

79 桜島の溶岩流

働砂防・地すべり技術センター ○大原 正則, 宮本 邦明
 建設省大隅工事事務所 桑野 修司
 鹿児島県砂防課 矢澤 昭夫
 住鉱コンサルタント(株) 山下 伸太郎

1. はじめに

桜島火山は、我が国に67ある活火山のうちで最も活発な火山の1つで、過去にしばしば大規模な噴火が発生している。大規模な噴火時の活動の1輪廻は、① 10^{-1} km^3 オーダーの降下火砕物に始まり② 10^{-2} km^3 オーダーの火砕流③ 10^0 km^3 オーダーの溶岩流の噴出で特徴付けられる。

現在の桜島の火山活動は噴煙活動を伴う小規模なものであるが、このような大規模な噴火が最近100年の間にも大正噴火(1914年)・昭和噴火(1946年)と発生しており、さらに、現在においても、桜島を含む周辺地域では、地下のエネルギー蓄積の程度を示す地盤の隆起が大正噴火時の隆起点に近づきつつあることから、近い将来再び大規模な噴火の発生が懸念される。

本報告は、桜島の大規模な噴火活動時に見られる現象の中でも噴出量の大きな溶岩流に着目し、その噴出時系列および溶岩流の流下特性について検討を行ったものである。

2. 桜島溶岩の特徴

桜島火山の溶岩の特徴をまとめると以下のようである。

- (1) 桜島火山の噴出する溶岩の粘性係数および降伏剪断応力は、玄武岩質の溶岩と比較して 10^2 オーダー程度大きく、溶岩流の流動速度は小さく、流動深も厚い。
- (2) 流下中の溶岩流の冷却は主として、溶岩流表面からの放射により進行すが、溶岩流の流動深が厚い場合、流動中の溶岩の比表面積が小さくなるため、溶岩全体の温度低下の進行は遅くなる

3. 溶岩噴出時系列モデルの構築

桜島溶岩の噴出は、地下のマグマ溜まりからマグマが上昇し噴出すると考えられている¹⁾。

ここで、マグマ溜まりから火口まで同一径の管路によって結ばれていると仮定し、その管路をビンガム流体^{2) 3)}としてのマグマが上昇するとして、大正噴火西側の溶岩の噴出の再現を試みた。

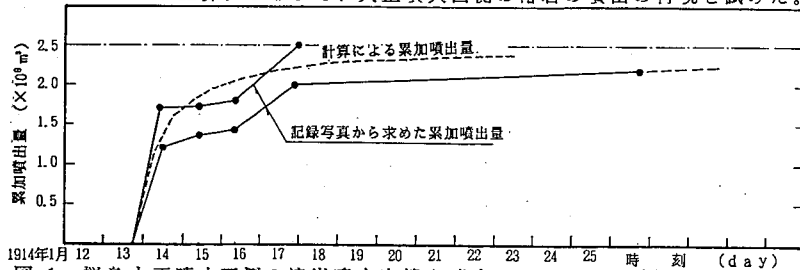


図-1 桜島大正噴火西側の溶岩噴出実績と噴出モデルによる計算結果の比較

図-1は、モデルによる累加噴出量の時間変化と大正溶岩西側の記録写真(溶岩の噴出開始14hr、40hr、66hrおよび100hr後に溶岩の流下状況)から石原ら⁴⁾が求めた溶岩の累加噴出量の時間変化の比較を示したものである。

図-1から両者はよく一致しており、桜島の溶岩の噴出がビンガム流体としてのマグマがマグマ溜まりから火口まで同一径の管路を上昇するモデルで表現することが可能であることがわかる。

4. 桜島溶岩流の流下特性

溶岩流の流下特性は、溶岩の粘性および降伏剪断応力に支配される。さらに、溶岩の粘性および降伏剪断応力は溶岩の温度により影響を受けることが知られている^{2) 3)}。ここでは、大正溶岩西側の溶岩流再現計算を行い²⁾、溶岩の粘性・降伏剪断応力とその溶岩温度への依存性および流動中の溶岩の温度低下の機構について考察し、桜島溶岩流の流下特性について検討する。

なお、ここでは、再現計算は溶岩流をビンガム流体として取り扱ひ、二次元不定流の運動方程式および連続式を差分式により数値的に解くことにより行う²⁾。

4. 1 桜島溶岩の粘性および降伏剪断応力

溶岩の粘性係数・降伏剪断応力は、温度の指数関数で表現され^{3) 5)}、それぞれの指数部の温度の係数は溶岩の種類（溶岩の組成）によらずほぼ一定値をとるとして取り扱うことができる^{3) 5) 6)}。

$$\eta = \kappa_v \cdot e^{50416(1/T)} \quad (1) \quad \tau_y = \kappa_t \cdot e^{24858(1/T)} \quad (2)$$

ここで、 κ_v および κ_t は溶岩の種類・組成による定数である。桜島では、溶岩の噴出温度については昭和溶岩の観測⁷⁾しかなく、溶岩流の流下時系列は大正溶岩西側しかないため、昭和溶岩のレオロジ的特性を用いて大正溶岩西側の再現計算を行うことで式(1)、(2)の κ_v 、 κ_t を求めざるを得ない。

大正溶岩西側の再現計算の条件として、溶岩噴出時の溶岩温度を昭和噴火の観測結果から1000°Cと仮定し、溶岩噴出量の時系列は、図-1に示した溶岩噴出量計算結果を用いた。また、再現計算と実績との比較は、溶岩表面からの熱放射による溶岩温度の低下がそれほど進行していないと予想される噴火開始後14hrの時点での溶岩流の拡がりの範囲について行った。以上の条件で再現計算を実施した結果、1000°Cにおける粘性係数と降伏剪断応力を、それぞれ 3×10^5 poise および 9.6×10^5 dyn/cm² とした場合に計算結果と実績とよく整合した。したがって、式(1)、(2)の κ_v 、 κ_t はそれぞれ 3.8×10^{-13} および 1.6×10^{-5} となる。

4. 2 流動中の溶岩の温度低下に関する検討

図-4~図-5に大正噴火西側の溶岩流の再現計算と噴火実績と比較したものを示す。計算に用いた粘性係数および降伏剪断応力は4.1で求めた $\eta = 3.8 \times 10^{-13} e^{50416(1/T)}$ 、 $\tau_y = 1.6 \times 10^{-5} \cdot e^{24858(1/T)}$ である。図-4はStefan-Boltzmannの式により溶岩の表面からの熱放射を考慮した計算ケースで、図-5は溶岩の表面からの熱放射を考慮しない計算ケースである。

両ケースの計算結果と実績との比較からは、溶岩の表面からの熱放射を考慮しなかった計算ケースの方が流下実績をよく説明していることがわかる。これは、桜島の溶岩流では、溶岩の熱放射量が Stefan-Boltzmann の式により与えられる熱放射量

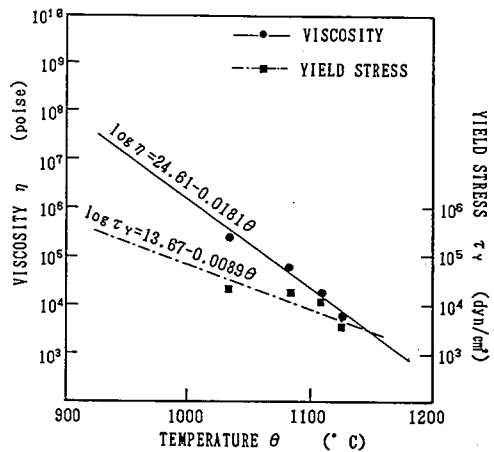


図-2 伊豆大島における溶岩温度と粘性および降伏剪断応力の関係⁷⁾

と比較してかなり少ないことを示している。これは溶岩流表面からの熱放射量を支配している表面温度が数値計算で与えている表面温度より低かったことによると考えられる。すなわち、計算では、熱放射を考慮して流れの断面全体の熱収支計算を流動深方向の温度分布が一定であると仮定して行っているが、剪断降伏値がさほど大きくなく、プラグが薄い場合にはプラグによる熱的影響は無視しえ、溶岩の流動深方向の温度分布が一樣であるという仮定が満足させられるが、剪断降伏値が大きく、プラグが厚くなるとプラグによる熱収支への影響が無視しえず、流動深方向の温度分布も一樣でなくなることによるものと考えられる。

プラグによる熱収支、温度分布への影響について考察するため、図-3に示すような一定の温度を保っている溶岩の流動層の上に厚さ h_y のプラグが乗って定常的に流れている場合を考える。

また、熱的には平衡状態が達成されており、プラグの表面からの熱放射量とプラグの熱伝導量が等しい状態にあると仮定する。

表面からの熱放射量 (Q_s) とプラグの熱伝導量 (Q_p) はそれぞれ

$$Q_s = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_a^4)$$

$$Q_p = K (T - T) / h_y$$

と表される。ここに、溶岩の放射率 (ϵ)

: 0.9, 熱伝導率 (K): 1.0 J/m/k/s, Stefan-Boltzmann の定数 (σ): 5.67×10^{-8} J/m²/K⁴/s

溶岩流の流動層の温度を1000°Cとした場合のプラグ表面からの熱放射量およびプラグの表面温度をプラグの厚さをパラメータとして示すと図-4を得る。図-4よりわずかのプラグによりかなりの熱の放射がさまたげられることがわかる。

5. おわりに

大正噴火西側の溶岩流を例にとり、桜島溶岩の噴出時系列および溶岩流の流下特性について再現計算により検討を行った。桜島溶岩の噴出時系列については、計算値と実績値はよく一致し、溶岩の噴出がビンガム流体としてのマグマが、マグマ溜まりから火口まで同一径の管路を上昇するとしたモデルで表現することが可能であることがわかった。また桜島溶岩流の流下特性については、溶岩の表面からの熱放射を考慮しない方が溶岩の表面からの熱放射を考慮した場合よりも流下実績をよく説明できることがわかった。これは、熱放射量を支配している溶岩の表面温度が、数値計算で与えられる表面温度より低かったことを示している。この要因として、プラグによる熱収支への影響が挙げられる。

火山地域における溶岩流対策を検討する上で、溶岩流の数値計算は非常に有効な手段と考えられる。しかし、桜島溶岩のように降伏剪断応力が大きく、プラグが厚くなるとその影響は無視しえない。数値

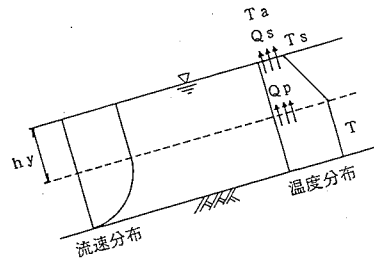


図-3 溶岩流温度分布図

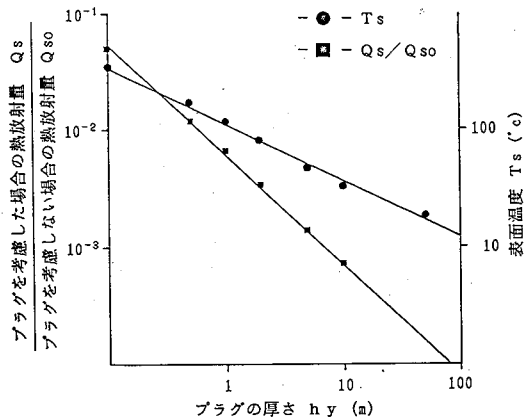


図-4 プラグの厚さと溶岩表面温度および熱放射量の関係

計算を実施するにあたっては対象とする溶岩の物性を十分把握した上で実施する必要があると同時に、シミュレーションの精度を向上させるためにも溶岩の物性値に関する調査・研究の蓄積が望まれる。

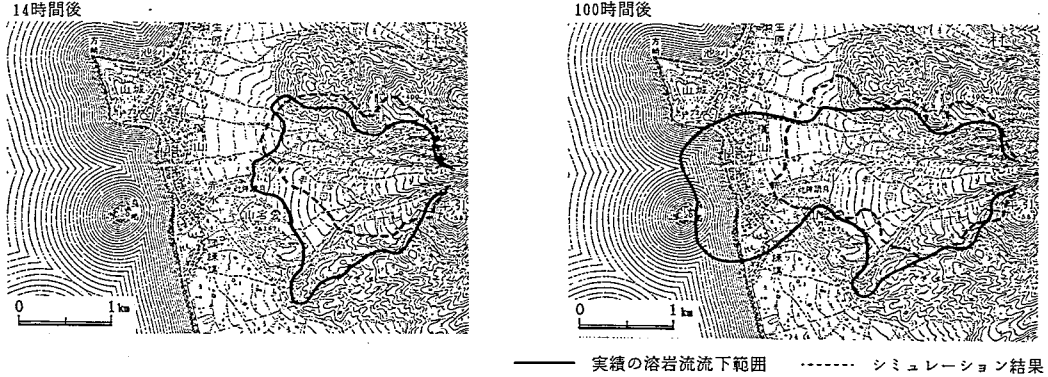


図-4 桜島西側の溶岩流シミュレーション・溶岩の温度低下を考慮した場合
(流下範囲の時間変化と堆積厚の分布)

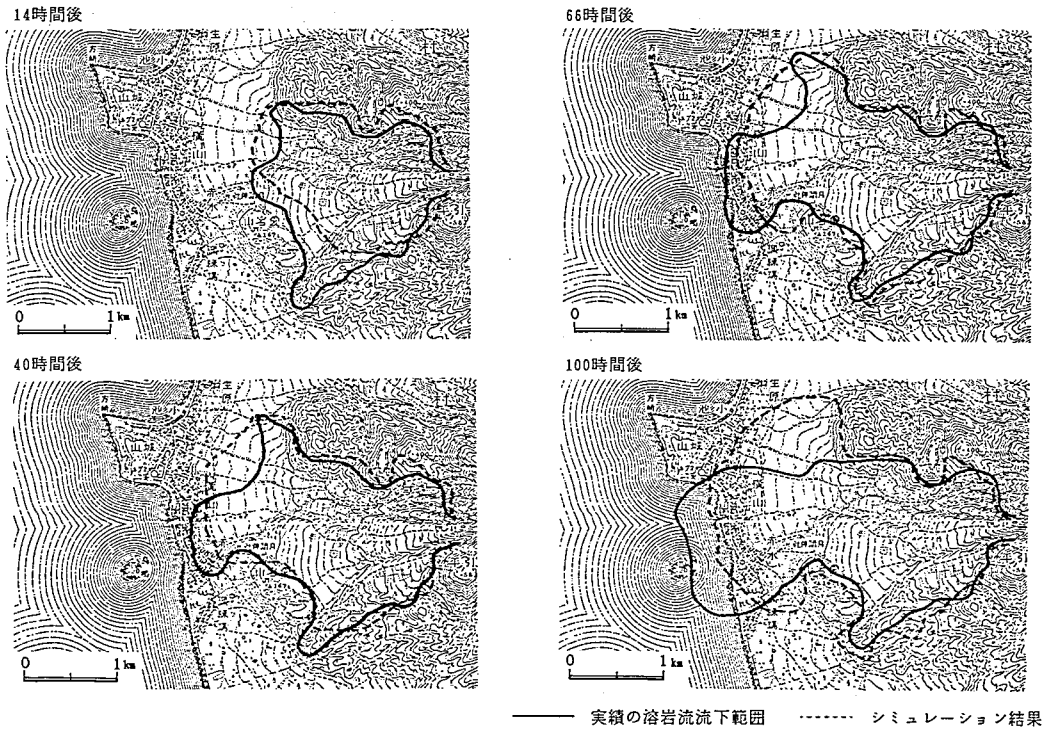


図-5 桜島西側の溶岩流シミュレーション・溶岩の温度低下を考慮しない場合
(流下範囲の時間変化と堆積厚の分布)

- 参考文献 —
- 1) 加茂幸介ら：桜島火山のマグマ移動経路モデル, 1970
 - 2) 山下伸太郎, 宮本邦明ら：溶岩流の数値シミュレーション, 水工学論文集, 第34巻, 1990, pp391-396
 - 3) 緒統英和ら：溶岩流のレオロジー特性, 砂防学会論文集, 1990
 - 4) 石原和弘ら：桜島火山の溶岩流(Ⅱ), 京都大学防災研究所年報第28B-1, 1985
 - 5) 荒巻重雄：岩波講座 地球科学7, 火山, 1979
 - 6) 石原和弘ら：1986年伊豆大島溶岩流の再現, 1988, pp64-76
 - 7) 永田武ら：桜島新噴出溶岩流について, 震研彙報, 第24号, 1946, pp. 161-169