

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○泉山 寛明
 京都大学防災研究所 正会員 堤 大三
 京都大学防災研究所 正会員 藤田 正治

1. はじめに

山間部における土砂生産現象を正確に把握することは土砂災害の軽減もしくは河川環境の創出のために重要である。なお、ここでは土砂生産現象を、斜面を構成する風化基岩の破壊による土砂化とそれに引き続く生産土砂の河道への流出と考える。そこで、土砂生産量を精度よく推定するモデルを開発する必要がある。

堤ら¹⁾は上のような目的から、まず地中温度を推定する必要があるとして熱伝導計算モデルを開発した。このモデルの特徴は、汎用性が高い点にある。それは、通常は境界条件として、実際にはあまり観測されることのない地表面温度を用いなければならないところを、熱収支を同時に考慮することで一般的に観測されている気象データ（気温、日射量、風速）を入力データとして地中温度を推定することができるからである。

本研究では上記のモデルの特徴を活かし、日本全国の裸地斜面を対象として熱伝導計算を行った。そして凍結融解特性を調べ、都道府県ごとの違いを考察した。さらに斜面の向きなどの地形特性の影響を考察した。

2. 計算方法

基礎式は以下の一次元熱伝導方程式と地表面での熱収支式である。

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T_G(z)}{\partial z} \right) + \rho_i L_w \frac{\partial \phi}{\partial t} = c_G \rho_G \frac{\partial T_G(z)}{\partial t} \quad (1) \quad \int_0^{De} \frac{d(c_G \rho_G T_G(z))}{dt} dz - \int_0^{De} \frac{d(\rho_i L_w \phi)}{dt} dz \quad (2)$$

$$= S \downarrow - S \uparrow + \sigma T_a^4 - \sigma T_G(0)^4 - c_p \rho C_H U (T_G(0) - T_a)$$

ここに、 z : 深度、 λ : 基岩の熱伝導度、 T_G : 地中温度、 ρ_i : 氷の密度、 L_w : 水の融解潜熱、 ϕ : 含水率、 t : 時間、 $c_G \rho_G$: 基岩の体積熱容量、 De : 熱伝導を無視できる十分な深さ、 $S \downarrow$: 下向き短波長放射量（斜面日射量）、 $S \uparrow$: 上向き短波長放射量、 σ : ステファン・ボルツマン定数、 T_s : 地表面温度、 T_a : 気温、 $c_p \rho$: 空気の体積熱容量、 C_H : バルク係数、 U : 風速である。 T_a 、 $S \downarrow$ 、 U を式(2)の入力値に用い、式(1)と連立させて T_s の仮定値を与えて収束計算を行えば地中温度分布を求めることができる。なお、 $S \uparrow$ には裸地でのアルベド(0.15)を $S \downarrow$ に乗じたものを与えた。

以上で地中温度が求まるが、一般に観測されている日射量は水平面に対するものであって斜面に対する日射量ではないため、変換する必要がある。ある方角と勾配をもつ斜面に対する斜面日射量は日射の入射角が分かれば、水平面日射量の関数として求めることができる。

計算期間は2008年7月から2009年7月とした。気温は県全体の代表値を用いるが、以下のような方法で算出した。まず県内にある全ての気象観測地点ごとに月平均気温を算出し、更にそれらを全地点で平均したものを県全体の月平均気温とする。各地点の月平均気温の変化傾向が県全体の月平均気温のそれと最も近似している地点を代表地点とし、この地点での気温データを用いた。このとき、各地点の月平均気温と県全体のそれとの偏差平方和を求め、これが最小となる観測点を代表地点とした。風速および日射量は県の代表地点での値を用いるが、欠測の場合は県内の別の地点で観測された値を用いた。

上で求めた各都道府県の気象観測地点は標高がそれぞれ異なる。そこで考察を容易にするために気温を標高補正して標高500m地点を想定した。また斜面は北向きと南向きの2パターンを考え、勾配は45度とした。基岩は、今回は簡単に風化花崗岩とした。また、積雪の影響は考慮せずに計算を行った。

Hiroaki IZUMIYAMA, Daizo TSUTSUMI, Masaharu FUJITA

izumi@sabom.dpri.kyoto-u.ac.jp

3. 計算結果と考察

図-1 に例として岡山県の場合の解析結果を示す。左図は基岩内の 0°C等温線であり、0°C以下の部分で基岩は凍結していることになる。右図は凍結融解回数の深度分布である。そして凍結融解回数を深度方向に積分したものを凍結融解強度指数として定義する。既往の研究¹⁾により凍結融解による土砂生産量は凍結融解回数と凍結深さの両方に依存することが分かっているため、凍結融解強度指数は土砂生産量と最も関係のある指標と考えられる。岡山の場合、凍結融解強度指数は 1.06 m となる。

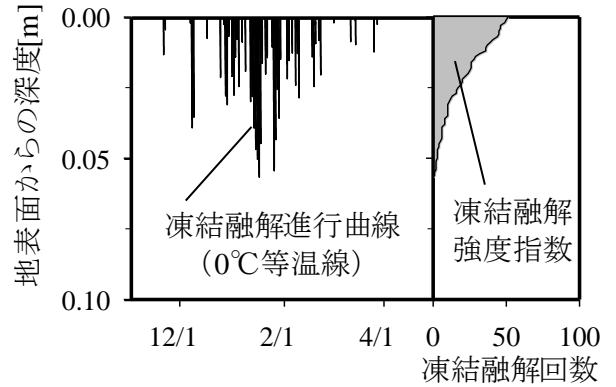


図-1 岡山県の気象データを用いた場合の凍結融解進行曲線と凍結融解回数の深度分布

図-2 は北向きで勾配 45 度、標高 500m 地点の裸地斜面を仮定した場合の凍結融解強度指数 (I_N) の全国マップである。なお、千葉県は最高地点の標高が 408m であるため、解析対象から除外している。図を見ると、凍結融解強度指数は北海道、東北地方あるいは日本海側の都道府県で比較的大きな値を示し、それ以外では小さな値を示している。これより、都道府県ごとに凍結融解強度指数が異なり、よって土砂生産量が異なることが予想される。鹿児島県と沖縄県では気温が高く、地中温度が氷点下とならないために凍結融解が生じていない。

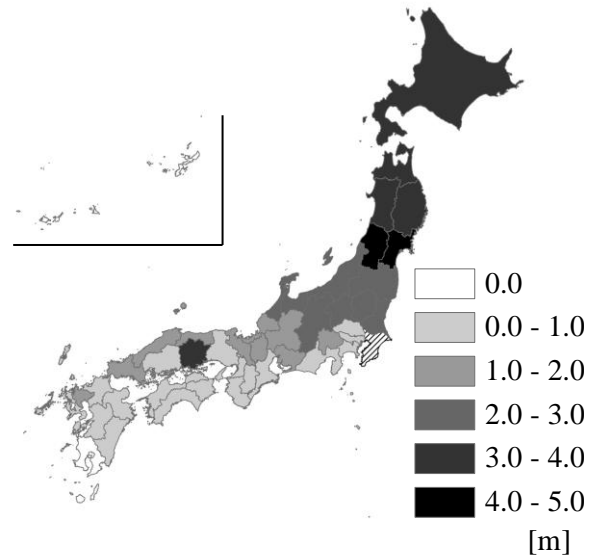


図-2 北向き、勾配45度、標高500m地点の斜面を仮定した場合の凍結融解強度指数の全国マップ

図-3 は北向き斜面での凍結融解強度指数 (I_N) と南向き斜面での凍結融解強度指数 (I_S) の差 ($I_N - I_S$) を表す。これを見ると、北海道、青森、岩手、山形、秋田の 5 県では北向き斜面の方が凍結融解強度指数は小さいことが分かる。これは、北向き斜面の方が南向き斜面よりも日射量が小さく、融解が発生しにくくなって凍結融解回数が 20 回以上も少なくなったことに起因する。その他の県では凍結深さが大きくなると同時に、凍結融解回数が多くなるかわずかに少なくなることにより北向きの方が凍結融解強度指数は大きくなっている。

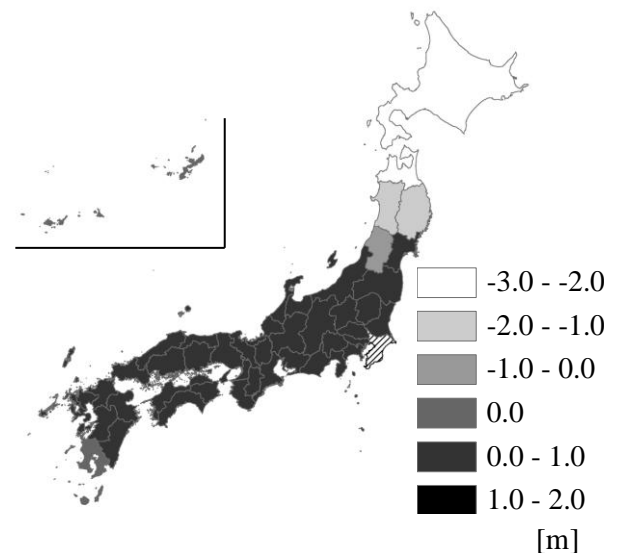


図-3 凍結融解強度指数の北向き斜面の場合 (I_N) と南向き斜面 (I_S) の場合との差 ($I_N - I_S$)

4. おわりに

本研究により日本全国の裸地斜面における凍結融解特性が分かった。また斜面の向きが異なれば凍結融解強度指数が異なり、土砂生産量は地形の影響を受けることが予想された。今後は、標高がさらに高くなった場合や流域単位での解析を行い、さらに凍結融解強度指数と土砂生産量の関係を明らかにする予定である。

参考文献

1) 堤大三ら, 藤田正治, 泉山寛明: 気温上昇による土砂生産に対する凍結融解の影響変化予測, 水工学論文集, 53, pp.649-654, 2009.