

建設省土木研究所 ○ 山田 孝

水山 高久

矢島 重美

1. はじめに

火砕流は狭義には、高温の溶岩片、火山灰、ガスの混合物が高速で斜面を流下する現象と定義され、これまで火山山麓に壊滅的な災害をもたらしてきた。火砕流による災害を軽減し、防止するためには、まず、その運動メカニズムを明らかにし、その影響の範囲と程度を予測することが重要である。しかしながら、火砕流の運動に関する研究は、世界的にみても非常に少なく、運動メカニズムを力学的に取り扱ったものとしては高橋の研究¹⁾がある程度である。さらに、火砕流の発生が突発的でその頻度が低いため、実際の流れを観測し、解析できた事例が極めて少なく、理論の妥当性を検証するまでには至っていない。幸い、1989年5月、6月にインドネシアジャワ島のスメル火山において火砕流が発生し、その流下状況は現在、土木研究所砂防研究室の依頼により、火砕流の観測を行っている現地駐在の下田義文氏（八千代エンジニアリング^株）によって、VTR撮影された。このVTRは火砕流の発生から流下の状況を極めて鮮明に記録しており、世界的にみても流動特性を解析するうえで大変貴重な資料と考えられる。本研究は、このVTRから火砕流の流下速度等を判読し、その流動特性について考察したものである。

2. スメル火山と火砕流

スメル火山はインドネシア東部ジャワ州の州都スラバヤの東南150kmに位置し、1日数10回も小噴火を繰り返している世界有数のユニーク型活火山であり、ジャワ島で最も高い(3,676m)。山体の南東斜面には火口から標高2,250m付近まで幅100~400m、長さ2.5km、平均勾配32°に及ぶ大規模で急峻な侵食谷が形成されている。火砕流は月に数回から数十回という高頻度で発生し、この侵食谷の中を流下する。火砕流の頻度が大きい場合、その到達距離は火口から10数kmになることがあり、たとえば1981年3月28日、ならびに1988年5月10日に発生した火砕流は火口から各々、14km、13kmも流下している。今回、VTR判読の対象とした火砕流は、1989年5月、6月に発生した4ケースである(図-1)。6月10日5時38分に発生した火砕流(火砕流Aと呼ぶ)(写真-1)は最もその規模が大きく流下に伴う火砕流本体からの煙の上昇も著しい。1989年5月15日8時45分に発生した火砕流(火砕流B)は火砕流Aに次ぐ規模のものである。6月10日5時35分に発生し

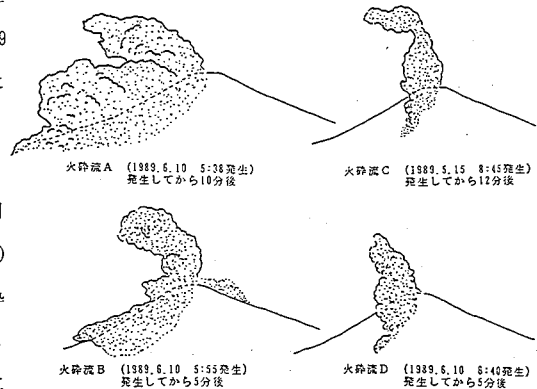


図-1 判読の対象とした火砕流のスケッチ

た火砕流（火砕流C）ならびに同日の6時40分に発生した火砕流（火砕流D）はいずれも火砕流A、Bと比べてその規模が小さく、火砕流本体よりも火口からの煙の上昇の方が卓越している。

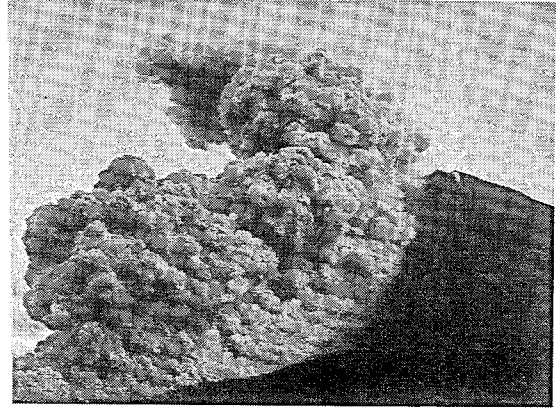


写真-1 火砕流Aの流動状況

3. 火砕流の観測とVTR判読の方法

図-2に火砕流の流下区域とその縦断面ならびに観測地点を示した。いずれの火砕流も南東斜面の大規模な侵食谷に規制され、グリディック川支川ブサクバン川沿いに流下した。その流下状況は標高900m付近でVTRによって収録された。火砕流が流下した区間は縦断的に標高2,250m付近までは勾配が 32° ($\tan \theta = 0.625$)、標高2,250mから標高1,400m付近までは 19° ($\tan \theta = 0.34$)、標高1,400m以下は 8° ($\tan \theta = 0.14$)である。

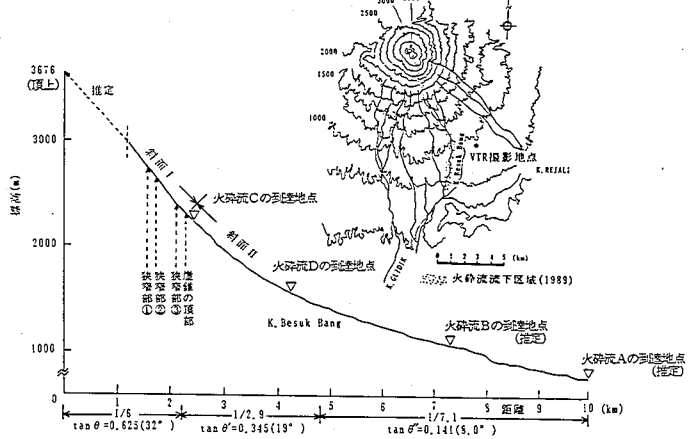


図-2 火砕流の流下区域(平面図, 縦断面)と観測地点

判読は火砕流の先端部の運動状況が明らかである標高2,900mから1,400m付近までの区間を対象とし

た。まず、山体の写真を標高100mピッチで区切り、VTRの映像と見比べながら火砕流フロント部の標高を求め、区間ごとに流下速度と加速度を求めた。

4. 判読の結果と考察

VTR判読によって得られた火砕流A、B、C、Dの流下速度はそれぞれ、 $7.8 \sim 59.5 \text{ m/sec}$ 、 $8.7 \sim 20.0 \text{ m/sec}$ 、 $5.6 \sim 18.0 \text{ m/sec}$ 、 $4.7 \sim 30.0 \text{ m/sec}$ である。これらの値は他の火山で発生した火砕流と比較して顕著な違いはなく、たとえば、駒ヶ岳 ($3.9 \sim 55 \text{ m/sec}$)、阿蘇 ($8.3 \sim 16.9 \text{ m/sec}$)、セントヘレンズ ($3.0 \sim 3.3 \text{ m/sec}$)に近い。

図-3は火口からの水平距離に伴う地盤勾配、流下速度、加速度の変化を示したものである。これらの

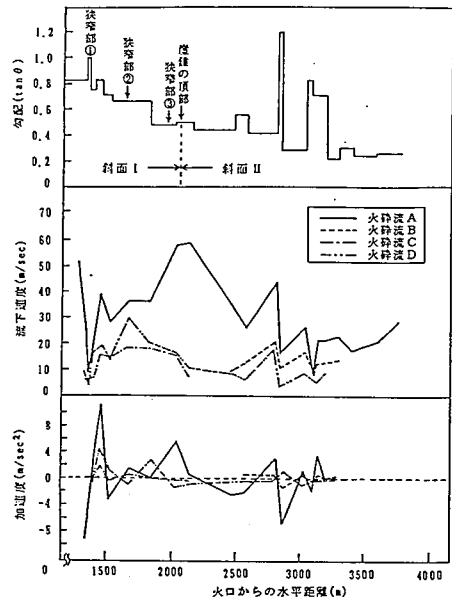


図-3 流下に伴う流下速度, 加速度

関係を考察する際に縦断勾配の変化から山腹斜面を斜面ⅠとⅡに分けて考える。斜面Ⅰは標高2,900mから崖錐頂部にあたる2,250mの地点までで勾配 ($\tan \theta$) が0.5~1.0と安息角以上と考えられる斜面である。また斜面Ⅱは、標高2,250mより下流で、一部の区間で勾配 ($\tan \theta$) 1.2、0.8という急勾配の斜面があるが、全体的に安息角以下と考えられる斜面が卓越する。斜面Ⅰでの火砕流Aの運動を見ると、火口から1,300mの地点(標高2,750m)近傍で速度が急減し、その後は全体に増加して2,250mの地点で速度がピークとなる。速度が急減する標高2,750mの地点では勾配がむしろ増加しているの、狭窄部①の影響を受けたものと思われる。また、加速度の変化が勾配の変化に非常によく対応するため、斜面勾配に応じて加速していく区間であるとみなせる。

斜面Ⅱでは流下するにしたがい、速度が減少する。しかし、一部の急勾配な区間では速度が増加している。斜面Ⅱでは崖錐面を分散しながら流下するため、勾配の減少とともに流動深が低下して流速が減少することも考えられる。火砕流B、C、Dは火砕流Aに比べると全体的に速度は小さいが、類似した速度の変化を示す。ただし、減速の傾向は、火口から1,700mとより早く現れている。

図-4にメラビ火山の火砕流のデータを含めた勾配 ($\tan \theta$) と流下速度との関係を示す。この図には、斜面Ⅰと斜面Ⅱでの流れの状態が異なるため、各々の斜面で得られたデータを分けて記してある。火砕流A、B、C、Dはいずれも斜面Ⅰでは、流下するにつれて速度が増加している。斜面Ⅱでの火砕流Aの運動について、経験式で表すにはばらつきが大きすぎるが、あえて示すと次のようになる。

$$v \approx 100 I^{1.5} \dots \dots (1)$$

ここに、 v : フロント部での流速 (m/sec)、 I : 地盤勾配 ($\tan \theta$) である。火砕流B、C、Dについてはデータのばらつきが大きく、両者の関係は明瞭ではない。ただし、火砕流Bの場合、一部の安息角を越える急勾配区間でのデータを除外すると勾配が緩くなるほど流速は小さくなる。

図-5はメラビ火山のデータも含めた勾配 ($\tan \theta$) と流速係数 (V/V_*) との関係を示したものである。ここに、 V : フロント部の流下速度、 $V_* = \sqrt{g H I}$: 摩擦速度である。摩擦速度を算出するために必要となる火砕流の流動深Hは、今回のケースでは堆積物の調査がなされておらず、推定が困難であったため、流下距離が火砕流Aとほぼ同じであった1988年5月10日

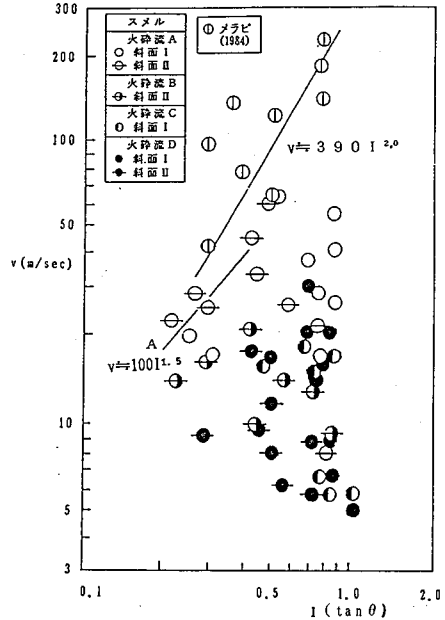


図-4 勾配と流速の関係

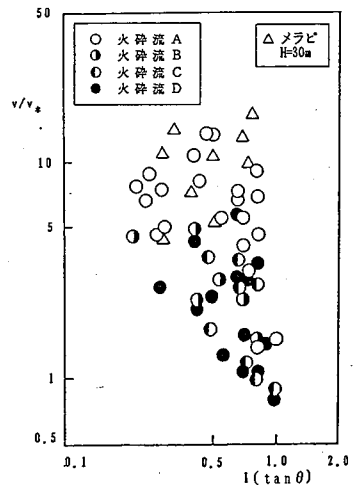


図-5 勾配(I)と流速係数(v/v_*)との関係

の火砕流の堆積深4.0mを火砕流Aの流動深とみなした。火砕流B、C、Dについては流下規模、流下速度が火砕流Aと比べて小さいため、流動深も小さいと思われるが、ここでは火砕流Aと同じ4mとした。計算値は広くばらついているが、火砕流Aでは5～10程度の値をとり、規模が小さくなると流速係数も小さくなる傾向が認められる。通常の粗面水路や河川の値は8～25程度であるから、いずれの場合もそれらより、やや小さな値となっている。

高橋は流動深が粒径に比して十分大きいとき、 V/V_* が近似的に

$$V/V_* = \frac{1}{K} \left(\ln \frac{3.0H}{k} - 1 \right) \dots\dots(2)$$

と表され、通常の二次元流れに対して成立する対数則と一致するとしている¹⁾。ここに K : カルマン定数 (0.4)、 k : 地盤の粗度高さ、 H : 流動深である。粗度高さとして、少々過大と思われるが、1mとしてカルマン定数を逆算すると図-6のようになる。規模が大きい火砕流Aでは、0.4付近にばらついているが、それ以外ではかなり大きな値となり、(2)式についてはさらに検討が必要と考えられる。

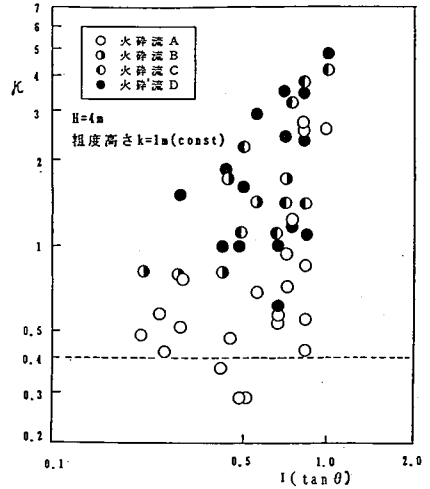


図-6 カルマン定数(K)と勾配(I)との関係

5. おわりに

1989年、5月、6月にインドネシアスメル火山で発生した火砕流のVTRから流下速度、加速度を判読し、主に勾配との関係について考察した。火砕流の運動特性と地形条件(勾配、狭窄部、拡幅部)に関するより詳細なデータ収集・解析、流れの規模と運動特性との関係、流動深の推定方法等が今後の課題となる。

参考文献

- 1) 高橋保; (1986)、火砕流、土石なだれのメカニズム、火山噴火に伴う乾燥粉体流(火砕流等)の特質と災害、自然災害特別計画研究研究成果、NO,A-61-1,PP25-41