

京都大学大学院 ○泉山 寛明
 京都大学防災研究所 堤 大三
 京都大学防災研究所 藤田 正治
 京都大学大学院 手島 宏之

1. はじめに

風化基岩は凍結融解作用によって破壊され土砂化する。既往の研究では¹⁾、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経験的に求め、土砂生産量を推定するモデルを考案しているが、予測精度を向上させるため、基岩の土砂化過程をより詳細に検討することが必要となっている。一方、風化基岩はある間隙構造を持ち、凍結融解作用を繰り返し受けることでその構造が変化し、最終的に土砂の間隙構造になると考えられ、この違いによって土砂化過程を表現するモデル化が可能であると考えられる。そこで本研究では、まず風化基岩と土砂の間隙構造の違いを実験によって調べることを目的とする。

2. 実験方法及び計算方法

実験は滋賀県田上山地裸地斜面の風化花崗岩及び土砂を対象とし、間隙率および間隙径分布の計測を目的として pF 試験を行い、さらに実際の間隙構造を解明する目的で顕微鏡観察を行った。

2.1 pF 試験

風化花崗岩は斜面垂直方向に 10cm ずつ、30cm までの計 3 つ、土砂については基岩表面の土砂層から 1 つ採取した。2005 年の裸地斜面の観測結果によると、凍結深さは約 10cm であるため、基岩面から 10cm までの試料は凍結融解を多く経験し、深さを増すにつれ凍結融解作用の影響は小さいと考えられる¹⁾。この供試体について、桂の方法²⁾に従い加圧板法により pF 試験を実施した。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³⁾。

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

ここに、 r : 間隙半径、 ψ : 圧力水頭 (<0) である。さらに、毛管作用現象を考慮すると、風化基岩及び土砂の含水率 θ は、間隙径分布を $g(r)$ とすれば、以下の式で与えられる。

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

ここに、 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、式(3)が得られる。

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

2.2 顕微鏡観察

試料を樹脂で固めて風化基岩の断面を研磨機で露出させ、光学顕微鏡で観察し、デジタルカメラにて撮影した。観察時の倍率は 50 倍および 100 倍であった。

3. 実験結果及び考察

3.1 pF 試験

図-1に水分特性曲線を示す。凡例中の括弧内の数字は採取深度を表す。なお、 θ_r は圧力水頭 $\psi = 500 \text{cmH}_2\text{O}$ の時の値とした。曲線の形状は、風化基岩は風化度による違いはあまり見られないが、更に風化され土砂化すると大きく変化することが分かる。

図-2に異なった深度の風化基岩と土砂の飽和体積含水率 θ_s と残留体積含水率 θ_r を示す。この図は風化基岩がさらに風化されて土砂化する過程における、 θ_s と θ_r の変化を表すと考えることができる。 θ_s に着目すると、

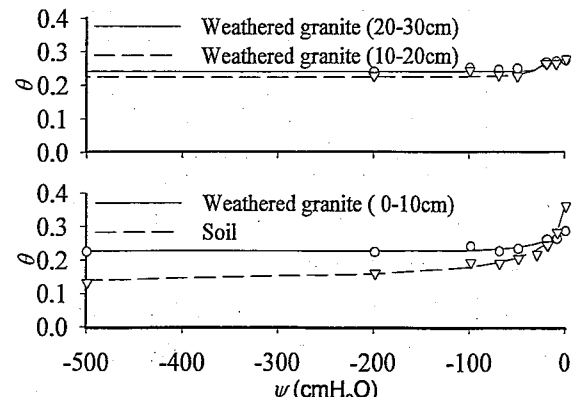


図-1 水分特性曲線

風化基岩は風化されるにつれて徐々に大きくなり、土砂化した時にさらに大きくなっていることが分かる。これは風化基岩が凍結した際に間隙に存在する水が凍結し、体積が膨張したためであると考えられる。また θ_r についても、基岩が風化されるにつれて徐々に小さくなり、土砂化した際にはさらに小さくなっており、風化基岩と土砂で明確な違いが見られた。風化基岩で θ_r が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底面にかけて、連続した間隙が多く存在し、逆に風化基岩ではその様な間隙が少ないということが考えられる。

図-3 は水分特性曲線から式(1)、(2)を用いて推定した間隙径分布である。風化基岩では凍結融解によって風化されてもその違いはほとんど見られず、間隙径は0.01~0.1mm のものが多く存在していることが分かる。土砂化すると間隙径分布は土砂化前と違い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、風化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。間隙は顕微鏡の焦点深度の違いや、樹脂と鉱物の研磨程度の違いから検出した。点線で囲った所は筋状の間隙で、この間隙の幅は約0.1mm である。実線の丸で囲った所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. 風化基岩の土砂化

図-2 を見ると、風化基岩が土砂化する際に θ_s と θ_r が大きく変化しているが、この原因として、風化基岩が凍上することで霜柱が発生し、これにより基岩の間隙構造が破壊され、土砂化すると考えられる。

5. おわりに

本研究では凍結融解による風化基岩土砂化に関する基礎的な実験を行った。その結果、間隙構造についていくつかの重要な知見が得られた。今後は顕微鏡観察結果を定量的に扱う必要がある他、積雪や岩の強度及

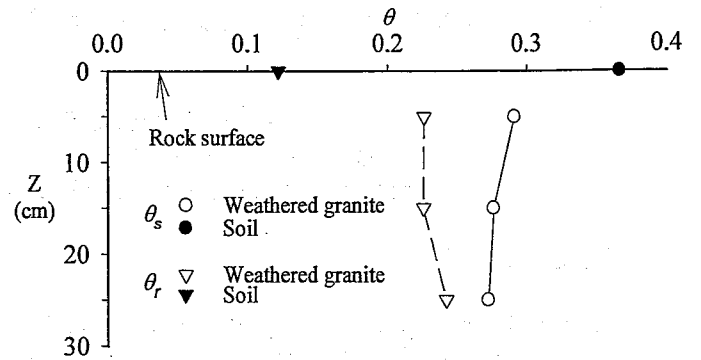


図-2 θ_s と θ_r の変化

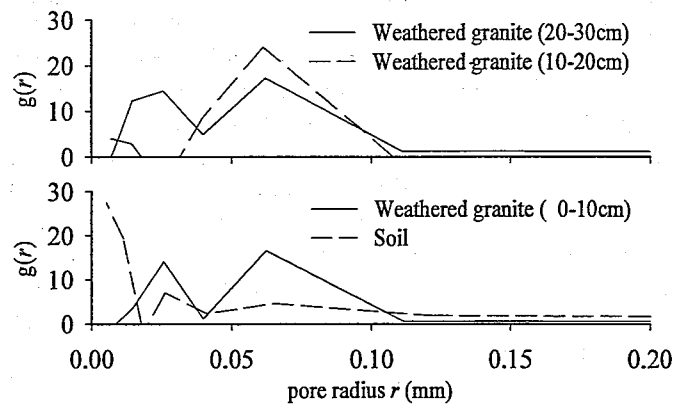


図-3 間隙径分布

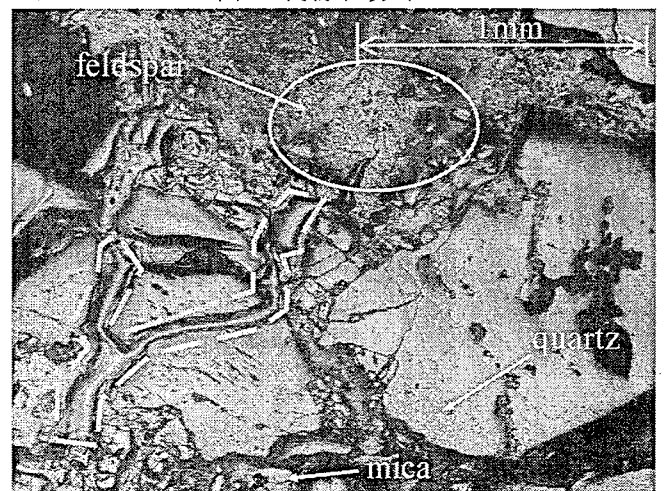


図-4 風化基岩の断面写真 (深度20-30cm)

び亀裂が土砂化に与える影響を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 堤大三他：凍結融解による土砂生産に関する基礎的研究，砂防学会誌 59(6)，2007，pp.3-13
- 2) Katsura et al.: Saturated and unsaturated hydraulic conductivities and water retention characteristics of weathered granitic bedrock, VZJ 5(1), 2006, pp. 35-47
- 3) 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