

1. はじめに

インドネシアのクルー火山(1919, 1966年), 北海道の十勝岳(1926年), コロンビアのネバド・デル・ルイス火山(1985年)で火山噴火に伴って発生した火山泥流によって多くの死者が出て、大災害となった。火山泥流の対策を検討する上で、その運動機構を明らかにすることが重要である。火山泥流の予測と対策に関する研究は、これまで火山らりによって行われてきているが流動機構に与える温度の影響は考慮されていない。また、海外の研究例としてはフィリピンのマヨン火山で発生した比較的高温で流下する泥流の観測研究<sup>2)</sup>があるが、熱泥流の運動機構を検討するために高温の土砂を用いた実験は行われていない。今回の実験では、火山泥流の中でも、噴出直後の高温の火山砕屑物の堆積物に火山湖の決壊等によって水が大量に供給された場合に発生するような、比較的高温で流下する熱泥流を対象としている。実験においては、ステンレス製の水路を用いて熱泥流を発生、流下させ、その流速、土砂濃度、流動深等の流動特性について考察した。

2. 実験の概要

図-1に示す様な流路を用いて熱泥流を発生させ、その発生と流下に関する実験を行った。実験に用いた水路は、幅15cm、深さ30cm、長さ270cmのステンレス製で、片面は耐熱ガラスとなっており熱泥流の発生及び流下の状況を側面から観察することができる。水路は勾配可変で、水路床には粗度をつけるために粒径3mmの砂をはりつけた。実験条件は表-1に示すとおりである。なお、実験には図-2に示す様な粒度分布の土砂を使用した。

実験の手順を以下に示す。まず、電気炉を用いて土砂を所定の温度に加熱し、水路上流端に所定の形状で敷き、その直後に水中ポンプによって水路上流端に給水し、熱泥流を発生させた。発生及び流下の間、ビデオカメラとモータドライブカメラによって側面から流下状況を撮影した。水路下流端では熱泥流のフロント部分を採取し、土砂濃度の測定を行った。なお、撮影した映像から、熱泥流の発生するまでの時間、流速、流動深を判読した。

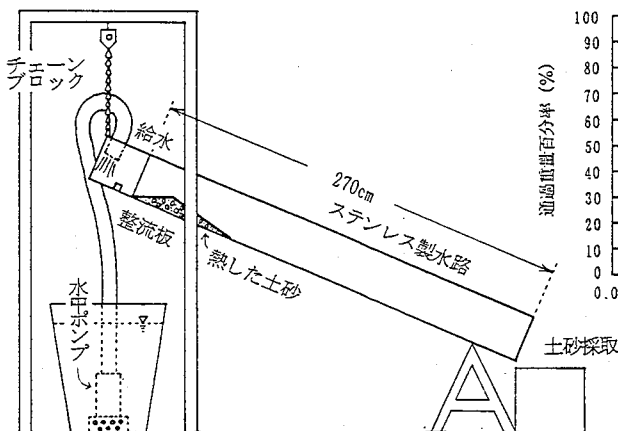


図-1 実験装置の概要

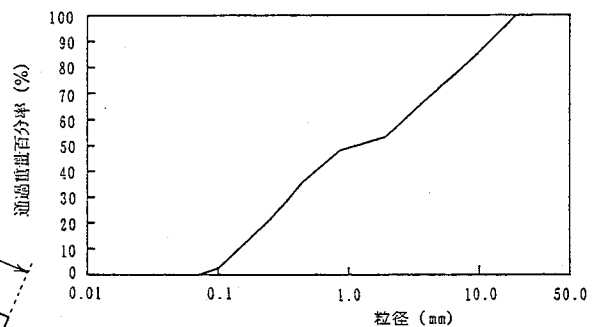


図-2 実験使用砂の粒度分布

表-1 実験条件一覧表

CASE	土砂量	初期土砂温度	給水流量	水温	水路勾配
1	5.1 g	7 °C	0.5 g/sec	7 °C	23 度
2		150 °C			
3		200 °C			
4		300 °C			
5		5 °C		5 °C	19 度
6		300 °C		5 °C	15 度
7		5 °C			
8		150 °C			
9		200 °C			
10		300 °C		6 °C	11 度
11		6 °C			
12		300 °C			

### 3. 実験結果と考察

水路の上流端に敷いた高温の土砂に供給された水が接触した瞬間、小規模な水蒸気爆発が起こり、水蒸気、水、土砂の混合物が形成されて流動化し、数秒後に熱泥流となって流下しはじめた。流下の初期及び流下中は、常温の泥流に対して流速が大きく、蒸気を伴って流下する点で異なっていたが、その他は常温と変わらない状況であった。

#### 3.1 熱泥流の発生

今回の実験では、供給された水が土砂の最上流端に接触した瞬間から、熱泥流の先端部が初期に敷いた土砂の下端から20cm下流に流下した時までの時間を「熱泥流の発生までの時間」として測定を行った。この熱泥流の発生までの時間と初期土砂温度との関係を図-3に示す。水路勾配が23度の場合の発生の様子を観察すると、土砂が高温になるほど水が浸透しやすく、発生までの時間は短くなる傾向がみられた。流路による実験を行う前は、土砂の温度が高温であれば蒸発量が多くなって給水量が見かけ上少なくなり、熱泥流の発生までの時間は長くなるのではないかと予想されたが、実際は土砂の流動化が激しく、短い時間で流下しはじめる結果となった。ただし、勾配が11度の場合は高温ほど発生までの時間は長くなり、また、15度の場合は温度によらず、ほぼ一定の時間で流下しはじめた。これは、土砂温度が高くなると流動化が激しくなるが、高温ほど水の蒸発量が多くなり、供給される流量が少なくなるためと考えられる。また、水路勾配が緩くなるにつれて水が流下する時間が長くなり、また、土砂の流動性も低くなって、発生までの時間も長くなると考えられる。

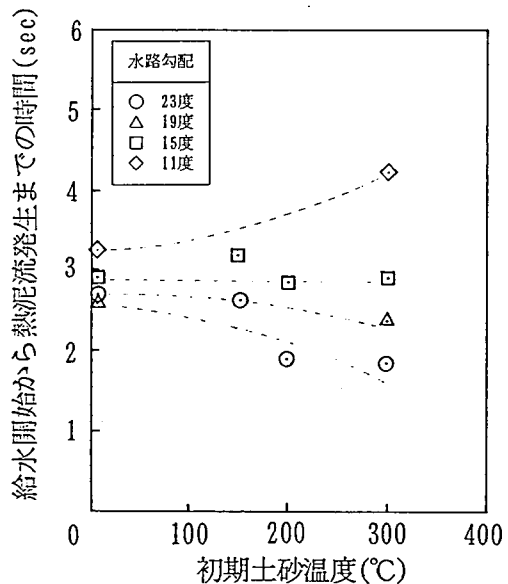


図-3 熱泥流発生までの時間と初期土砂温度の関係

土砂の流動化の現象は次のように考えることができる。高温の土砂に常温の水が接触すると水は急激に沸騰し水蒸気となる。このため土砂の空隙部分の圧力が上昇し、粒子が浮遊するのに十分な圧力となり、これによって粒子の内部摩擦が減少するため土砂が流動化しやすくなるのではないかと考えられる。

しかしながら、今回行った実験条件では、土砂の初期の温度は最高300℃までであるため、土砂と水が混合したときの水蒸気爆発は非常に小規模なものであった。そのため、土砂の流動化が見られたのは土砂と水が接触した後の比較的短い時間で、熱泥流の発生部付近のみであった。流下の過程では、土砂は100℃以下に冷えたと思われる、蒸気を伴って流下したが爆発的な蒸発は起こらなくなり、通常の泥流と同様に流下した。

### 3.2 熱泥流の流下速度

次に、ビデオカメラによる映像から半読した熱泥流のフロント部分の平均流速と初期土砂温度の関係を図-4に示す。図-4より、初期土砂温度が高くなると流速が速くなることがわかる。また、測定した流動梁を用いて流速係数を計算して図示すると図-5のようになる。この傾向は ARGUDENらの熱泥流の実態調査結果<sup>2)</sup>とも一致する。これは、土砂の初期の温度が高いと土砂が流動化して流れやすくなり、流速が速くなるためと考えられる。

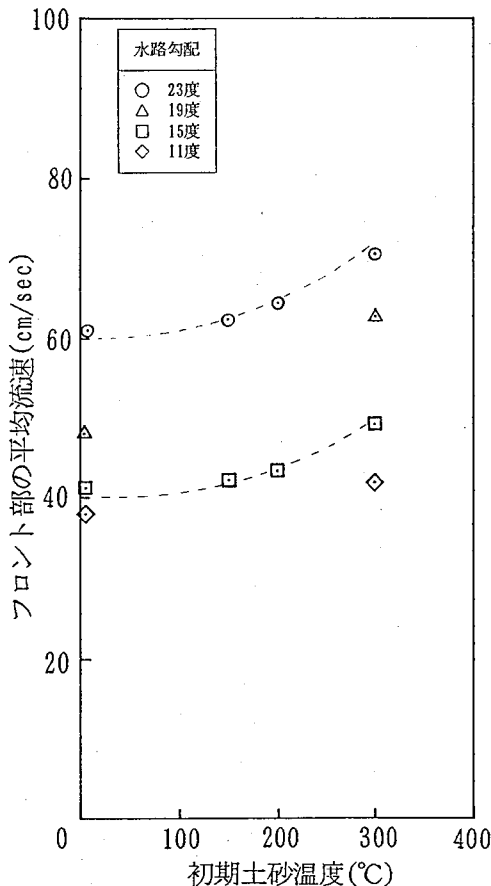


図-4 フロント部の平均流速と初期土砂温度の関係

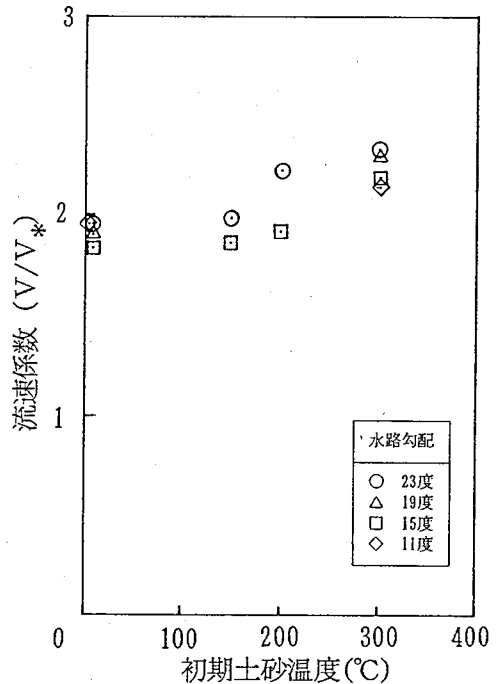


図-5 流速係数 (V/V\*) と初期土砂温度の関係

### 3.3 熱泥流の土砂濃度

フロント部の土砂濃度と初期土砂温度との関係は図-6に示す通りである。土砂濃度は、おもに勾配によって大きく変化するが、同じ勾配に限ってみると初期土砂温度が高くなると土砂濃度も高くなる傾向がある。これは、熱泥流発生時、常温の泥流に比較して少ない流量で発生が起こって流下しはじめることや、発生時に急激に水が沸騰するために間隙圧が増加し、細粒分が浮遊して少ない水分量でも流下しやすい状態になること等の影響が考えられる。ビデオの映像を見ても、明らかに、常温より高温の土砂の場合の方が高濃度の泥流となって流下する状況を観察することができた。

### 4. 結論

実験結果をまとめると、以下ようになる。

- ① 熱泥流の発生するまでの時間は、勾配が急な場合は土砂の温度が高い程短くなる傾向がある。ただし、勾配が緩い場合は土砂温度が高い程蒸発水量が多く、熱泥流の発生するまでの時間は長くなると考えられる。
- ② 熱泥流の流下する速度は、初期土砂温度が高温であるほど流動化が激しく、常温よりも速度が大きくなることがわかった。
- ③ 熱泥流のフロント部の土砂濃度は、同一勾配についてみると、常温の泥流に比較して高く、高温になるほどその濃度が高くなる。

### 5. 今後の課題

今回行った実験によって、熱泥流の発生及び流下について、いくつかの性質が明らかになった。しかし、今回の実験では土砂の温度が最高300°Cまでであり、現実の火山噴出物の温度(最高1000°C前後)と比較すると低温である。熱泥流の運動機構を明らかにするためには、今後、土砂量や流量の条件を変化させてより多くの実験を行う必要がある。また、実際の熱泥流の流下状況や速度との比較を行い、実際の熱泥流への適用手法を検討する必要がある。

### 参考文献

- 1) 水山, 石川, 福本; 火山噴火に伴う泥流災害の予測と対策に関する研究, 土木研究所資料2601号, 1988年2月
- 2) A. TEVFIK ARGUDEN, KELVIN S. RODOLFO; Sedimentologic and dynamic differences between hot and cold laharcic debris flows of Mayon Volcano, Philippines, Geological Society of America Bulletin, v.102, p.865-876, July 1990.

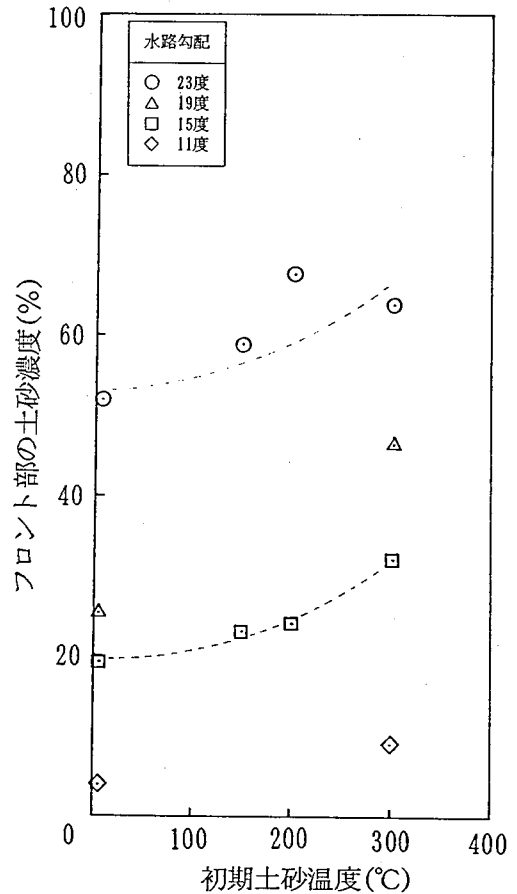


図-6 フロント部の土砂濃度と初期土砂温度の関係