

32 火砕流実験について

宮崎大学農学部 谷口儀信

1 はじめに

火砕流については、ガス圧により火砕流物質が浮遊状態となるため、非常に流動し易くなると言われている。従来の実験では水路底面から強制的に空気を送り込んで流動させる方法がとられている。しかし現在水路底面におけるガス圧の発生機構は明かではない。さらにまた火砕流の停止機構の解明は今後災害防止を考える上では非常に重要な問題でもある。しかし火砕流がどのようにして停止するのか、その機構も現在まだ不明な点が多い。本研究では水路内で火砕流がどのような運動をするのか、また水蒸気圧に注目した場合、火砕流が側面を拘束された水路から急に周囲を開放された3次元的方向性をもつ空間領域（オープンスペース）の中に出ると、ガス圧（水蒸気圧）は一挙に3次元方向に拡散すると考えられ、水路内では有効に働いた鉛直方向の圧力（揚力）はここでは急激に減少し、その結果摩擦力が強く働くようになり、減速するのではないかと考えて、火砕流停止に関する基礎的実験も併せてを試みた。

2 実験方法

実験装置は図-1に示すように、幅5cm、深さ10cm、長さ50cmの超小型水路と、水路上流端に取り付けた高温降下火砕物質投入ホッパー（容量450ml）、および水路下端に取り付けた勾配0°の開放部＝オープンスペース（急に開放された3次元的方向性をもつ空間領域）部分の3つより成る。水路は10°の非常に緩い勾配に設定し、本体底面から約2mmの隙間を設けて1mmメッシュの金網を張り、この金網を布張りとし、これを実際の水路底面（地表面）とした。そしてこの隙間に通水して、布を湿らせ、河床底面が水分を含んで湿っている状態を作り出した。水路下端のオープンスペースは幅30cm、長さ20cmの大きさで、勾配は0°の平坦部とした。オープンスペース部分は水で湿らすだけで、布張りなどの加工は施さなかった。

実験は降下火砕物をガスで300°C～320°Cに熱し、これを降下火砕物投入ホッパーに入れてから下端の弁を一挙に開けて水路内に投入する。これを1/60秒の撮影スピードでビデオカメラで撮影し、テレビ画面上でその流下速度の読み取りを行った。なお水路と水路下端のオープンスペース部分にはテレビ画面上で読み取りを行うときの長さの基準となる目盛りを入れた。すなわち水路には縦断方向に10cm、水路下端のオープンスペース部分には縦横3cm刻みの目盛線を入れた。この基準線を用いて流下距離の測定を行い、速度を求めた。降下火砕物の温度は接触型の温度計を用いて測定した。投入降下火砕物の量は150ml、250ml、300mlの3種類とした。

3 実験結果

火砕流の流動実験結果を示したのが図-2～図-5である。ここに図-2および図-4は投下火砕物質の量が300ml、150mlの場合の火砕流の水路内の流下速度を示したものであり、図-3

および図-5は
 上述のそれぞれの
 投入量に対する
 オープンスペ
 ース内での火砕
 流の速度変化を
 示したものであ
 る。

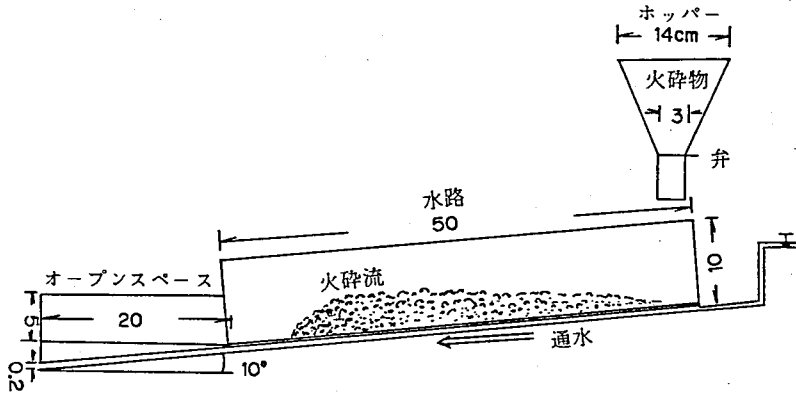


図-1 火砕流実験装置

図-2および
 図-4から知ら
 れるように、い
 ずれも火砕物質
 投入地点から
 10cmまでの
 区間が速度は最
 も大きく、それ
 から下流になる
 と速度は若干小
 さくなっている。
 しかし10cm
 $< S < 50$ cm
 では速度はほぼ
 一定している。
 つぎに図-3お
 よび図-5をみ
 ると、いずれも
 途中で一旦速度
 が相当大きくな
 る加速現象が起
 こっている。こ
 れは火砕流フロ
 ントが流下した
 後に第1波の火
 砕流よりも規模
 の大きい第2波
 の火砕流が再び

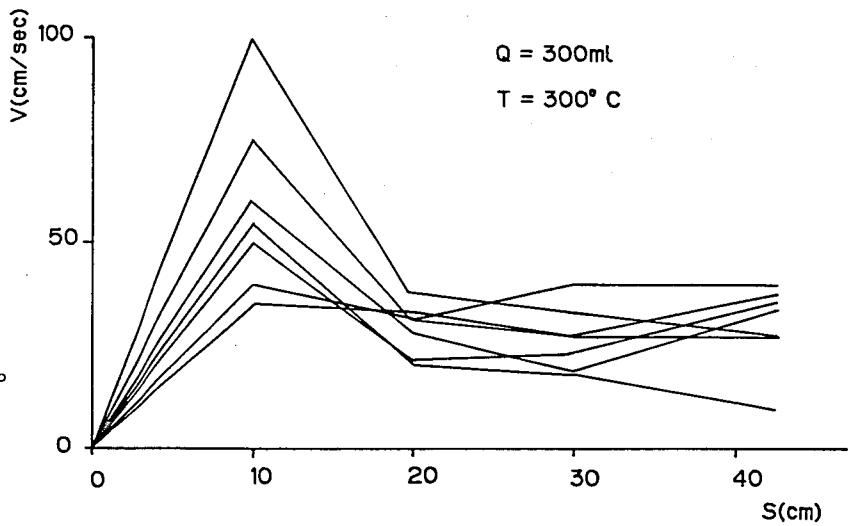


図-2 水路内における火砕流の運動

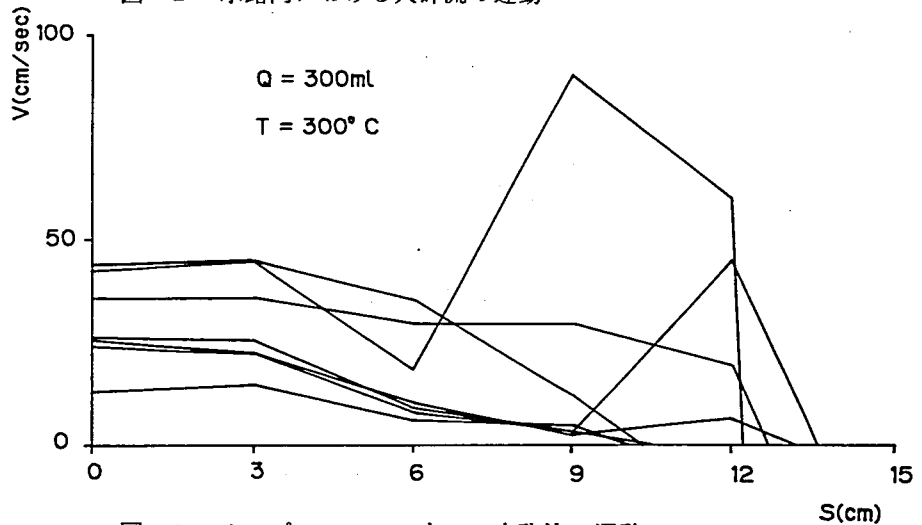


図-3 オープンスペース内での火砕流の運動

流下してくるためである。このことから知られるように、高温の降下火砕物が水路内に投入されても、これが一挙に火砕流となるわけではなく、まず堆積先端の部分が水蒸気圧で浮上し、これが流動し、これに続いて堆積主部が流動し、第2波以下の火砕流を形成する。

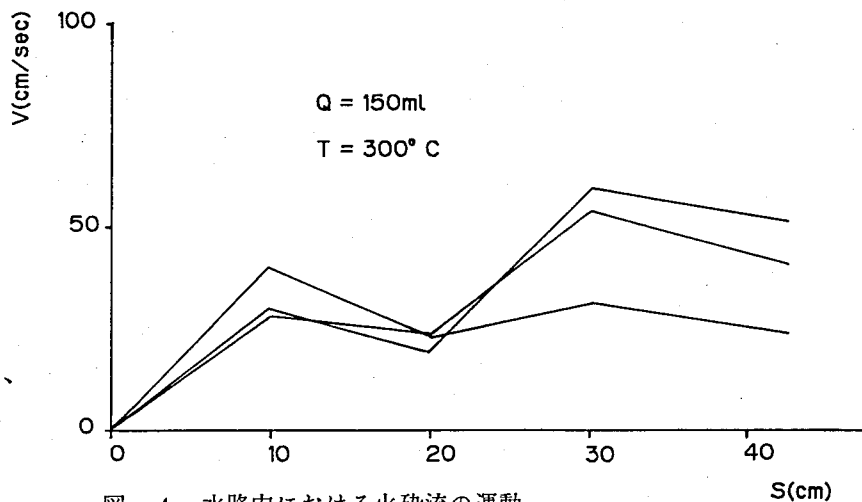


図-4 水路内における火砕流の運動

大きな規模の火砕流の場合はこれらが幾つか重なって1つの波形を作るようである。

4 考察

火砕流物質は非常に高温であることはこれまでの観測や、災害の歴史からも明らかである。そのため地表面が湿っている場合は地表面と火砕流物質本体との境界面ではかなり大きな水蒸気圧が発生するものと考えられる。すなわち高温の火砕流物質本体には自らの熱によって発生した水蒸気圧のために火砕流物質は空中に浮いた状態になると考えられる。特に側方を拘束された水路内では鉛直方向の圧力が有効に働くので摩擦力は急激に減少し、一種の浮力効果が大きく働き、その結果見かけの摩擦係数はかなり小さくなり容易に流動するものと考えられる。

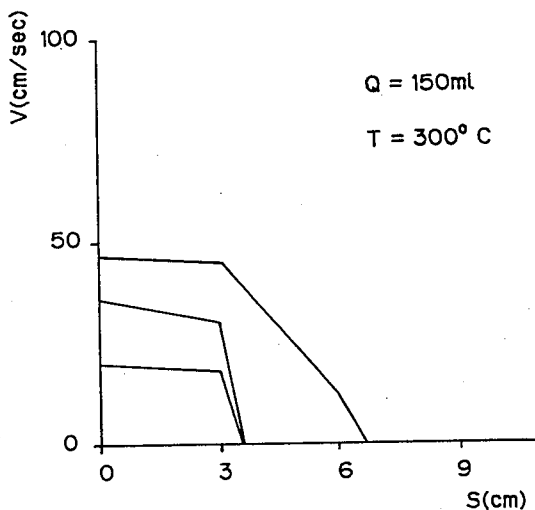


図-5 オープンスペース内での火砕流の運動

土石流のような集合運搬形態の土砂の運動方程式を論ずる場合、先端部分のみを1つの物質、すなわち質点の運動と考えた単純なモデルが用いられることがある。

$$ma = mg (\sin \theta - \mu \cos \theta) - Kv^2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

初速度が0ならば、このときの物体の運動距離Sは次式のようにになる。

$$v^2 - v_0^2 = 2aS \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに a: 加速度、 θ : 斜面勾配、 μ : 摩擦係数、g: 重力加速度、v: 速度、 v_0 : 初速度、S: 運動距離、K: 流体抵抗係数。式(1)と(2)より摩擦係数 μ を求めると次式のようにになる。

$$\mu = \tan \theta + (v_0^2/2gS) - \{(1/2gS \cos \theta) - (K/Mg \cos \theta)\} v^2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

奥田等の観測結果によれば、 $K \approx 0$ となると言われており、ここで $K = 0$ として、式(3)から水路内およびオープンスペース内における火砕流の μ の値を求めたものが表-1である。これから明

表-1 見掛けの摩擦係数

Run.	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	53cm	56cm	59cm	62cm	65cm	Volume
1		0.139	0.175	0.167	0.170	0.030	0.074				300ml
2		0.151	0.149	0.156	0.156		0.124	0.192			300ml
3		0.155	0.170	0.157	0.176	0.030	0.068	0.017			300ml
4	0.022	0.176	0.171	0.175	0.174		0.032				300ml
5	0.047	0.175	0.167	0.160	0.163	0.000	0.068	0.000	0.205		300ml
6	0.093	0.151	0.163	0.158	0.169	0.002	0.098	0.011			300ml
7	0.113	0.148	0.163	0.167	0.157		0.284		0.433		300ml
8	0.095	0.162	0.159	0.172	0.172	0.013					150ml
9	0.130	0.166	0.114	0.153	0.153	0.031	0.165				150ml
10	0.136	0.161	0.125	0.165	0.165	0.038					150ml

らかなように、水路の $0\text{ cm} < S < 10\text{ cm}$ 区間では火砕流は大きな加速運動を行っている。しかし $10\text{ cm} < S < 20\text{ cm}$ の区間では見掛けの摩擦係数が増加し、火砕流の減速が起こっている。 $20\text{ cm} < S < 50\text{ cm}$ の区間では摩擦係数は約 $\tan 10^\circ$ に等しく、ほぼ等速運動をしていることがわかる。発生から停止までの全区間を通してみた場合でも $\mu \leq 0.433$ となり、普通の土砂の摩擦係数に比べるとかなり小さいことがわかる。

式(3)において μ が物理的に意味をもつためには $\mu \geq 0$ でなければならない。すなわち

$$v \leq [\{ \sin \theta + (v_0^2 / 2gS) \} / \{ (1/2gS) - (K/mg) \}]^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

本実験では $\theta = 10^\circ$ であるから、 $K = 0$ とした場合、式(4)の条件を満たすためには、たとえば火砕流が水路内を 10 cm 移動したときの速度は 58 cm/sec 以下でなければならない。しかし $v \geq 58\text{ cm/sec}$ のものもいくつかある。

$\mu = 0$ の場合は摩擦が全くないことを意味し、これは揚力と重力がバランスすることを意味している。 $0\text{ cm} \leq S \leq 10\text{ cm}$ の区間では全ての実験ともプラスの加速度運動をすることを実験結果は示している。これから火砕流が大きな速度をもって等速に近い状態で運動する場合、その摩擦係数はほぼ 0 に近く、一般の土砂と比べて非常に小さいのではないかと考えられる。

水路下端のオープンスペース内でも最初のうちは摩擦はまだかなり小さく、大きな流動性を保っているが、 62 cm より大きくなると、摩擦係数は急に増加し始めるのがわかる。これは1つには火砕流の温度が下がるので水蒸気圧が小さくなり、したがって揚力が小さくなることと、もう1つにはオープンスペース内では圧力は3次元方向に拡散するので、鉛直方向の圧力、すなわち揚力が急に減少し、その結果摩擦力が大きくなり減速が起こるものと考えられる。

5 まとめ

大きな速度を保ちながら火砕流が水路内を運動しているときの摩擦係数はほぼ 0.2 以下で、一般の土砂と比べて非常に小さい。オープンスペース内では火砕流の圧力は一挙に3次元方向に拡散するので、その結果摩擦力が大きくなり減速が起こる。

引用文献

日浦・大手・日置：土石流に関する研究V、京都府立大学農学部演習林報告19号、29、1975