

# 87 溶岩流の運動特性とシミュレーション

アジア航測株式会社

○中島達也、北原一平

建設省土木研究所

水山高久、山田 孝

(財)砂防・地すべり技術センター 宮本邦明

## 1. はじめに

近年、三宅島(1983年)、伊豆大島(1986年)において火山噴火に伴う溶岩流が発生し、人的被害はなかったものの莫大な経済的被害をもたらした大きな社会問題となっている。しかしながら、いままでも溶岩流に対して十分な対策はなされていない。対策計画を立案するためには、溶岩流の流動特性を明らかにし、その影響の範囲と程度を予測することが重要となる。本研究は、昨年に関与した溶岩流のシミュレーション手法<sup>1)</sup>の一部を改良し、1986年伊豆大島LB1溶岩流を対象に再現計算を行なうとともに対策工を想定した計算を行なって、その効果を検討したものである。

## 2. シミュレーション手法

### 2.1 基礎方程式

(1) 運動方程式：溶岩流を流体とみなし、運動方程式としては、2次元連続流体の不定流方程式を用いた。 x方向：

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial (Mu)}{\partial x} + \beta \frac{\partial (Mv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} \quad (1)$$

y方向：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial (Nu)}{\partial x} + \beta \frac{\partial (Nv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} \quad (2)$$

ここに、M、N：x、y方向の単位幅流量、 u、v：x、y方向の平均流速、 H：流動高(流動深+河床標高)、 ρ：溶岩流の密度、 τ<sub>x</sub>、τ<sub>y</sub>：x、y方向の摩擦抵抗力  
摩擦抵抗力としては、次式<sup>2)</sup>を用いた。

$$\tau_x = \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} Sy + 3\rho\nu \frac{\left(\frac{\tau}{\tau - Sy}\right)^2}{\left(1 + \frac{3}{2} \frac{Sy}{\tau - Sy}\right)} \frac{u}{h} \quad (3)$$

$$\tau_y = \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} Sy + 3\rho\nu \frac{\left(\frac{\tau}{\tau - Sy}\right)^2}{\left(1 + \frac{3}{2} \frac{Sy}{\tau - Sy}\right)} \frac{v}{h} \quad (4)$$

ここに、Sy：溶岩の降伏応力、 τ<sub>x</sub>、τ<sub>y</sub>：x、y方向の作用応力、 ν：動粘性係数  
h：流動深、 τ = √τ<sub>x</sub><sup>2</sup> + τ<sub>y</sub><sup>2</sup>

### (2) 連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

## 2. 2 温度

溶岩の温度については、昨年と同様に石原ら<sup>3)</sup>の方法を用いた。即ち、表面からの熱放射による冷却と隣接するメッシュ間での溶岩の流入、流出による熱量の変化によって温度が変化するとした。また、溶岩の初期温度は、1100℃とした。

## 2. 3 粘性係数

粘性係数は、溶岩の温度変化によって変化するとした。粘性係数は、リキダス温度（液体から固体になる温度）を境に増加率が変化する。リキダス温度以上ではニュートン流体の性質を有し、リキダス温度以下では、ニュートン流体ではなくなる<sup>4)</sup>。リキダス温度以下は、昨年と同様にビンガム流体とした。なお、リキダス温度をLB1溶岩の鉱物の分析<sup>5)</sup>より1080℃と設定した。

### (1) リキダス温度以上の溶岩の温度-粘性関係

MURASE<sup>6)</sup>は、SiO<sub>2</sub>含有率の異なるいくつかの溶岩について溶融実験を行なっている。この実験から、温度-粘性関係式の傾きとSiO<sub>2</sub>含有率との関係を回帰式により求めた。また、石原らと同様に1100℃のときの粘性を50000POISEとし、次式を得た。

$$\log_{10} \eta = 10.68135 - 0.00544 T \quad (T \geq 1080^\circ \text{Cのとき}) \quad (6)$$

ここに、 $\eta$ ：粘性係数、 $T$ ：溶岩の温度

### (2) リキダス温度以下の溶岩の温度-粘性関係

MINAKAMI<sup>7)</sup>による1951年伊豆大島噴火の観測データから回帰式により次式とした。

$$\log_{10} \eta = -16.787 + 23321 / T \quad (T < 1080^\circ \text{Cのとき}) \quad (7)$$

図1に溶岩の温度-粘性関係式を示した。

## 2. 4 降伏応力

HULME<sup>7)</sup>は、Bingham流動の速度式から降伏応力を流速、流動深、地面の傾斜角粘性係数で表わした。リキダス温度以上では、ニュートン流体として扱えるため降伏応力は0とし、リキダス温度以下についてはMINAKAMI<sup>8)</sup>の伊豆大島の溶岩流の観測データから回帰式により次式とした。

$$\log S_y = 2.787 + 1523 / T \quad (T < 1080^\circ) \quad (8)$$

ここに $S_y$ ：溶岩の降伏応力、 $T$ ：溶岩の温度

## 2. 5 計算条件の設定

再現計算を行なう上での条件を表1に示す。また、導流堤を想定したシミュレーションでは、天端高、流れに対する導流堤の角度を変え、表2の5ケースについて計算を行なった。なお、導流堤については、河村ら<sup>9)</sup>が紹介した事例を参考にした。また、実際にハワイ島に赴き、現地調査および資料収集を行なった。

## 3. 計算結果と今後の課題

再現計算の結果を図2に示す。また、ケース5の計算結果を図3に示す。

計算による溶岩流の堆積範囲と実際の堆積範囲は、ほぼ一致している。ただし、堆積範囲を細部について見ると先端部に一致しない部分がある。この理由としては、対象としたLB1溶岩流は、根無し溶岩流 (rootless lava flows；火口から上昇落下し、2次的に流下

する溶岩流)であったことと、堆積区域は、以前に溶岩流が流出したところであったために凸凹の激しい複雑な地形となっていて地盤データが不正確であったことなどが挙げられる。また、到達時間に関しては、LB1についての時間と位置の経過の資料がないため明らかではないが、計算結果の堆積範囲がほぼ一致していることから概ね一致していると考えられる。

次に導流堤を想定した計算結果を表2に示す。表2をまとめると以下のようなになる。

① 溶岩流は、地形条件に影響されて流下するため、流動深よりも導流堤が高い場合、その越流防止効果を期待できる。

② 同じ高さの導流堤では、流れに対する角度が小さいほど導流しやすい。

③ 導流堤を越流する場合、流れに対する角度が大きいくほど越流し始める時間が早く、下流での氾濫面積の程度が大きい。

④ 導流効果が認められたケースでは、導流堤近傍での溶岩流の流動深は、流れに対する導流堤の角度が大きいくケースほど大きくなっている。

この理由として導流堤の角度が大きいくほど導流する溶岩の流下方向の勾配が小さくなるためと考えられる。

今後の課題として、溶岩の諸元(温度、粘性、降伏応力)に関する基礎データの蓄積、再現計算の到達時間の検証、導流堤の効果の定量的な把握などが挙げられる。

#### 参考文献

- 1) 北原一平、中島達也、水山高久、栗原淳一(1989): 溶岩流の数値シミュレーションービンガム流体モデルを用いた氾濫シミュレーションの応用ー、砂防学会、研究発表会概要集、P35-38
- 2) 宮本邦明、山下伸太郎、大原正則、緒統英章、水山高久(1990): 溶岩流の数値シミュレーション、土木学会、水工学論文集、第34巻、P391-396
- 3) 石原和弘、井口正人、加茂幸介(1988): 数値計算による1986年伊豆大島溶岩流の再現、火山、第2集、特集号伊豆大島1986年噴火、P64-76
- 4) 久城育夫、荒牧重雄 編(1978): 岩波講座、地球科学3、地球の物質科学II、火成岩とその生成、岩波書店、260P
- 5) 藤井敏嗣、荒牧重雄、金子隆之、小沢一仁、川辺禎久、福岡孝昭(1988): 伊豆大島火山1986年噴火噴出物の岩石学的特徴、火山、第2集、特集号伊豆大島1986年噴火、P234-254
- 6) Tsutomu Murase(1989): Viscosity Measurements of Some Magmatic Liquids, 職業訓練大学校紀要、第18号、P23-31
- 7) HULME, G(1974): The Interpretation of lava flow Morphology, geophys. J. R. astr. Soc. 39, p361-383
- 8) TAKESHI HINAKAMI(1951): On the Temperature and Viscosity of the Fresh Lava Extruded in the 1951 Oh-shima Eruption, 東京大学地震研究所彙報、Vol. 29, p487-493
- 9) 河村和夫、水山高久、栗原淳一(1989): 溶岩流対策工の海外事例紹介ーハワイ、アイスランドの例ー、砂防学会、研究発表会概要集、P39-42

表1. 計算条件一覧表

島名	伊豆大島
噴火年	1986
溶岩	LBI
噴出体積	4.3 × 10 <sup>6</sup> (m <sup>3</sup> )
流量	※1別記
噴火の継続時間	5時間
溶岩の初期温度	1100 (°C)
溶岩の密度	2.5 × 10 <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )
放射率	0.9
比熱	0.84 (J/kg/K)
重力	9.8 (m/S <sup>2</sup> )
Stefan-Boltzmann's定数	5.67 × 10 <sup>-8</sup> (J/m <sup>2</sup> /K <sup>4</sup> /s)
刻み時間	3, 1秒
メッシュ間隔	25m × 25m
※1	
0~30分	213 (m <sup>3</sup> /S)
30分~60分	478 (m <sup>3</sup> /S)
60分~300分	212 (m <sup>3</sup> /S)

(poise)

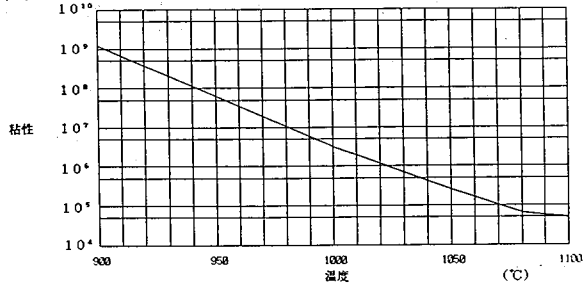


図1. 溶岩の温度-粘性関係

表2. 導流堤を想定した計算ケース

ケース	角度	天端高	効果	越流	流動	厚	到達距離	越流の時間
1	45°	10m	若干	有	再現計算と同じ	再現計算と同じ	1.5時間	
2	27°	10m	若干	有	再現計算と同じ	"	3時間	
3	18°	10m	有	若干	再現計算と同じ	"	"	
4	45°	20m	有	なし	厚い	"	"	
5	27°	20m	有	なし	やや厚い	"	"	

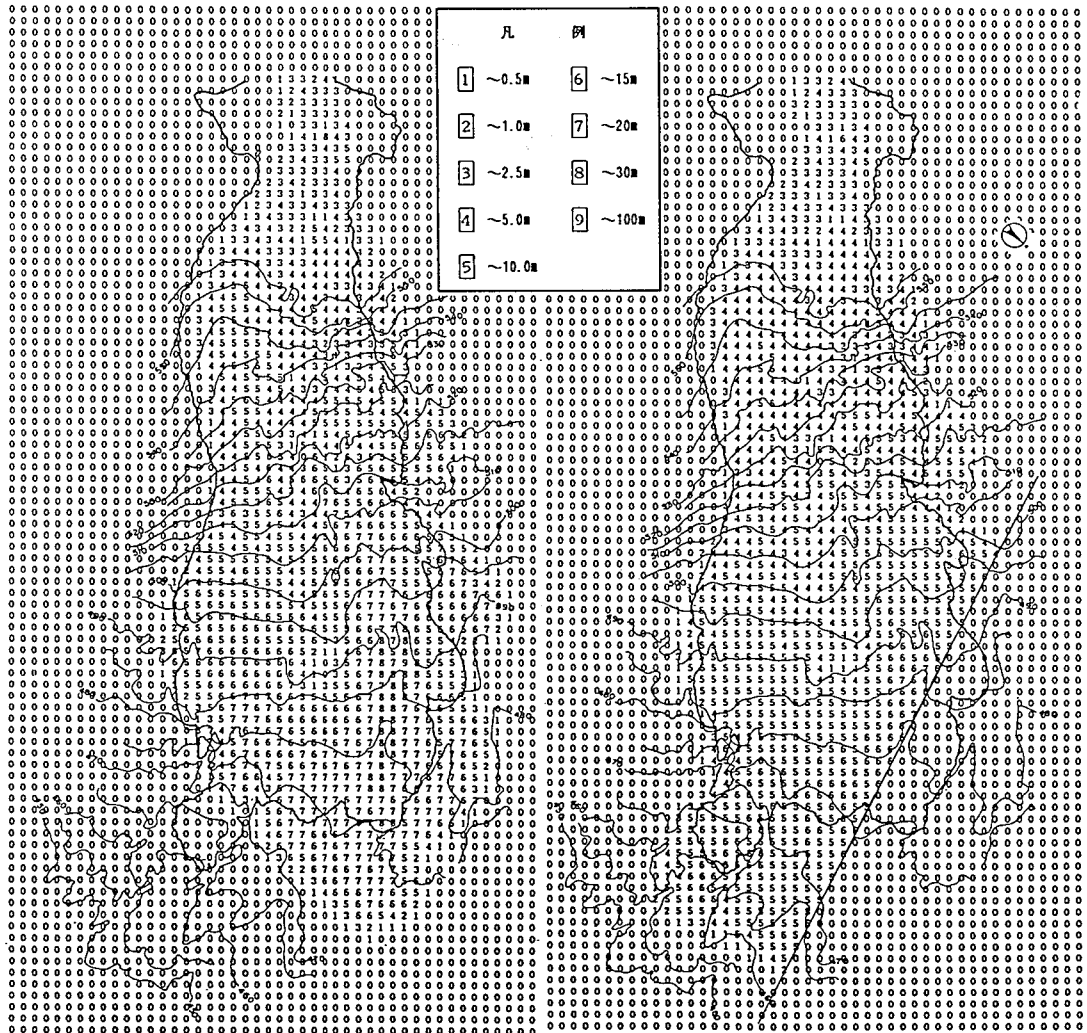


図2. LBI溶岩再現計算結果

図3 導流堤を想定した計算結果(ケース5)