

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 江頭進治

京都大学防災研究所 正 員 里深好文

京都大学大学院 学生員○金銅将史

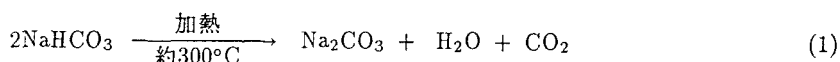
1. はじめに 火山噴火災害のなかでも、高温の火砕物が高速で斜面を流れ下る火砕流は、周辺地域に甚大な被害をもたらす。しかし、その最大の特性であり、被害を大きくする最たる要因と考えられる著しい流動性の維持機構については不明な点が多く、火砕流の流動メカニズムの解明は、災害対策を考える上で避けては通れない、重要かつ根本的な課題である。よって、ここでは、火砕流における流動性の維持機構について諸説あるなかで、特に、この高流動性が、岩片からの火山ガスの噴出が噴火後も継続するために、流下の際、斜面上に上向きガス流が形成され、粒子が支えられて維持されるという考えのもとに、流路実験を行って火砕流の流動機構を調べた。

2. 流路実験 火砕流の流路実験はこれまでもいくつかの例があるが、今回の実験では次のような新たな試みを行った。

[1]実験流路内で粒子層全体からガスを発生させることにより、粒子が浮遊する流動化状態をつくった。

[2]定常状態における内部の濃度分布および流速分布の測定を試みた。

このうち[1]は、加熱した砂(中央粒径 $80\mu\text{m}$)に重炭酸ナトリウムを加え、



で示される化学反応により、水蒸気と炭酸ガスが発生する現象を利用した。この方法は、流路床から空気を送って粒子を浮遊させる従来の方法に比べ、火砕流内部の圧力構造をよく再現していると思われる。実験では、加熱容器内で(1)式により流動化させた混合物を勾配可変の耐熱矩形断面流路(長さ4m、幅5cm、高さ32cm、底面粗度なし)の上流端からほぼ一定流量になるように供給し、火砕流を発生させた。そして、高さ方向の濃度分布および流速分布を、それぞれ濃度分布測定用サンプラーおよび流路側方に設置した高速度ビデオカメラを用いて測定した。なお、流速測定用のトレーサーには、フリーズドライタイプのインスタントコーヒーを用いた。実験は、流路勾配 θ および重炭酸ナトリウムと砂との混合比 n (重炭酸ナトリウム質量/砂質量)を変化させて行い、あわせて流下後に堆積深の縦断形状を流路内で測定した。

3. 実験結果と考察 まず、ガス発生が流動化に及ぼす影響を明確にするために、実験後の堆積深の縦断形状(x :下流端からの距離, z :流路床からの高さ)を図-1に示す。太線で示したのは加熱した砂のみを流した場合、つまり粒子層からのガス発生がない場合であり、他の場合に比べ堆積が顕著で、下流端まで達していない。一方、他のケースは n に応じて堆積しているが、混合物の大部分は下流端から流出し、ガス発生が流動化の大きな要因であることがわかる。

次に、高さ方向の粒子濃度分布であるが、これについては図-2に示すように、

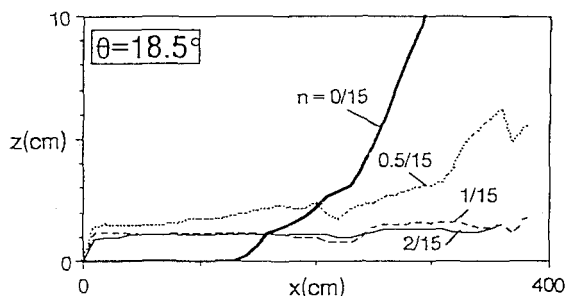


図-1 堆積深の縦断形状

[1]高濃度の本体部(A)の濃度は、ほぼ一定である。

[2]上方の砂煙の部分(B)では、しだいに濃度が減少する。

などの傾向が認められる。図-2の実線は、仮定した濃度分布の理論式($\theta = 13.5^\circ$, $n = 1/15$ の場合)であり、領域(B)において、流体の質量保存と流体-浮遊粒子間の相対速度のみを考慮した、平衡状態の二次元流れにおける濃度分布の基礎式(C :濃度, w_0 :粒子沈降速度, 粒子拡散係数が渦動粘性係数 ϵ に等しいとする。)、すなわち、

$$\epsilon \frac{dC}{dz} + w_0 C = 0 \quad (2)$$

の解として得られる、指数型の濃度分布式

$$C(z) = C_0 \exp \alpha(z - H) \quad (3)$$

である。ここで、 α は分布形を決定するパラメータと考えられ、 $\alpha = w_0/\epsilon$ で表わされる。また、 C_0 は本体部の濃度(一定値)、 H は本体部の厚さである。やや実験値と分布形が異なるのは、サンプラー内での堆積や、浮遊粒子が多いと沈降速度が小さくなる効果の影響であろう。

次に、図-3に流速 u の分布を示す。これより、

[1]領域(A)では、 z とともに流速は増加し、界面付近で最大となる。

[2]領域(B)では、界面付近で急激に流速が小さくなり、それより上では緩やかに減少する。

という傾向がわかる。このうち(A)では、乱れによって粒子が浮遊して全体がほぼ一様な濃度分布となっていると考えられることや、粒子が流動深に対して十分小さいことを考慮して、高橋¹⁾の理論を適用し、分布形として通常の乱流の対数則

$$\frac{u(z)}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z}{H} + \frac{u_m}{u_*} \quad (4)$$

を仮定した。($u_* = \sqrt{gH \sin \theta}$, H : 本体部厚さ, κ : カルマン定数) ただし、底面付近の情報が得られなかったため、境界条件を界面流速(最大流速 u_m)で与えている。一方(B)では、乱流混合による拡散を考えた芦田・江頭²⁾の下層密度流に関する理論の適用を試みた。対数則とあわせて、結果を図-3に実線で示すが、比較的良好に実験値と対応することがわかる。

また、(3)式と(4)式により求まる粒子流量は、下流端で計測した実験値に比較的近い値となり、火砕流の内部機構について、上述の理論を用いた議論が可能であると考えられる。

4. おわりに 今回、火砕流の高流動性の維持機構として、粒子からのガス噴出が重要な役割を果たし得ることがわかり、さらに、流れの内部構造を流路実験によって調べることができた。しかし、実際の火砕流対策を考える上では、火砕流の本体部の厚さやその濃度、流速などを決定する流れの抵抗則の解明が必要であり、これが実験方法の改良とあわせて、今後の課題となろう。

参考文献

- 1) 高橋 保: 火砕流・土石なだれの流動メカニズム, 文部省科学研究費自然災害特別研究, 計画研究「火山噴火に伴う乾燥粉体流(火砕流等)の特質と災害」報告書, 1986, pp.25-41.
- 2) 芦田 和男・江頭進治: 泥水密度流に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第237号, 1975, pp.3-29.

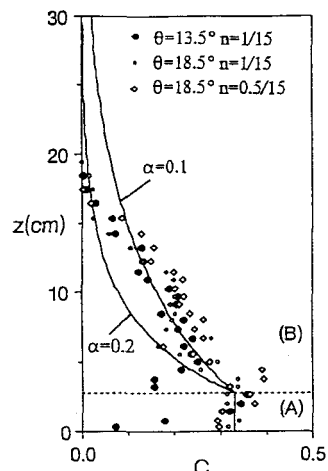


図-2 濃度分布

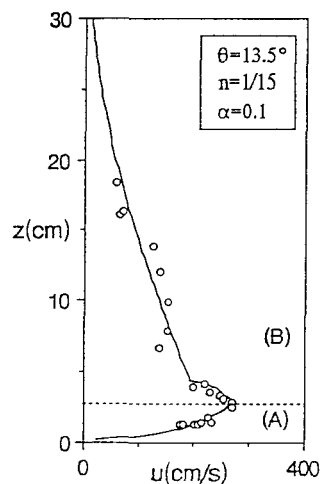


図-3 流速分布