

京都大学工学部 学生員 ○泉山 寛明

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

1. はじめに

裸地斜面等では、露出した基岩が冬期に凍結融解を受けることによって風化され、土砂化する現象が発生している。一方、凍結融解作用は斜面崩壊や土石流と同様に主要な土砂生産機構の一つであり、その機構を把握することは砂防工学上重要な課題となっている。そのため既往の研究では、熱伝導計算によって基岩が凍結する深さ及び凍結融解回数を求め、これらによって土砂生産量を導出するモデルを考案しているが、精度良く予測できるまでには至っておらず、基岩の破壊過程をより詳細に検討し、それに基づいたモデルを作成することが必要となっている。

そこで本研究では、基岩が凍結融解によって風化されて土砂となる過程における、間隙率、間隙径分布の変化を知ることが目的とする。

2. 実験方法及び計算方法

2.1 pF 試験

供試体として、滋賀県田上山地裸地斜面の風化花崗岩及び土砂を用いた。風化花崗岩は斜面垂直方向に10cm ずつ、30cm までの計3 深度からそれぞれ1 ずつ、土砂については基岩表面の土砂層から1 つ採取した。この供試体に対して、桂¹⁾の方法に従い pF 試験の一つである加圧板法を実施した。

試験より得られる水分特性曲線から以下の式によって間隙半径を算出した²⁾。

$$r = -0.15 / \psi \quad (1)$$

ここで、 r : 間隙半径、 ψ : 圧力水頭 (<0) である。さらに、不飽和状態の岩において、その時の圧力水頭 ψ と式(1)から得られる間隙半径 r に関して、水は r より小さい間隙に入っていると考えられることから、その時の含水率 θ は間隙分布を $g(r)$ とすると

$$\theta = \int_0^r (\theta_s - \theta_r) g(r) dr + \theta_r \quad (2)$$

と表される。ここで、 θ_s : 飽和体積含水率 (間隙率)、

θ_r : 残留体積含水率 (圧力水頭が十分小さくなくてもなお残存する含水率) である。式(2)から求める間隙径分布

$$g(r) = \frac{1}{\theta_s - \theta_r} \frac{d\theta}{dr} \quad (3)$$

が得られる。

2.2 顕微鏡観察

基岩試料の実際の間隙構造を調べるために、試料を樹脂で固めて断面を研磨機で露出させ、露出面を光学顕微鏡で観察した。

3. 実験結果及び考察

3.1 pF 試験

図-1に pF 試験を行って得られた水分特性曲線を示す。凡例中の括弧内の数字は深度を表す。本研究においては、残留体積含水率 θ_r を圧力水 $\psi = -500 \text{ cmH}_2\text{O}$ の時の含水率とした。それによると、曲線形状に関しての、基岩の深度による違いはほとんど見られないが、基岩と土砂については大きく異なっていることが分かる。式(1)によれば、基岩の間隙はその存在量が小さく、土砂のそれは逆に大きいことが考えられる。また、圧力水頭 $\psi = 0 \text{ cmH}_2\text{O}$ の時の含水率すなわち間隙率 θ_s と、残留体積含水率 θ_r についても基岩と土砂について大きく異なっていることが分かる。

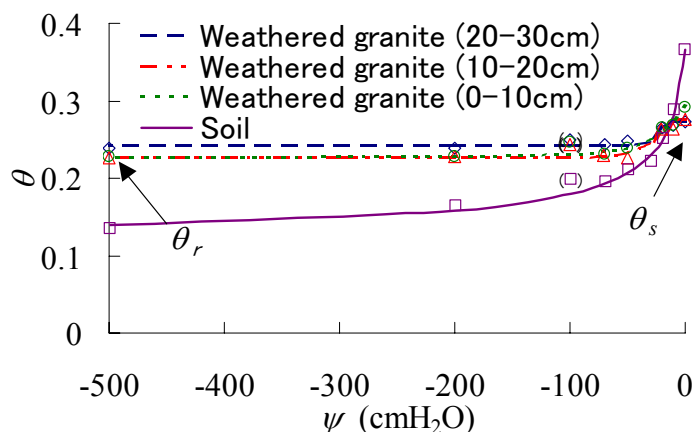


図-1 水分特性曲線

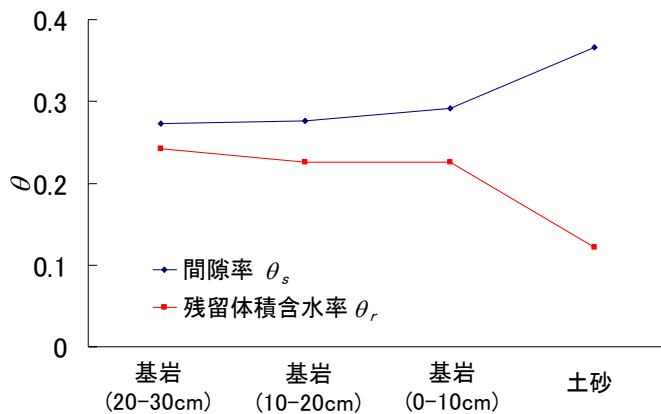
図-2 風化による θ_s と θ_r の変化

図-2に異なった深度の基岩と土砂の間隙率 θ_s と残留体積含水率 θ_r を示す。一般に凍結融解による風化の影響は、深度が大きいくところにあるほど小さいと考えられるので、図-2は基岩が風化されて土砂化する時の θ_s と θ_r の変化を表すと考えることができる。間隙率の変化を見てみると、基岩は風化を受けるにつれて徐々に大きくなり、そして基岩が土砂化した時にさらに小さくなっていることが分かる。また残留体積含水率についても、基岩が風化を受けるにつれて徐々に小さくなり、土砂化した際にさらに小さくなっており、基岩と土砂で明確な違いが見られた。間隙率のこのような変化から、基岩は風化を受けるにつれて間隙量が多くなること分かる。これは基岩が凍結した時に間隙に存在する水が氷になり、体積が膨張したためであると考えられる。基岩で残留体積含水率がなお高い値を示した理由としては、土砂の場合、圧力が加わる供試体の上面から排水される下面にかけて、途切れることなく連続した間隙が多く存在し、逆に基岩ではその様な間隙の量が少ないことが考えられる。

図-3は水分特性曲線から式(1)、(2)の関係を用いて推定した間隙径分布である。図から分かるように、基岩の場合深度による間隙径分布の違いはほとんど見られず、間隙はほぼ0.01~0.1mmのものが多く存在していることが分かる。一方土砂の間隙径分布は基岩と違い0.01mm以下及び0.1mm以上の間隙の存在する割合が高くなっており、基岩と異なる分布をしていることが分かる。

3.2 顕微鏡観察

図-4は基岩試料を光学顕微鏡で観察したものである。間隙は顕微鏡のピントのずれや、樹脂が流れ込んでいる箇所により観察された。点線の矢印は筋状の間隙で、この間隙の幅は約0.1mmである。点線の丸で囲った所

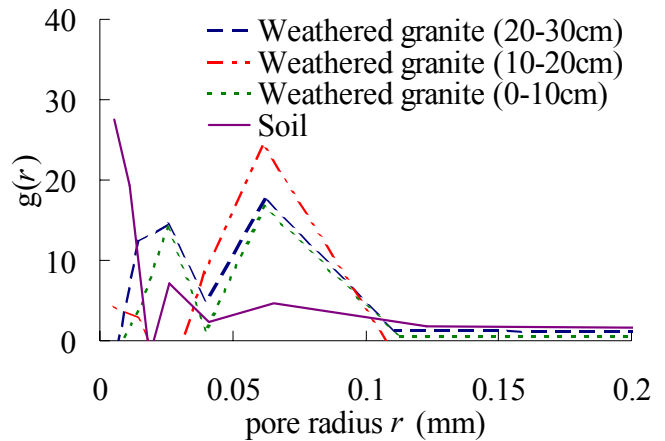


図-3 間隙径分布

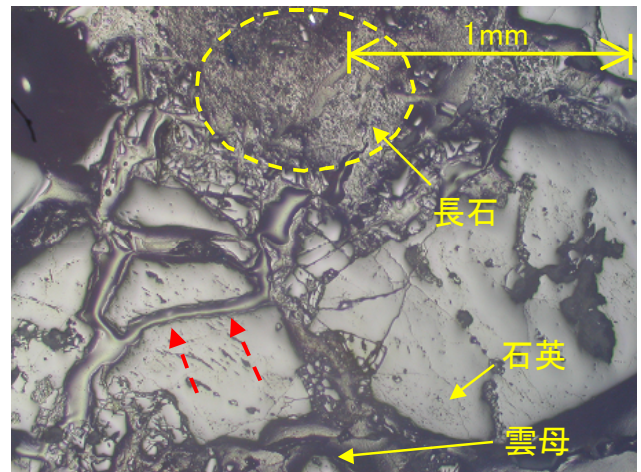


図-4 基岩の断面写真

は鉱物がよく破壊されて粉々になり、微小な間隙が生じている。水分特性曲線から推定された間隙径分布によれば、基岩の間隙は0.01~0.1mmのものが多く存在することが分かるが、実際の写真でも同程度の大きさの間隙が観察されたことから、推定した間隙径分布は実際の分布をよく表現できていると考えられる。

4. 終わりに

本研究では基岩が凍結融解により土砂となる現象をモデル化するための基礎的な実験を行った。その結果、間隙構造に関するいくつかの重要な知見が得られたが、顕微鏡観察結果を定量的に評価しなければならない。また、基岩の土砂化をモデル化する場合、間隙水の膨張の他、岩の強度や亀裂を同時に考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 桂真也：山地小流域における風化基岩内の水移動過程の解明, 京都大学農学研究科修士論文, 2005, pp.33-58
- 2) 小杉賢一朗：森林の水源涵養・洪水緩和機能と土壌孔隙特性—森林土壌の孔隙特性が雨水流出に及ぼす影響, 水利科学, 43(5), 1999, pp.29-41