

第II部門

裸地斜面の凍結融解過程とその数値シミュレーション

立命館大学理工学部	学生員	○手島 宏之
京都大学防災研究所	正会員	藤田 正治
京都大学防災研究所	正会員	堤 大三
京都大学大学院工学研究科	学生員	伊藤 元洋

1. はじめに

一般に、凍結に伴い構造破壊が生じた基岩が融解することによって土砂が生産される。我が国においては、冬期における裸地斜面の凍結融解作用は九州地方まで見られるため、流砂系においてこうした現象のメカニズムを解明することは重要である。よって本研究では、このような現象に起因する土砂生産機構の解明を行う。そのために、既往の観測結果を基に再現シミュレーションを行い、適合性を検討するとともに、今後土砂生産量を予測するための指針を示した。また、生じた土砂が堆積することによる熱伝導への影響を検討した。その結果、土砂化するには基岩が凍結融解を繰り返し受けなければならないこと、また、凍結深さには堆積土砂によって熱的性質が変化することによる影響は少ないことが分かった。

2. 既往の観測結果

滋賀県田上山の裸地斜面において、2004年12月26日から2005年4月17日まで凍結融解に関する観測が行われた¹⁾。風化花崗岩がむき出しになっている斜面に観測地点を設け、地表面温度、地中温度および観測地点範囲内の土砂量が測られている。また、地点は約一週間毎に土砂を剥ぎ取り採取したもの(以下プロット1)と、観測期間中手を加えず放置していたもの(以下プロット2)に区別されている。

図-1にプロット1での土砂生産量と積算寒度(0°C以下の温度と時間の積算値)の関係を示した。ある程度の相関が見られるが、観測初期の土砂生産量が少ないことから、土砂化のためには凍結融解を繰り返し受ける必要があると思われる。また、図-2より、プロット1では合計34.1kgの土砂が採取されたのに対し、プロット2では13.9kgの土砂しか生産されていない。この要因は堆積土砂の影響や剥ぎ取りによる基岩面の露出が考えられる。以上の観測結果の要因を以下の数値シミュレーションによって検討する。

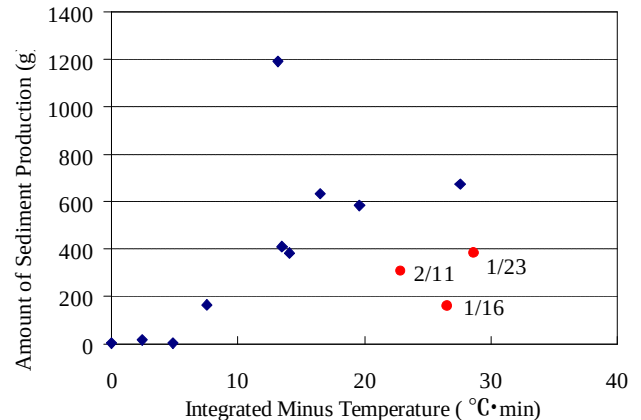


図-1 プロット1の土砂生産量

3. 数値シミュレーション

① 基礎式

本研究では以下の1次元熱伝導方程式を用いた。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + L \frac{\partial \theta_i}{\partial t} = C_v \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho_i \theta_i + \rho_w \theta_w) = 0 \quad (2)$$

$$\theta_w = \theta_w(T) \quad (3)$$

ここに、 x ：位置座標、 t ：時間、 λ ：土の熱伝導率、 L ：水の凍結潜熱、 C_v ：土の体積熱容量、 θ_w ：体積含水率、 θ_i ：体積含氷率、 ρ_w ：水の密度、 ρ_i ：氷の密度である。また、(3)式は温度と含水率の関係式であり、本研究ではJame-Norum式²⁾を用いた。また、凍上による体積膨張や基岩内の水分移動は本研究では簡単のため考慮していない。また、パラメータは表-1に示したものをを用い、境界条件は観測により得られた表面温度と、地下10mの一定温度を与えた。

② 堆積土砂の影響

ここでは基岩表面に生産された土砂が堆積することによる温度の伝わり方の変化を調べるため、堆積土砂の熱拡散率を変え数値実験を行った。まず、初期条件として地表面から2cmが土砂(熱拡散率 $\lambda/C = 3.8 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$)

となっていると仮定したものと、全て基岩(熱拡散率 $\lambda/C = 6.1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$)であるものに区別し周期一日のサインカーブを地表面温度変化として与えた。図-3より、両者には若干の違いが見られるが、その凍結深さにはほとんど影響が無く、先に示したプロット1と2の違いの要因は熱物性値の違いではなく、剥ぎ取りによる基岩面の露出であると言える。

表-1 計算で用いたパラメータ

	熱伝導率 $\lambda [\text{W/m}^2/\text{K}]$	比熱 $C [\text{J/kg/K}]$	密度 $\rho [\text{kg/m}^3]$
基岩	3.0	921.0	2650.0
空気	0.024	1006.0	1.29
水	0.582	4186.0	1000.0
氷	2.255	2093.0	1000.0

③ 凍結融解履歴の効果

次に観測された土砂量の再現計算を試みた。剥ぎ取りのタイミングは観測と同じとし、潜熱の影響を考慮して、 -1°C を凍結と融解の基準温度とした。さらに凍結融解による風化を考慮するため、剥ぎ取りの層を、凍結融解作用を1, 5, 10回受けたものに分類して、それぞれ計算を行った。図-4より、凍結融解作用を10回受けたものを剥ぎ取った結果(以下ケース1)が、最も実測と近い値となった。他の2つは実測より大きな結果を得ており、これは観測結果において初期の土砂生産量が少ないこととよく対応している、基岩が土砂として生産されるには凍結融解を複数回受けなければならないことが示された。

また、図-3より、ケース1におけるプロット1の土砂量の合計と、プロット2を再現した計算結果(最後に土砂の剥ぎ取りを行った結果)の土砂量の違いは概ね観測を再現できている。

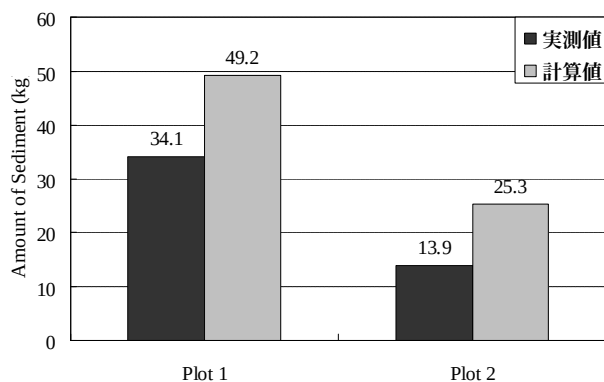


図-2 プロット1と2の比較

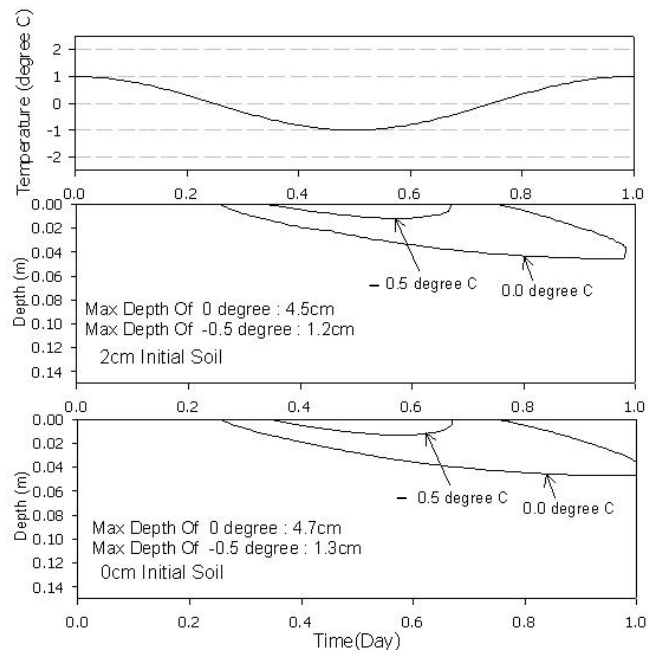


図-3 数値実験結果

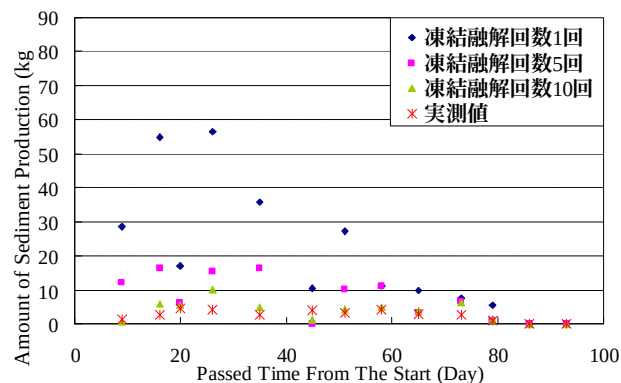


図-4 土砂生産量の計算結果

4. 終わりに

本研究では凍結融解による土砂生産量を数値シミュレーションにより試みた。概ね観測値を再現することができたが、現段階では、凍上や水分移動を考慮していないため、今後これらを考慮したモデルを作成する必要がある。また、地表面での日射や風を含めた大気と地盤系での水と熱収支モデルを構築し、基岩の破壊の過程や条件についてもそのメカニズムを検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 堤大三, 伊藤元洋ほか: 田上山地の裸地斜面における凍結融解と土砂生産の観測, 平成17年度砂防学会研究発表会概要集, p296-297
- 2) 陳曉飛ほか: 熱と水の同時移動モデルによる土壌凍結・融解課程の数値実験法, 土壌の物理性, No.78, p.25-34, 1998