

## 103 火碎流の堆積特性に関する実験

建設省土木研究所 ○矢島 重美  
石川 芳治  
山田 孝  
米国内務省地質調査所 Richard P Hoblitt

### 1. はじめに

火碎流による災害を防止・軽減していくうえで、火碎流の堆積範囲を推定する手法を確立することは重要な研究課題である。火碎流の堆積範囲に影響すると思われる要因には、火碎流の土砂量、火山ガス等による流動化の程度、流下部・堆積部での斜面勾配等の地形条件等が考えられる。しかしながら、これまで主に実際の火碎流の堆積状況に関する定性的な記載や、堆積地形、堆積層の層序、粒径分布等からの現象論的な研究<sup>1)</sup>が主体であり、堆積範囲に影響を及ぼす前述の諸々な要因についての実験的な研究は全くといっていいほどなされていない。そのため、火碎流の流動化の程度に応じて流下部、堆積部の地形条件が堆積長や堆積幅、堆積形状等の堆積特性にどの程度影響するのかについては、実際の現象に関するデータが少ないことも合わせて未知な点が非常に多い。そこで、このようなことを定量的に明らかにするための基礎的データを得るために実験によって比較的小規模な火碎流の下層部 (debris avalanche) の堆積特性に関する考察を行った。

### 2. 実験の方法

図-1に実験装置の概要を示す。実験装置は火碎流発生部、流下部、堆積部からなる。流下部は幅15cm、長さ3m、高さ30cmの直線水路であり、勾配を0°から40°まで変えることができる。流路の底面には多孔性のポーラスストーンを敷きつめ、コンプレッサーから供給された空気がポーラスストーンを通過することによって上方に均一に放出されるようになっている。コンプレッサーの空気供給能力は最大  $10.8\text{m}^3/\text{sec}$ 、圧力  $7\text{kgf/cm}^2$  であり、バルブによって空気流量を調節できる。堆積部は幅1m、長さ3.6mの矩形の板であり、表面には特に粗度をつけていない。堆積部の勾配は流下部の勾配との関係上、0°～10°まで変化させることができる。実験を行うにあたり、流路最上端の火碎流発生部（長さ30cm、幅15cm、高さ30cm）に土砂を入れ、コンプレッサーから空気を供給する。一気にゲートを引き上げると土砂が流動化し、高速度で流下して堆積部に明瞭な堆積地形を形成する。その様子を流下部の側面から1台、堆積部の側面から1台、堆積部の前方から1台、計3台のVTRカメラで撮影した後に堆積地形の形状のスケッチ、写真撮影、縦横断測量を実施した。

実験ケースは、空気上昇速度（コンプレッサーから供給される空気量を流路底面積で除したもの）を2ケース ( $2.7\text{cm/sec}$ ,  $0.5\text{cm/sec}$ )、流下部の勾配を6ケース ( $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $37^\circ$ )、堆積部の勾配を1ケース ( $10^\circ$ ) とし、これらを適宜組み合わせて計13ケース実施した。なお、実験に用いた土砂については、これまでの火碎流堆積物の粒径分布に関する研究<sup>1)</sup>をもとに  $2\text{mm} \sim 1\text{mm}$ ,  $1\text{mm} \sim 1/2\text{mm}$ ,  $1/2\text{mm} \sim 1/4\text{mm}$ ,  $1/4\text{mm} \sim 1/8\text{mm}$ ,  $1/8\text{mm}$  以下の5つの粒径区分に分け、おのおの同じ重量 (1.7kg) とし、これら全てを十分攪拌させたものを実験1回あたりの試料とした。（ $1/8\text{mm}$ 以下の土砂については、フライアッシュを用いた。）なお、この土砂の動摩擦角は  $26^\circ$ 、静止摩擦角は  $35^\circ$ 、密度は  $1.75\text{g/cm}^3$  である。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 火碎流堆積地の全体的な形状と堆積長

図-2に今回の実験によって形成された火碎流堆積地形の平面図ならびに横断図の一例を示す。上の図は、流下部の勾配を $25^\circ$ 、堆積部の勾配を $10^\circ$ に設定して、空気上昇速度のみを変化させた場合に形成された堆積地を表している。空気上昇速度が $2.7\text{cm/sec}$ の場合の方が $0.5\text{cm/sec}$ の場合よりも土砂の流動化の程度も大きく、その結果、堆積長、堆積幅とも大きくなっている。薄く堆積しているのが特徴である。下の図は、流下部の勾配を $15^\circ$ 、堆積部の勾配を $10^\circ$ に設定して空気上昇速度のみを同じように変化させた場合の堆積地形である。堆積長については、空気上昇速度が $2.7\text{cm/sec}$ の場合の方が $0.5\text{cm/sec}$ の場合と比べて3倍程度大きくなっている。空気上昇速度 $0.5\text{cm/sec}$ の場合は勾配変化点で凸状に厚く堆積しており、かなりの土砂が流路内にも堆積した。

他の実験ケースで形成された火碎流堆積地の形状についても、空気上昇速度が大きい $2.7\text{cm/sec}$ の方が $0.5\text{cm/sec}$ の場合よりも堆積長が長く、横方向に広く、薄く堆積する傾向が認められた。但し、流下部の勾配が $37^\circ$ 、 $30^\circ$ といったように、実験に用いた土砂の動摩擦角近傍よりも急な場合には、堆積長でみる限り、空気上昇速度の大小に限らずそれほど著しい違いは認められない。

空気上昇速度の大小に応じて、火碎流の堆積長が流下部の勾配によってどのように変わるとかを図示すると図-3のようになる。空気上昇速度が $2.7\text{cm/sec}$ 、ならびに $0.5\text{cm/sec}$ のいずれの場合も、流下部の勾配が大きくなるに従って、堆積部での堆積長が比例的に増加している。流下部の勾配が動摩擦角近傍よりも小さい場合は、空気上昇速度の大小による堆積長の違いは明らかであるが、流下部の勾配が動摩擦角近傍よりも大きくなると各々の堆積長の違いがそれほど認められなくなり、互いに近似してくる傾向がある。このような急勾配区間での一旦流動化した後の火碎流の運動について、空気の上昇速度は堆積長に大きな影響を与える要因にはならないようである。この理由として急勾配の流下部での運動特性として重力の斜面方向成分が卓越し、堆積部に流入する時点での火碎流の流速にそれほど違いが認められないためと思われる。

ここで、今回の実験で形成された火碎流堆積地の等価摩擦係数を流路勾配ごとに算出してみると、空気上昇速度の大小による等価摩擦係数の値の違いはさほど認められず、今回の実験条件では $\mu=0.18\sim0.4$ 程度の値を示す。ちなみに1984年6月15日にインドネシアのメラピ火山で発生した火碎流ならびに1989年6月10日に同じくインドネシアのスマル火山で発生した火碎流について等価摩擦係数を算出すると $0.3\sim0.5$ 程度の間でばらつき、今回の実験で得られた値の範囲はそれに比較的近くなる。さらに、実験で得られた等価摩擦係数を発生地点から堆積地点に至るまでの区間ににおける平均的な見かけの動摩擦係数とみなしそれぞれ静止摩擦角( $\tan 35^\circ = 0.7$ )で除することによって摩擦係数比を算出すると $0.2$ から $0.6$ 程度の値となる。従来の崩壊土の運動に関する研究<sup>2)</sup>によれば、摩擦係数比は、だいたい $0.6\sim0.85$ 程度の範囲にあることが報告されているため、今回、得られた火碎流のそれの実験値は崩壊土の場合よりかなり小さめであることがわかる。

#### 3.2 堆積幅と形状比

図-4は空気上昇速度に応じて流路の勾配と堆積の広がりの程度との関係がどのように変化するかを示したものである。ここで、堆積の広がりを表す指標として火碎流の最大堆積幅( $B_{max}$ )と流路幅( $B$ )

との比 ( $B_{max}/B$ ) を考え、以下、分散比と呼ぶこととする。この図から、空気上昇速度が大きい $2.7\text{cm/sec}$ の方が $0.5\text{cm/sec}$ の場合よりも全体的に分散比が大きく、火碎流の分散堆積傾向が強いことが分かる。また、今回の実験では堆積部の勾配を $10^\circ$ に固定しているが、このような条件では流路勾配が $20^\circ \sim 25^\circ$ 付近を超えると流路勾配の増加に伴って急激に分散比が大きくなる傾向がうかがえる。特に空気の上昇速度が $2.7\text{cm/sec}$ の場合で、流路勾配が静止摩擦角に近い時は分散比が5程度となり、これまで土石流の堆積実験で得られている堆積幅と流下水路幅の比の上限の一定値に近くなる。また、勾配が $20^\circ$ 程度以下になると分散比はだいたい $2 \sim 2.5$ 程度に近似してくる傾向があり、このことから、今回の実験条件では少なくとも流路幅の2倍程度は広がって堆積することがいえる。

次に、空気上昇速度に応じた流路の勾配と堆積地の形状との関係を図-5に示す。ここで堆積地の形状を表す指標として最大堆積幅 ( $B_{max}$ ) を堆積長 ( $D$ ) で除した値 ( $B_{max}/D$ ) を用い、以下、堆積形状比と呼ぶことにする。今回の実験条件では、火碎流の流動化の程度が著しい空気上昇速度が $2.7\text{cm/sec}$ の場合は、流路勾配に限らず堆積形状比がほぼ0.2程度の一定値を示しており、堆積長は最大堆積幅の5倍程度になる。ちなみに1984年6月10日にインドネシアのメラピ火山で発生した火碎流の堆積地について、その堆積形状比を求めてみると、ほぼ同じ0.2程度の値をとる。一方、空気上昇速度が $0.5\text{cm/sec}$ の場合、流路の勾配が $37^\circ, 30^\circ$ といった動摩擦角近傍以上の領域では、 $2.7\text{cm/sec}$ の時とほぼ同じ堆積形状比を示しているが、流路の勾配が $25^\circ$ から $15^\circ$ にかけては急激に堆積形状比が約0.5まで増加している。このことは、流路勾配が小さくなると流下方向の運動よりも横方向への広がりが卓越してくることを意味しており、撮影されたVTRによって堆積過程を観察してもその様子がよく分かる。

#### 4.まとめと今後の課題

火碎流の流動化の程度に応じて流路勾配と火碎流の堆積長、堆積幅、堆積形状との関係がどのように変わるかを明らかにするための基礎的な実験を行った。今回の実験では、空気上昇速度、流路勾配、堆積部の勾配、土砂量等の火碎流の堆積特性に影響を与える実験条件をかなり限定しているので、得られた結果から普遍的な結論を導き出すまでは至らないが、下記の傾向が推定される。

- ① 火碎流の流動化の程度が大きく、かつ、流路勾配が大きい方が堆積長、堆積幅とも大きくなり全体的に分散して薄く広い面積に堆積する傾向がある。
- ② 流路勾配が動摩擦角近傍よりも急である場合は、火碎流の堆積長、堆積幅、形状に影響を与える条件として、空気の供給量はそれほど重要ではなく、流路勾配そのものに影響される傾向がある。
- ③ 堆積部の勾配に対して流下部の勾配がある値を超えると急に横方向に広がって堆積するようになる傾向がある。さらに流路幅の2倍程度は最低限、分散堆積することが予想される。

これらの事項を定量的に明らかにするためには、今後、より多くの実験ケースを設定し、詳細に検討していく必要がある。また、実際の火碎流の堆積特性に関する情報をより多く収集・解析し、実験結果とも合わせてそのメカニズムを力学的に説明することも重要となる。

#### 参考文献

- 1) R.A.F.Cas & J.V.Wright (1988): VOLCANIC SUCCESSIONS-MODERN AND ANCIENT
- 2) 芦田和男, 江頭進治: マサ土斜面における崩壊土の流出, 自然災害特別研究(1)研究成果報告書, マサ土地帶における土砂災害の予測と防止に関する研究

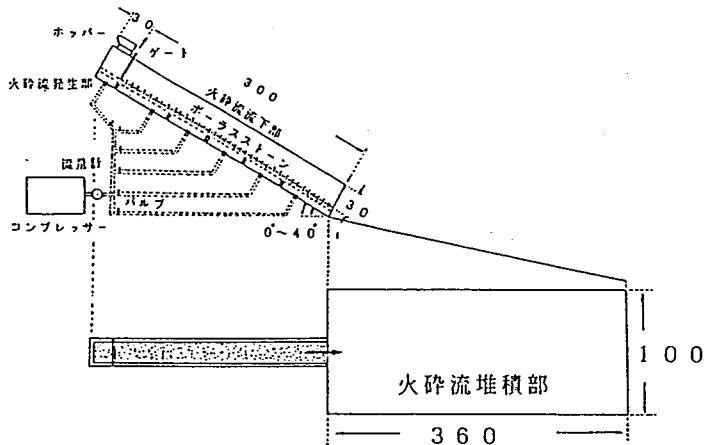


図-1 実験装置の概要 単位はcm

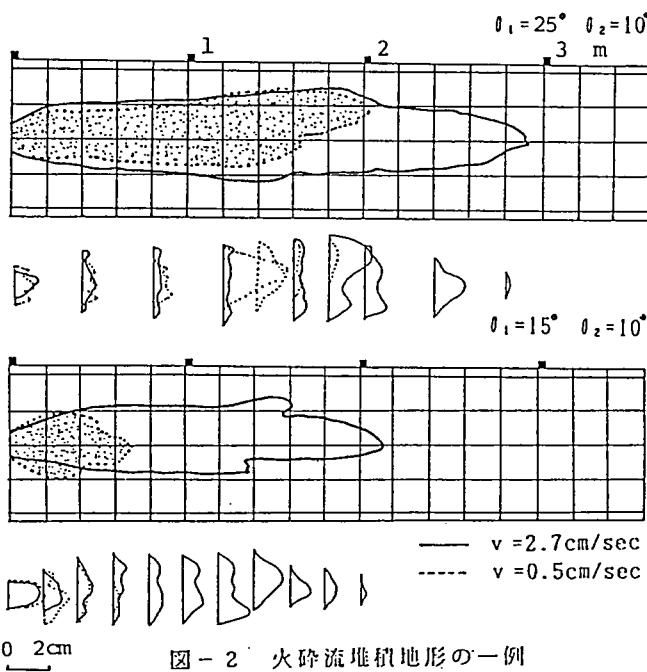


図-2 火碎流堆積地形の一例

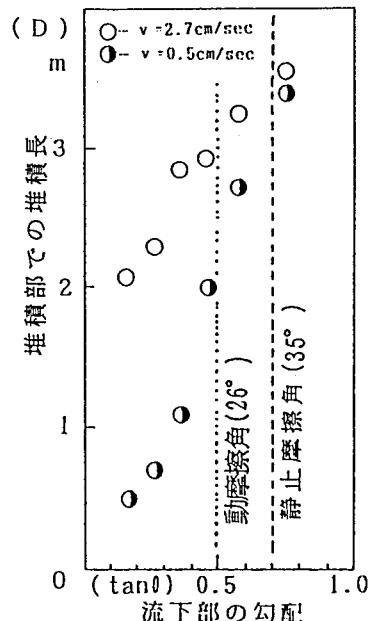


図-3 流下部の勾配と堆積部での堆積長との関係

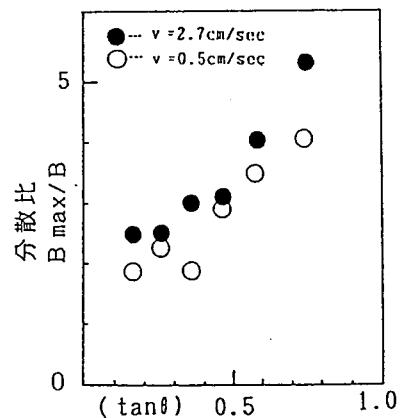


図-4 流下部の勾配と分散比の関係

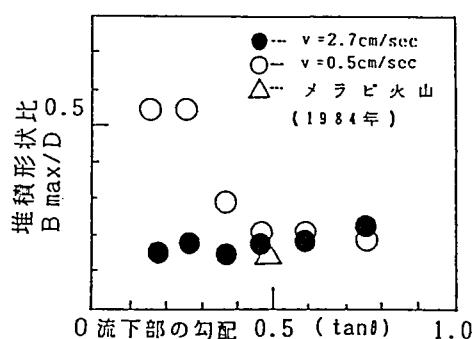


図-5 流下部の勾配と堆積形状比の関係