

火山灰の水分特性データの実測と蓄積に向けて

国立研究開発法人土木研究所 ○吉野孝彦, 影山大輔*, 伊藤誠記

*現 国土交通省北海道開発局

1. はじめに

火山灰の堆積した斜面の浸透能を推定することは、降灰後土石流の発生を考える上で重要である。火山灰堆積斜面の浸透能は、火山灰の水分特性データ（水分特性曲線や透水係数など）が既知であれば、不飽和浸透計算で再現でき得ることが報告されている¹⁾。しかし、水分特性データの実測値を得るためには、不攪乱試料の採取が必要であるほか、不攪乱試料を用いた水分特性曲線の作成には多くの時間を要する。このため、予め様々な火山灰の水分特性データを実測・蓄積するとともに、どのようなパラメータが水分特性に影響を与えているか把握することは、噴火時や噴火直後に火山灰の水分特性データを推定する上で有益な情報となると考えられる。

一方、過去に水分特性曲線を推定した火山灰でも、既水分特性曲線作成に使うモデルが様々であり、フィッティングパラメータから火山灰の物性を推定することが難しい場合もある。そこで本研究では、水分特性データの実測と蓄積に向けた第一歩として、既往研究や過去に土木研究所で実測されたデータを基に、火山灰の粒度組成や水分特性データを整理し、同一のモデルで水分特性曲線を作成した。

2. 方法

本研究で取り扱った火山灰は三宅島、有珠山、桜島の三種類である。このうち、三宅島火山灰と有珠山火山灰については、既往研究で実測された粒度分布や水分特性データを整理し、桜島火山灰については試験により水分特性データを整理することで、圧力水頭-体積含水率の関係を表すプロット（以下、「 ψ - θ プロット」と記載する）を作成した。得られた ψ - θ プロットに対し、以下の式(1)⁴⁾を最小二乗法によってフィッティングし、水分特性曲線を作成した。

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = Q \left(\frac{\ln(\psi/\psi_m)}{\sigma} \right) \quad (1)$$

ここで、 S_e は有効飽和度、 θ は体積含水率、 θ_s は飽和体積含水率、 θ_r は残留体積含水率、 ψ は圧力水頭、 ψ_m は $S_e = 0.5$ となる時の圧力水頭、 σ は水分特性曲線の傾きを表現する無次元パラメータである。このように式(1)のフィッティングパラメータは、それぞれ明確な

意味を持っている。そのため、異なる火山灰であっても、式(1)で水分特性曲線を作成し、フィッティングパラメータを比較すれば、水分特性曲線の違いを解析できると考えた。

2.1 既往研究で整理されている火山灰の水分特性データの取得

三宅島火山灰の水分特性データは、土木研究所資料第 3923 号²⁾に纏められている、2000 年噴火時の火山灰のものを利用した。土木研究所資料第 3923 号では、三七沢中流部において火山灰の不攪乱試料を採取し、粒度試験を実施している。また、不飽和三軸試験装置による吸引圧の載荷、除荷によって、火山灰の ψ - θ プロットと式(1)とは異なるモデルで水分特性曲線を作成している。

有珠山火山灰の水分特性データは、山本ほか(1980)³⁾が計測したものを利用した。山本ほか(1980)は、有珠山北西斜面の西山川流域にて、1977 年噴火時の火山灰の不攪乱試料を採取し、粒度試験や pF 試験を実施し、 ψ - θ プロットを作成している。なお、山本ほか(1980)では、粒度分布や ψ - θ プロットを曲線で結んだグラフが示されているものの、 ψ - θ プロットの実測値については記載が無い。そのため、本研究では、山本ほか(1980)のグラフから ψ - θ プロットの数値を読み取ることで、粒度分布および ψ - θ プロットを得た。

2.2 桜島火山灰の水分特性データの取得

桜島の有村川近傍にて攪乱状態で採取された火砕物のうち、2 mm ふるい通過分を桜島の火山灰として取り扱った。桜島の火山灰試料に対して、JISA1204 に準拠した手法により、粒度試験を実施した。また、 ψ - θ プロットを得るために、火山灰試料を 100 cc ステンレス円筒に乾燥密度 1.6 g/cm 程度で充填し、コアサンプルを作成した。コアサンプルの底面を水に浸し吸水させて飽和させた後、pF 試験を実施した。pF 試験は、圧力水頭 0 cm ~ -30 cm の範囲は砂柱法で、-30 cm ~ -1000 cm の範囲は加圧板法で実施した。

3. 結果

表 1 に、各火山灰の粒度組成を示す。本研究で整理した火山灰は、いずれも砂分やシルト分が 90%以上を占めていた。砂分とシルト分それぞれの割合については、有珠山火山灰と桜島火山灰では同程度であった一方で、

三宅島火山灰では他の火山灰と比較して、砂分が少なく、シルト分が多いことが分かった。また、有珠山火山灰と桜島火山灰は、三宅島火山灰よりも僅かに粘土分割合が高いが、細粒分含有率（シルト分と粘土分を足した割合）は三宅島火山灰が 39.8%と最も高い値を示した。

各火山灰の ψ - θ プロットから作成された水分特性曲線を図 1 に示す。有珠山火山灰は、グラフから読み取れた ψ - θ プロットが少なかったこともあり、式(1)のフィッティング精度があまり良くなかった。一方、三宅島火山灰と桜島火山灰は、十分な量のプロットが得られていたため、精度良く式(1)がフィッティングされていた。三宅島火山灰は、圧力水頭が 0 cm から -250 cm に低下するまでに、体積含水率が急激に低下し、以降は圧力水頭が低下しても体積含水率はほとんど変化しなかった。一般に、圧力水頭の低下に伴う土壌からの排水は、より大きな間隙から順に生じる。このことを踏まえれば、三宅島火山灰は、本研究で対象とした火山灰の中では最も細粒分含有率が高い一方で、比較的径の大きな孔隙を多く有していることが推察された。一方、有珠山火山灰と桜島火山灰は、三宅島火山灰とは異なり、圧力水頭が 0 cm から -1000 cm に至るまで、体積含水率が低下し続けていることが確認できた。このことから、有珠山火山灰と桜島火山灰では、三宅島火山灰と比べ、大小さまざまな孔隙が分布していることが推察された。

こうした火山灰ごとの水分特性曲線の違いは、式(1)のフィッティングパラメータにも反映されていた。 σ は、水分特性曲線の傾きを表現しており、小さい値ほど傾きが急になり、大きい値ほど緩やかになるとされている。また、 ψ_m は粗粒土ほど高い値を示し、細粒土ほどより低い値を示すことが知られている⁵⁾。一方、本研究では、細粒分含有率が最も多い三宅島火山灰で、最も小さい σ と、最も大きな ψ_m を記録した。一方で、本研究で取り扱った火山灰の中で、最も細粒分含有率の小さな有珠山火山灰が、最も大きな σ と最も小さな ψ_m を示した。現段階では、これらのフィッティングパラメータが、火山灰のこういったパラメータに起因しているかは不明だが、今後は粒度組成だけでなく、間隙率等のパラメータにも着目して整理する予定である。

4. おわりに

火山灰の水分特性データの実測と蓄積に向け、既往研究や過去土木研究所で実測した水分特性のデータを整理し、同じモデルによって水分特性曲線を作成した。現段階ではまだ火山灰の水分特性データの実測事例が乏しいが、今後不攪乱試料等を用いて室内試験を継続

表 1 各火山灰の粒度組成

	三宅島	有珠山	桜島
最大粒径 (mm)	4.75	5.66	2.0
礫分 (%)	3.4	5.0	0
砂分 (%)	56.8	77.4	79.1
シルト分 (%)	38.3	14.6	17.3
粘土分 (%)	1.5	3.0	3.6

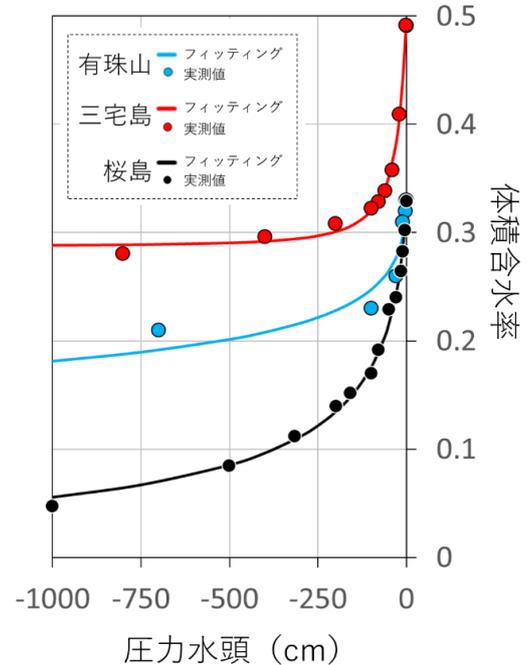


図 1 各火山灰の水分特性曲線

表 2 各火山灰のフィッティングパラメータ

	三宅島	有珠山	桜島
θ_s	0.491	0.330	0.329
θ_r	0.288	0.078	0
ψ_m	-25.930	-460.637	-119.631
σ	1.349	3.443	2.216

的に実施し、水分特性データを蓄積する予定である。

【謝辞】

本研究で使用した桜島火山灰は国土交通省九州地方整備局河川国道事務所よりご提供いただいた。ここに感謝申し上げます。

【参考文献】

- [1] 山越ほか (2006) 砂防学会誌, Vol.59, No.4, pp.24-31
- [2] 土木研究所資料第 3923 号, p.31-34
- [3] 山本ほか (1980) 地形, 1-1, p.73-88
- [4] Kosugi (1996) *Water Resources Research*, Vol.32, pp.2697-2703
- [5] 坂井・取出 (2009) 土壌の物理性 111 号, pp.61-73