

○香月 智
伊藤一雄
石川信隆
下田義文

A black and white photograph of a traditional Chinese building. The building features a multi-tiered tiled roof with upturned eaves. A small balcony or veranda is visible on the left side of the upper floor. The building is surrounded by a low wall and some vegetation in the foreground. The image has a grainy, high-contrast appearance.

写真-1 普賢岳の被災状況

の

測項

図-1 観測システムの概念図

4. 5

6月
た少
総委
た.

2. 2 到達速度の算定方法

計測された火砕流の到達位置(停止位置)から図-2の縦断面図を用いて、火砕流の流下距離 L を求めた。また、地震計の継続時間を火砕流の流下時間 T とすることにより、到達速度 V は次式によって求められる。

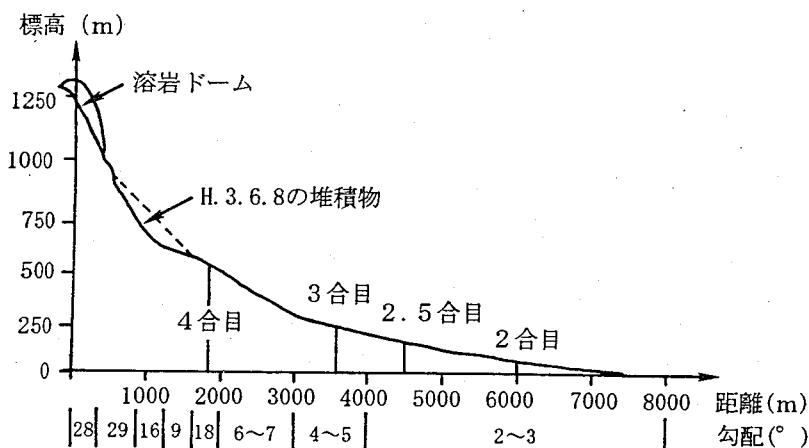
$$V = L / T \quad (1)$$

ここで、

V : 到達速度(発生から停止までの平均速度)、

L : 火砕流の流下距離(火口から到達位置までの距離)、

T : 地震計の継続時間(火砕流の流下時間)



3. 火砕流の到達速度および到達距離のばらつき特性

3. 1 到達速度

図-3に火砕流の到達速度の度数分布図を示す。これより火砕流の最小到達速度は3.9m/s, 最大到達速度は74.3m/sで、到達速度の分布は、19~20m/sの25回を中心にはばらついていることがわかる。到達速度の単純相加平均は20.3m/sで、標準偏差は7.8m/s, 変動係数は0.38であった。この分布の3次中央モーメントは正であり平均値より大きい領域での広がり大きいことがわかる。

この到達速度の分布特性を検証するため正規確率分布紙, 対数正規確率分布紙およびガンベル確率分布紙¹⁾を用いて検定した。図-4に示すように、対数正規確率では、よく線形性を示し到達速度の分布を対数正規確率分布でモデル化できることがわかる。図-3に正規確率分布, 対数正規確率分布およびガンベル確率分布による分布曲線を比較して示すが、対数正規確率分布モデルが最も良く度数分布をモデル化することがわかり、その平均値は19.8m/s, 標準偏差5.2m/sとなり、その分布関数 $f(v)$ は次式で与えられる。

$$f(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi v} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln v - \lambda}{\xi} \right)^2 \right] \quad (2)$$

ここで、 v : 到達速度(m/s), $\lambda = 2.955$,

$\xi = 0.256$ 。

図-5に、2カ月ごとの平均到達速度の推移

図-2 普賢岳の縦断面図

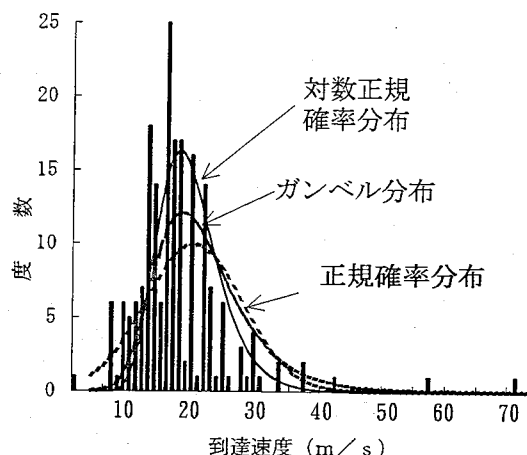


図-3 火砕流の到達速度の度数分布

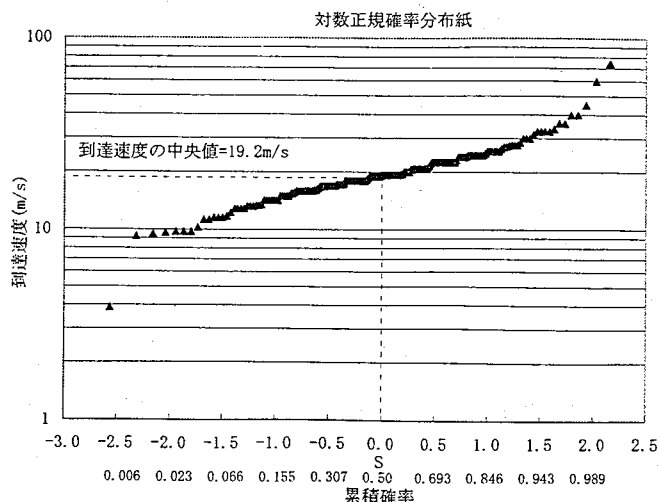


図-4 対数正規確率分布紙にプロットした到達速度

を示す。これより、普賢岳火砕流発生当初は、平均到達速度14.9m/sであったが、活動の活発化とともに平均到達速度は一旦上昇し、92年12月頃に最高値(22.5m/s)に達しているが、以降の平均到達速度は低下し約20m/sに収束するような傾向が見られる。これは、火砕流の堆積によって、図-2の縦断勾配が緩やかになったためではないかと推定される。

3. 2 到達距離

図-6に、火砕流のうち3.5合目、3合目、2.5合目まで達した火砕流の到達時間の度数分布を示す。これより、3.5合目以下に達した火砕流は全体(4合目以下に達した火砕流193個中)の87%(168/193)であるが、2.5合目には全体の4%弱(6/193)しか火砕流は達していない。3.5合目、3合目、2.5合目への平均到達時間はそれぞれ2分29秒、3分6秒、3分41秒であった。

4. 火砕流の外力算定の一例

火砕流の被害防止および普賢岳からの噴出物の流出を防止するために、水無川流域で砂防ダムの建設が行われているが、このためには、火砕流により砂防ダムに加わる外力の算定が必要となる。そこで、土石流の流体力を算定する次式²⁾を用いて火砕流の流体力を算定した。

$$F = \frac{\rho_d h U^2}{g} \quad (3)$$

ここで、

F : 単位幅当たりの火砕流の流体力 (tf/m),

ρ_d : 火砕流の単位堆積重量 (tf/m³)

g : 重力加速度 (9.8m/s²), h : 設計火砕流深 (m),

U : 火砕流の到達速度 (m/s)

次に、到達速度の分布が対数正規確率分布であると仮定し、式(3)と式(2)を用いることにより図-7のように火砕流の流体力とその超過確率(到達速度)の関係を求めることができる。ここで、設計火砕流深は5m(設計ダムの高さが5m)、火砕流の単位堆積重量については不明であるので $\rho_d = 1.0, 1.5, 2.0$ tf/m³の3種類について考察を行った。

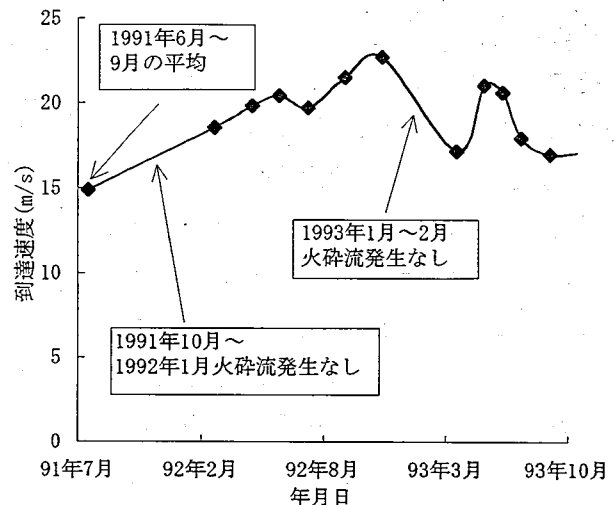


図-5 平均流下速度の2カ月ごとの推移

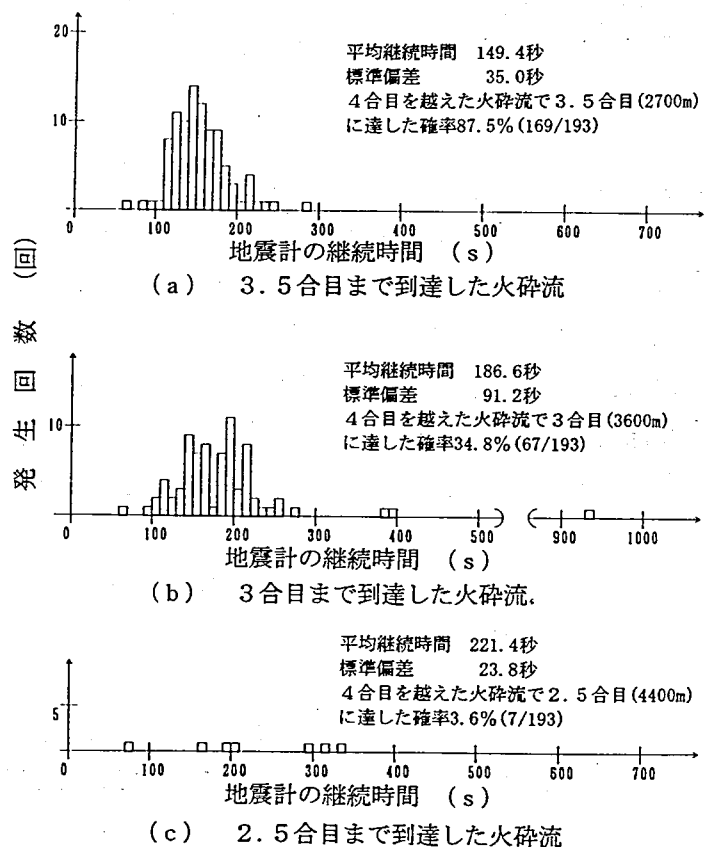


図-6 到達距離ごとの時間の度数分布図

これより、超過確率を10%とする
 とその設計到達速度は、約29m/sとな
 りその流体力は、 $\rho_d = 1.0 \text{ tf/m}^3$ の場
 合は435tf/m、 $\rho_d = 2.0 \text{ tf/m}^3$ の場合
 は870tf/mとなり、平均到達速度19.8m/s
 の場合の流体力($\rho_d = 1.0 \text{ tf/m}^3$ の場合
 は200tf/m、 $\rho_d = 2.0 \text{ tf/m}^3$ の場合
 は400tf/m)の約2.2倍の外力となっ
 ている。また、超過確率5%(到達速度約
 32m/s)の場合は、 $\rho_d = 1.0 \text{ tf/m}^3$ の
 場合は526tf/m、 $\rho_d = 2.0 \text{ tf/m}^3$ の場
 合は1052tf/mとなり、平均到達速度の場
 合の約2.6倍の外力となった。設計外
 力として用いる場合には、超過確率と
 流体力を適切に設定して用いる必要が
 ある。

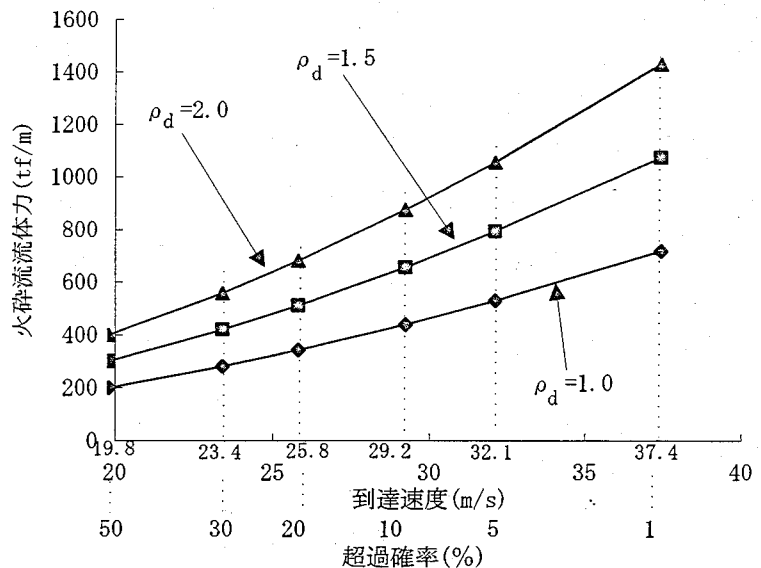


図-7 流体力～超過確率関係

5. 結言

本研究の結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 火砕流の到達速度の単純相加平均は20.3m/s、標準偏差は7.8m/sであり、到達速度分布は対数正規確率分布で近似できる。
- (2) 火砕流の平均到達速度は、約20m/sに収束しつつある。
- (3) 到達距離ごとの火砕流の到達時間より、各地点での安全避難時間を求めることができる。
- (4) 火砕流の到達速度が対数正規確率分布として流体力を算定すると、超過確率10%(到達速度約29m/s)で流体力は、 $\rho_d = 1.0 \text{ tf/m}^3$ の場合435tf/m、 $\rho_d = 2.0 \text{ tf/m}^3$ の場合870tf/mとなり、超過確率5%(到達速度約32m/s)の場合は、 $\rho_d = 1.0 \text{ tf/m}^3$ の場合714tf/m、 $\rho_d = 2.0 \text{ tf/m}^3$ の場合1427tf/mとなった。

謝辞：この観測データは、九州大学島原地震火山観測所および陸上自衛隊第4師団島原派遣隊によって得られたものであり、ここに記して謝意を表する。

参考文献：1) 伊藤學・亀田弘行訳：土木・建築のための確率統計の基礎, pp. 258～281, 平成5年12月20日
 2) 鋼製砂防構造物委員会：鋼製砂防構造物設計便覧, pp. 59～60, 平成5年