

泥流の氾濫を対象とした避難システムに関する研究

京都大学防災研究所 正員 高橋 保
京都大学防災研究所 正員 中川 一
京都大学工学部 学生員 ○澤 秀樹

1. はじめに 火山泥流による被害の事例は過去において多くはないがひとたび起これば甚大なものとなる。火山国である我国ではソフト・ハード対策を合わせた総合的な対策が緊急に必要とされている。特に噴火予知、泥流発生予知等を合わせた避難システムの開発が急務である。こうしたことを踏まえて現在火山活動が活発化している北海道十勝岳山麓の上富良野町を対象に住民の避難シミュレーションを行うとともに、火山泥流の氾濫・堆積計算を行い当地における避難システムの検討を行う。

2. 住民避難のシミュレーションの概要 避難命令発令後の住民避難を高橋ら¹⁾の開発した手法でシミュレートする。ただし、泥流氾濫時の避難を考える場合、泥流の中を通過して避難する事を想定するのは現実的でないと思われるので、ここでは氾濫計算と避難のシミュレーションとをリンクした計算は行わないものとする。従って、住民の避難行動のシミュレーションで考慮する事項は、経路長と疲労、群集流動による歩行速度の低下の2つとし、避難行動は避難地までの最短経路選択問題に定式化し、Warshall-Floyd法を用いてこれを解くこととする。避難地は図-1に示す上富良野町指定のものを使い、避難ネットワークは、25,000分の1の地形図より主要な道路を読み取ったものを考える。なお避難は一斉に行われる。図-2は計算による避難地選択状況を示したものである。図中NNNとかSSSTは、その格子内の住民が避難地N,S,Tを選んだことを示す。図中のAREA-A~G等は、その地区の住民は避難地A~Gのうちのどれかに避難するように上富良野町から指定されていることを示している。完全に一致していないのは、精度上の問題とともに町は必ずしも最短距離を考慮して避難地を指定しているわけでないためであろう。図-3は通常の歩行速度を1.4m/sとしたときの避難所要時間の分布を示している。大正15年の泥流では泥流発生から町への到達時間は25分程度であったと言われている。本計算では大部分のグループは25分以内に避難を完了していることがわかる。

3. 火山泥流の氾濫・堆積に関するシミュレーションの概要
従来高橋、中川ら²⁾によって研究されて明らかになったように、泥流も停止の瞬間までは一種の連続流体であるとしての取り扱いが可能であると考えられる。2次元の連続流体の運動量保存則および体積の連続式は次のように示される。
$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta' \frac{\partial uM}{\partial x} + \beta' \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial (2g + h)}{\partial x} - \frac{\tau_{xx}}{\rho_T} \quad (1)$$

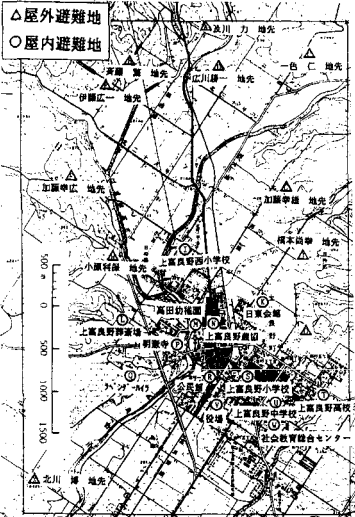


図-1 避難地の分布図

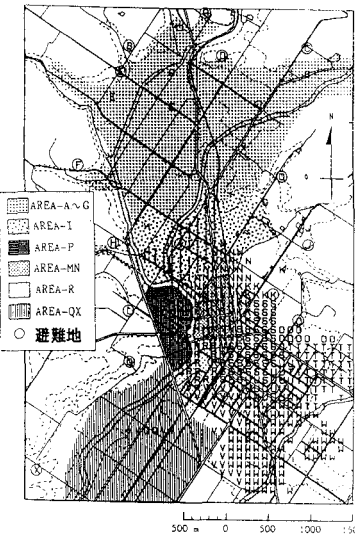


図-2 避難地選択状況の分布図

Tamotsu TAKAHASHI, Hajime NAKAGAWA, Hideki SAWA

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial u N}{\partial x} + \beta \frac{\partial v N}{\partial y} = -g h \frac{\partial (Z_b + h)}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_T} \quad (2) \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = i \quad (3) \quad \tau_{bx} = \rho_T g n_m^2 u \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \quad (4)$$

$$\tau_{by} = \rho_T g n_m^2 v \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \quad (5)$$

固体分に対する連続式は、流れの中に浮遊するような微細成分と、衝突効果によって支えられるような粗粒成分に分けて考えれば次のようになる。

$$\frac{\partial V_L}{\partial t} + \frac{\partial C_L M}{\partial x} + \frac{\partial C_L N}{\partial y} = i C_{*DL} \quad (6)$$

$$\frac{\partial V_F}{\partial t} + \frac{\partial C_F (1 - C_L)}{\partial x} + \frac{\partial C_F (1 - C_L) N}{\partial y} = i (1 - C_{*DL}) C_F \quad (7)$$

勾配 θ のもとで掃流状集合流動と考えられる泥流が、堆積を生ずることなく流れることのできる粗粒子成分の濃度 C_L の最大値 $C_{L\infty}$ は次式で表わされる。

$$C_{L\infty} = \frac{2.66 C_{L0}^2}{0.23 + 0.65 \tan \theta} \left\{ 1 - \frac{0.05 (\sigma / \rho_m - 1) d_L}{\sin \theta} \right\}^2 \quad (8)$$

$$C_{L0} = \frac{\rho_m \tan \theta}{(\sigma - \rho_m) (\tan \alpha' - \tan \theta)} \quad (9)$$

堆積速度及び地盤高の変化は次式のような。

$$i = \beta \frac{(C_{L\infty} - C_L) \sqrt{M^2 + N^2}}{C_{*DL} d_L} \quad (10) \quad \frac{\partial Z_b}{\partial t} + i = 0 \quad (11)$$

また計算に用いた流入ハイドログラフは図-4に示すとおりであり、CASE-A, C, E, Gは富良野川からの流入を、CASE-B, D, F, Hはヌカクシ富良野川からの流入を想定している。CASE-Aにおける流入後60分の氾濫・堆積の様子を図-5に示す。さらに高橋ら³⁾による木造家屋の流失危険度の式を用いて木造家屋の流失危険度をCASE-Aについて図-6に示している。次に避難地自身の安全性、すなわち泥流により埋没する危険性について検討するため、各避難地の最大の流動深を図-7に示した。鉄筋コンクリートの避難地は流失の恐れはないが泥流の規模によっては埋没する階もあり何階に避難すべきか等、きめの細かい避難情報を本手法で知ることができる。

4. おわりに

本研究では現在十勝岳で行われている泥流のハード対策を考慮していないが、今後これらのハード対策の効果を定量的に分析し、泥流発生予知、発生泥流規模感知等も含めて避難システムの評価が行われることが望ましい。

◆参考文献◆

- 1) 高橋ら：京都大学防災研究所年報第32号B-2, 1989, pp.757-780
- 2) 高橋ら：京都大学防災研究所年報第30号B-2, 1987, pp.611-626
- 3) 高橋ら：京都大学防災研究所年報第28号B-2, 1985, pp.455-470

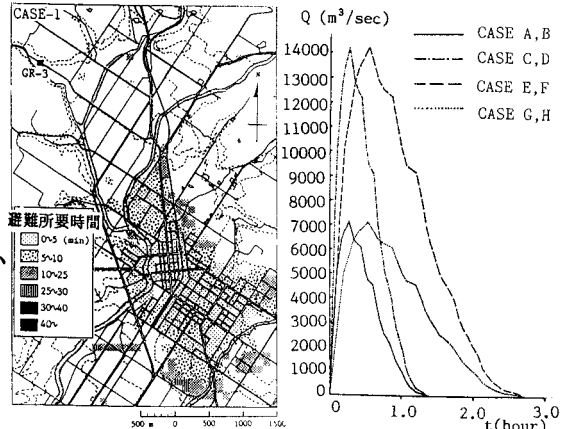


図-3 避難所要時間の分布図

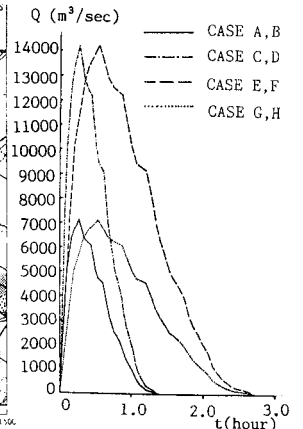


図-4 流入ハイドログラフ

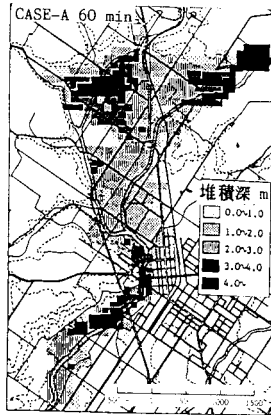


図-5 氾濫・堆積の分布図

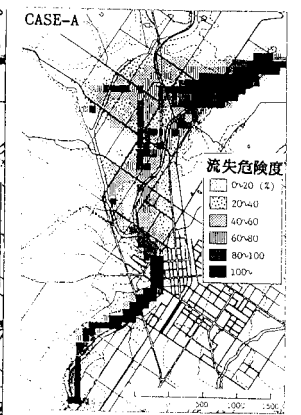


図-6 木造家屋の流失危険度の分布図

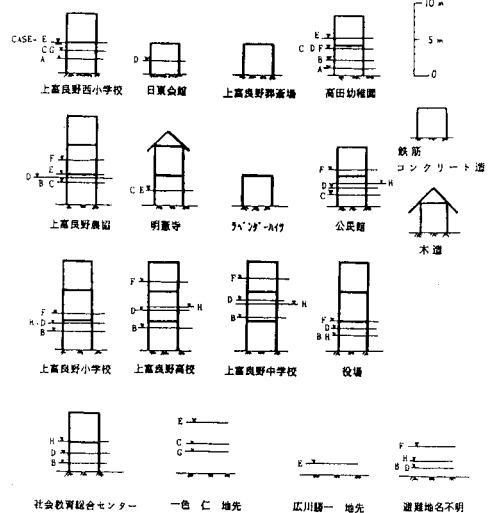


図-7 各避難地の最大流動深