

路床への熱移動を考慮した1次元溶岩流解析と小型矩形断面流路実験との比較

群馬工業高等専門学校 永野 博之・○茂木 陽平

東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 柳原 駿太・池本 敦哉

八千代エンジニアリング株式会社 西尾 陽介・佐藤 敏明

1. はじめに

溶岩流の流動状況を規定する重要なパラメータとなる粘性係数と降伏応力は、温度の関数である。そのため、数値解析によって溶岩流の流動を適切に表現するためには、溶岩流の温度変化を適切に評価する必要がある。溶岩流の解析モデルでは、熱放射による冷却を考慮したもの^{例えば 1),2)}が多くみられるが、池本ら³⁾の実験によれば、路床への熱移動や路床の温度変化も考慮する必要性が示唆されている。この結果を受け、柳原ら⁴⁾は路床への熱移動や路床の温度変化を考慮した1次元溶岩流解析モデルを構築し、妥当性の検証を行っているが、検証は単一のケースに留まっている。

そこで本研究では、路床への熱移動を考慮した溶岩流の温度変化に関する知見を集積するために、小型矩形断面流路を用いて実施した流動実験⁵⁾の結果と1次元溶岩流解析モデルの結果との比較を試みた。

2. 流動実験による溶岩・路床の温度の計測

流動実験⁵⁾では、モルタル製流路の路床の表面にK型熱電対を設置することで、溶岩の底面温度を計測した。計測を行ったのは、供給地点、供給地点から20cm, 40cm, 60cm地点の計4箇所である。加えて、供給地点から20cm, 40cm地点では、路床の表面から深さ1cm地点にてK型熱電対を設置し、路床の温度も計測した。また、各地点の表面温度は赤外線サーモグラフィを用いて計測した。

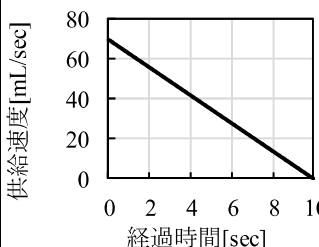
3. 流動実験に基づく解析条件

本研究では、柳原ら⁴⁾の解析モデルを池本ら⁵⁾による流動実験に適用し、検討を行った。粘性係数 μ と降伏応力 τ_y は、石原ら⁷⁾と同様に、式(1)により求める。

$$\log(\mu \text{ or } \tau_y) = A + BT \quad (1)$$

ここに、 A , B : 定数, T : 溶岩流温度である。対象とする流動実験⁵⁾で発生させた溶岩流は、突出した先端部において、一般的な溶岩の性質とは異なり、流れ全体に先行して先端部が滑り落ちるような挙動がみられた。そ

表-1 解析条件

流路幅, 流路勾配		0.05m, 10°
溶岩	供給速度	
	供給温度	上流端から30cm地点の表面温度 (計測値)
	密度	$2.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
	比熱, 放射率	840J/(kg・K), 0.9
	温度 T -粘性係数 μ	$\log \mu = 9.02 - 0.00884T$
	温度 T -降伏応力 τ_y	$\log \tau_y = 9.02 - 0.0089T$
路床	層厚	0.05m
	熱拡散率, 熱伝導率	$94 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{sec}$, $1.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
	初期温度	35°C
大気温度		30°C
Stefan-Boltzmann定数		$5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
空間刻み幅		流体部:0.01m, 路床部:0.001m
時間刻み幅		$1 \times 10^{-4} \text{ sec}$

のため、本研究ではある程度のまとまりとして流れた溶岩のフロント部を代表的な流下フロント部として採用し、流下速度を算出した。温度 T と粘性係数 μ の関係式の定数 A および B は、代表的な流下フロント部温度 T_f と流動実験における流下速度より推定した粘性係数 μ の指数近似式の定数を用いた。粘性係数の推定には、式(2)のプラグ層を無視した平均流速 v と粘性係数 μ の関係⁶⁾を用いた。

$$v = \frac{\rho g h^2 \sin \alpha}{3\mu} \quad (2)$$

ここに、 ρ : 溶岩の密度, g : 重力加速度, α : 傾斜角, h : 流動深である。平均流速 v には、流動実験における流下速度を代入した。温度 T と降伏応力 τ_y の関係式の係数は、柳原ら⁴⁾と同様の方法で算出した。路床の熱伝導率はモルタルの代表値⁷⁾を参考に決定し、熱拡散率はモル

タルの熱伝導率, 比熱, 密度の代表値を用いて算出した。その他の諸量は, 流動実験の計測結果に基づき設定した。以上の解析条件を整理したものを表-1 に示す。比較のため, 路床への熱移動を考慮しない条件でも解析を行った。

4. 解析結果および考察

図-1 に流下距離の時系列変化を示す。ただし, 本研究では流下速度を算出する際に代表的な流下フロント部を採用したため, 実験結果は突出した先端部で計測を行った池本ら⁵⁾の結果とは異なっている。図-1 より, 路床への熱移動を考慮した解析モデルの方が, 実験結果の到達距離を良好に再現することが分かる。しかし, 路床への熱移動を考慮した解析モデルの到達距離は実験結果よりも約 20cm 小さくなる結果となった。次に, 路床への熱移動を考慮した解析モデルと流動実験のそれぞれの堆積形状の結果について比較を行う。各地点の堆積厚を図-2 に示す。実験結果においては, 池本ら⁵⁾によって示されている結果を採用している。図-2 より, 流下フロント部において, 解析結果は実験結果とは異なる堆積特性を示すことが分かる。これらの結果は, 解析モデルでは溶岩の断面を鉛直方向に一樣としていることが原因だと考えられる。このため, 溶岩流の流動・堆積をより適切に評価するためには, 鉛直方向の流速・温度分布を考慮する必要があると考えられる。

図-3 に供給地点から 20cm 地点の溶岩の温度変化を示す。図-3 より経過時間が 20 秒以内に着目すると, 路床への熱移動を考慮した解析モデルの方が, 表面温度を良好に再現することが分かる。また, 経過時間が 40 秒以降では, 底面温度を良好に再現することが分かる。図-4 に供給地点から 20cm 地点の路床の温度変化を示す。図-4 より解析結果は, 経過時間が 40 秒から 80 秒の間では温度差が生じているが, 路床の温度変化を概ね再現していると考えられる。

5. おわりに

本研究では, 路床への熱移動を考慮した 1 次元溶岩流解析モデルの結果と矩形断面流路を用いて実施した流動実験の結果との比較を試みた。今後は, 鉛直方向の流速・温度分布を考慮したモデルを構築し, 実験結果と比較することで, 評価精度の向上を図ることが必要だと考えられる。

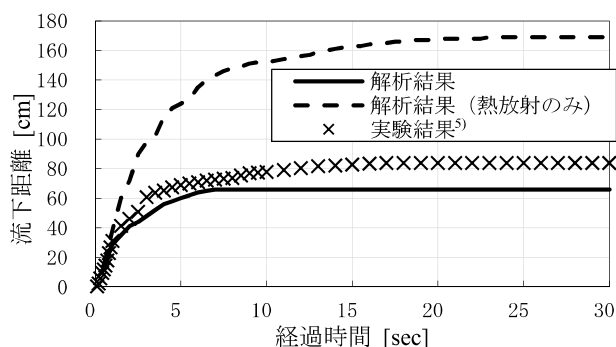


図-1 流下距離の時系列変化

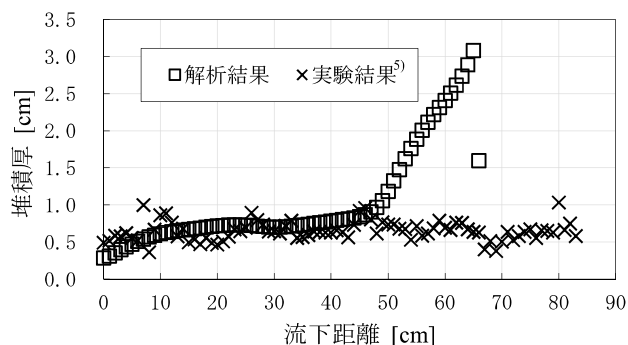


図-2 各地点の堆積厚

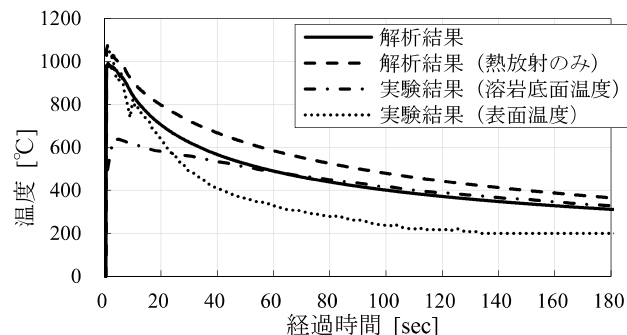


図-3 溶岩流温度の時系列変化 (20cm 地点)

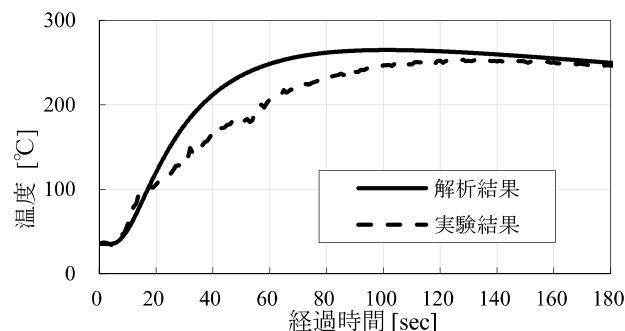


図-4 路床温度の時系列変化 (20cm 地点)

参考文献

- 1) 石原ら(1988): 火山, 第2集, 伊豆大島噴火特集号, pp.64-76.
- 2) 山下ら(1990): 水工学論文集, 第34巻, pp.391-396.
- 3) 池本ら(2020): 第47回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要, II-69.
- 4) 柳原ら(2020): 第47回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要, II-70.
- 5) 池本ら(2022): 第49回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要, II-9.
- 6) 砂防・地すべり技術センター(2000): 研究報告, 第1号, pp.94-110.
- 7) 日本建築学会(1980): 建築学便覧 I.