec., 45sec.
	③蒲原沢砂防ダム	35sec., 45sec., 55sec.
Case2	①上流センサー	0sec., 10sec., 20sec.
	②下流センサー	25sec., 35sec., 45sec.
	③蒲原沢砂防ダム	0sec., 10sec., 20sec.
Case3	①上流センサー	0sec., 10sec., 20sec., 30sec.
	②下流センサー	25sec., 35sec., 45sec., 55sec.
	③蒲原沢砂防ダム	35sec., 45sec., 55sec., 65sec.
Case4	①上流センサー	0sec., 10sec., 20sec., 30sec., 40sec.
	②下流センサー	25sec., 35sec., 45sec., 55sec., 65sec.
	③蒲原沢砂防ダム	35sec., 45sec., 55sec., 65sec., 75sec.

表-2 避難シミュレーション結果

作業位置	避難場所	余裕時間
Case1	土砂捨て場	25
	避難場所A	45
Case2	左岸避難小屋	35
Case3	避難場所B	35
Case4	避難場所B	0
	避難場所C	65