

裸地斜面における凍結融解作用による土砂生産

日本工営 (株)

○伊藤元洋

京都大学防災研究所

堤大三・藤田正治・澤田豊明

京都大学大学院工学研究科

手島宏之

京都大学大学院農学研究科

小杉賢一朗・水山高久

1. はじめに

流域一貫した土砂管理においては、山地流域における土砂生産の量や質を予測することが不可欠である。既往の研究¹⁾によれば、土砂生産のうち、毎年日常的に起こるものは、裸地斜面における凍結融解作用によるところが大きい。本研究では、前年度の観測の結果²⁾をもとに、凍結融解による土砂生産の特性に関して様々な角度から検討し、数値シミュレーションを用いて土砂生産量の定量的な予測を行うことを試みた。

2. 凍結融解による土砂生産の観測とその結果

滋賀県田上山地において、2005年1月から4月にかけて、風化花崗岩の裸地斜面に試験プロットを設定して観測をおこなった²⁾。プロットは写真1に示すように2つに分割し(それぞれ、Plot1, Plot2とする)、Plot1においては、約1週間ごとに生産された土砂を表層から除去し、その量を計測した。また、Plot2は4月末まで、土砂化した表層を自然状態で放置し、Plot1で土砂生産が見られなくなった後に、生産土砂の総量を計測した。また、気温、地表面温度、地温を連続的に計測した。

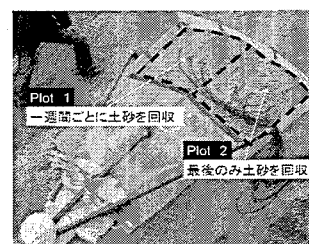


写真1 観測斜面の様子

観測された地表面温度および Plot1 の土砂生産速度を図1に、各プロットの土砂生産の総量を図2に示す。これらの図によると、土砂生産が凍結融解の起こる期間に起こり、一定期間ごとに表層土砂を除去したほうが多く土砂が生産される。Plot1の期間ごとの土砂生産量と、気温変化の指標との関係を図3に示す。ここで採用した気温変化の指標は、最低気温、凍結融解回数、積算寒度である。凍結融解回数は、気温が0°Cをまたいで上下した日数、積算寒度は、最低気温が0°Cを下回っている日について、それを時間方向に積算したものである。これらの図によると、気温指標

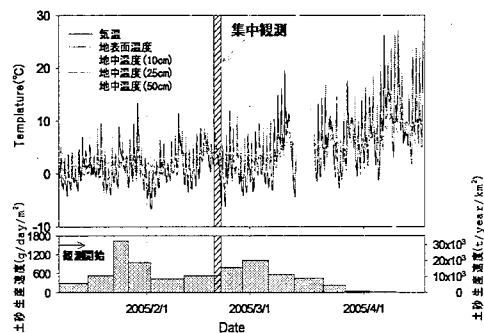


図1 気温・地温の推移と土砂生産量

と土砂生産量は多くの点で正の相関にあるが、中には外れている点がある。それらの相関の悪い点は、①図の右下にある点、②図の左上にある点に大別することができる。相関が悪い原因として、①については、観測期間の最も初期のデータがこれに該当することから、地盤が冷却されるのに時間がかかったこと、②については、期間の短いデータがこれに該当することから、土砂生産量は期間の長さ

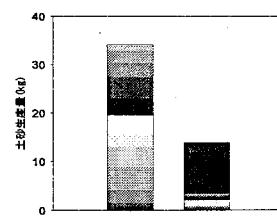


図2 総土砂生産量

(=積算寒度)によらず、最初の冷え込みにより決定されていることが考えられる。このことは、生産された土砂が表層を被覆することでその後の土砂生産が抑制されるという、図2の結果とも一致する。

3. 数値シミュレーションによる解析

被覆土砂による土砂生産の抑制効果(断熱効果)、地盤への

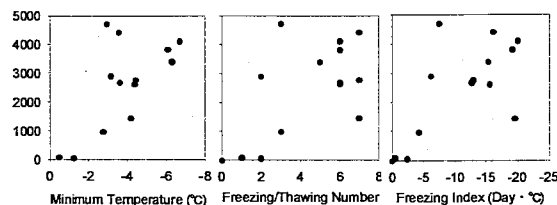


図3 気温指標と土砂生産量

熱伝導の非定常性の、2点をより詳しく調べるため、数値実験および、その結果もふまえた観測データの再現計算によって土砂生産特性を検討した。

3.1 熱伝導の基礎式と計算手法

熱伝導のシミュレーションは次の3つの式を用いておこなった。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \rho_i L_w \frac{\partial \theta_i}{\partial t} \quad (1)$$

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

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

ここに、 T は温度、 t は時間、 z は位置、 ρ は密度、 c は比熱、 λ は熱伝導率、 ρ_i は氷の密度、 L_w は凍結潜熱、 θ_i は含水率、 D は水分拡散係数、 ρ_w は水の密度、 θ_w は含水率である。これらの関係を用い、水分移動が生じないものと仮定して ($D=0$) 凍結潜熱の発生だけを考慮して計算をおこなった。

3.2 断熱効果の数値実験による検証

生産土砂による断熱効果を検証するため、数値実験をおこなった。仮想地表面温度として図1に示すような温度変化を与え、土砂が地表面を2cm覆っている場合と基岩面が露出している場合の凍結深さを比較した。結果の -0.5°C および 0°C の等温線を図4に併記する。これによると、基岩と土砂によって熱伝導性はあまり変わらず、土砂化による断熱効果は、殆どみられない。すなわち、土砂の被覆による土砂生産の抑制は、基岩表面が位置的に後退したことによるものと考えられる。

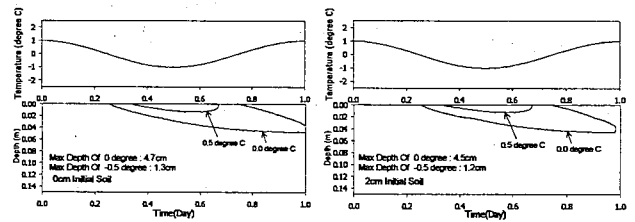


図4 土砂による断熱効果の検証

3.3 現地観測データの再現計算

気温変化から土砂生産量を算出するには、厳密には地温分布の計算の他、基岩の物理的破壊過程をモデル化することが必要とされる。ここでは、風化岩盤が何度かの凍結融解を経験すると土砂に変化すると仮定して、その経験回数を変化させることにより、Plot1の地温分布および土砂生産量データを再現計算することを試みた。土砂生産量の計算結果を図5に示す。ここで、CASE3-1は凍結融解を1回経験することにより基岩が土砂化したとしたもので、実測データに比べ、過大な計算値となっている。また、CASE3-2はその回数を5回にしたものである。CASE3-3は、回数を10回としたもので、実測値によく似た傾向と量の土砂生産量が得られている。また、その際の地温分布も、良好な再現性が得られている。最後に、図2の、Plot1、Plot2における土砂生産の総量を再現計算した結果を図6に示す。実測値に比べ、まだなお過大ではあるが、Plot1とPlot2の違いがよく表現されている。

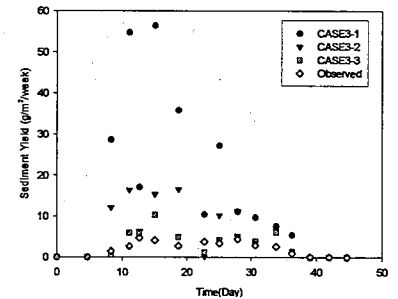


図5 土砂生産量の計算結果

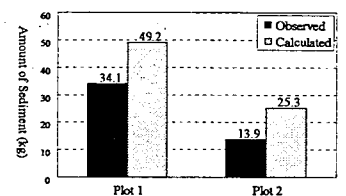


図6 総土砂生産量の再現計算結果

4. おわりに

本研究では、凍結融解による土砂生産において、斜面表層の状態や凍結融解の履歴が、凍結融解による土砂生産において重要な要素であることが明らかとなった。今後は、これらの点に着目しながら、水分移動や岩盤破壊などの物理的メカニズムについて考察を深めていくことが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 藤田ほか：水工学論文集，第49巻，pp.1075-1080，2005
- 2) 伊藤ほか：平成17年砂防学会講演発表会概要集，pp296-297，2005