

火山灰物性から浸透能を概略的に推定する方法に関する一考察

国土交通省 九州地方整備局 九州技術事務所 堤 宏徳, 山田将喜(現 九州地方整備局 情報通信技術課), 山本陽子
日本工営(株) ○田方 智, 木佐洋志, 手塚咲子

1. はじめに

火山噴火に伴って火山灰や火砕流が堆積した流域では、噴火後の降雨により土石流や泥流が頻発するようになるといわれている(例えば、池谷, 1993)。これは、火山灰が地表を覆うことにより噴火前に比べて地表の浸透能が急激に低下し、降雨時に表面流が発生しやすくなることが原因であるといわれる。そのため、火山噴火により火山灰が堆積した流域において、降雨時の表面流量を予測し流出規模をより正確・迅速に推定することは防災対策を行う上で非常に重要な課題である。降灰後の降雨時の表面流の発生には地表面に堆積した火山灰の浸透能や透水係数に影響されることから、噴火後に堆積した火山灰を対象として浸透能調査や透水試験が行われる。しかしながら、噴火直後は立入規制や安全上の面等で現地への立ち入りが困難となり、調査・試験の実施ができない場面が想定される。一方、近年、UAV やロボット技術の進歩により人が立ち入ることなく、現地から火山灰を採取してくる手法や UAV 等で取得した画像から粒径を把握する手法の開発が取り組まれており、今後の発展が見込まれる。

ここでは、UAV 等による火山灰の採取等により火山灰の粒径等の物性が把握可能な場合を想定し、火山灰物性から浸透能を概略的に推定する手法について検討を行った。火山灰が堆積した箇所における浸透能は、火山灰の物理的な特性のみならず、化学的特性や堆積厚さ、土壌水分状態等にも依ると考えられ、現地にて調査・試験、観測等を実施することが望ましいが、ここでは火山灰物性しか情報が得られない状況下で迅速かつ簡易的に土石流発生の急迫性を判断するためのひとつの材料とすることを想定し、考察を行った。

本検討では、2000年に噴火した有珠山の火山灰、同じく2000年に噴火した三宅島の火山灰に加え、桜島の火山灰、メラピ火山の火山灰や火砕流堆積物、スメル火山の火山灰を対象とした試験結果、また、野村ら(2003)、西田ら(1996)、佐藤・渡邊(2001)より読み取った値を用いた。なお、火山灰堆積地において浸透能を計測する手法や火山灰の透水係数を計測する手法はいくつか挙げられるが、手法によってばらつきがあることから(田方ら, 2007)、JIS 規格に基づいた透水試験結果を基に検討を進めるものとした。

2. 火山灰物性と透水係数の関係

2.1 粒径と透水係数の関係

まず、粒径と透水係数の関係をみていく。火山灰を対象とした既往文献では、下川・地頭菌(1992)が桜島および有珠山、諸外国の火山における火山灰について中央粒径と浸透能の関係を示し、大正噴火の火山灰の中央粒径から当時の浸透能を推定している。寺本(2005)は桜島の表層火山灰について、簡易散水式浸透能試験を実施して中央粒径との関係を示しており、中央粒径が大きくなるに伴って浸透能が増加する傾向があるとしている。図-1 に 50%粒径(D_{50})と透水係数の関係を示すが、ばらつきがあるものの、粒径が大きくなるほど透水係数が大きくなる傾向が認められる。

2.2 細粒分含有率と透水係数の関係

次に、細粒分含有率(0.075mm 以下)と透水係数の関係

をみる。西田ら(1996)は雲仙普賢岳の火砕流堆積物やガリー内外の試料を用いて、粘土・シルトの割合と透水係数の関係を調べ、粘土・シルトの割合が少ないほど透水係数が大きいことを示している。Hendrayanto ら(1995)は、雲仙と桜島の火山灰を用いて細粒土砂の割合を変化させた試料で浸透試験を実施し、粘土分の含有割合が増加すると最終浸透能や透水係数の値が小さくなることを示している。図-2 に細粒分含有率(シルト・粘土含有率)と透水係数の関

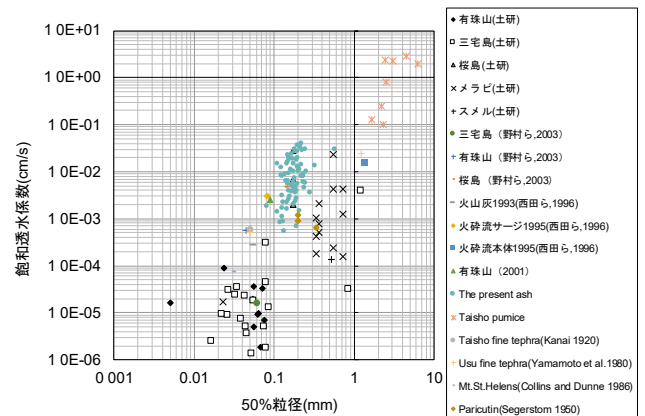


図-1 50%粒径(D_{50})と透水係数の関係

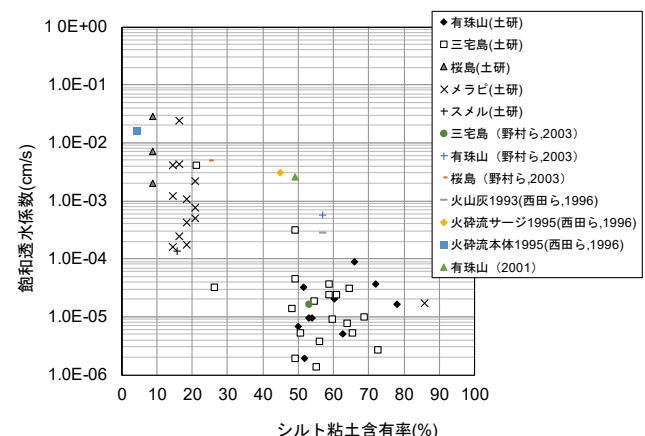


図-2 細粒分含有率と透水係数の関係

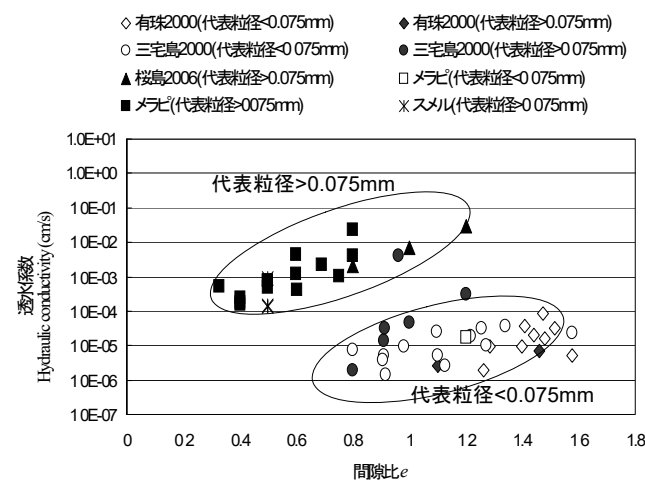


図-3 間隙比と透水係数の関係

係を示すが、ばらつきがあるものの、細粒分含有率が大きくなるほど透水係数が小さくなる傾向が認められ、既往研究と同様の結果が得られた。

2.3 間隙比と透水係数の関係

図-3 に間隙比と透水係数との関係を示す。ここでは、代表粒径 0.075mm (粗粒分と細粒分の境界) を境に整理したが、それぞれのグループで間隙比が大きいほど透水係数が大きくなる傾向がみられる。山内ら(1984)は桜島の火山灰を用いて定水位透水試験を実施し、間隙比と透水係数の関係を調べ、間隙比が大きいほど透水係数が大きくなる傾向があることを示しており、本研究における結果も同様の傾向が認められた。

3. 火山灰物性から透水係数を推定する式の検討

3.1 既往の透水係数推定式による推定値と実測値の比較

上述のように、火山灰の透水係数は粒度構成および間隙比と関係があることが示唆された。これまで土の透水係数を推定する多くの式が提案されているがこれらの式も多くは粒径と間隙率の関数となっている。ここでは、古くから用いられている以下の推定式 (Terzaghi の式) を用いて推定値と実測値の比較を行った。Terzaghi の式は間隙率と粒径の関数となっている。

$$\text{Terzaghi : } k = \frac{C_T}{\mu} \left\{ \frac{n-0.13}{\sqrt[3]{1-n}} \right\}^2 \cdot D_{10}^2 \quad \dots (1)$$

ここで、 k : 透水係数(cm/s), D_{10} : 10%粒径(cm), μ : 水の粘性係数(g/(cm・sec)), n : 間隙率 (%単位での 1/100), C_T : 形状係数である。

Terzaghi の式による推定値と実測値の比較を図-4 に示す。ここでは各推定式の形状係数のうち最も実測値との適合が良かった係数での計算結果を示している。推定式と実測値を比較すると適合性が良い結果となるが、透水係数 10^{-4} cm/s 以下で推定値の方が大きめの値を示す傾向が認められた。

3.2 重回帰分析による検討

上記のように、既往の透水係数を求める推定式(1)式はその式特有の係数を含んでいる。今回は Terzaghi 式でそれぞれ形状係数 $C_k=116$, $C_T=10$ のときに実測値と良く合う結果となったが、この係数は「ゆるい」や「丸みを帯びた」など選定の目安が判然としない。また、火山灰の堆積による流出規模の予測を考える場合、想定される降雨強度特に 10^{-4} cm/s オーダー以下の透水係数の予測精度が重要となるが、Terzaghi 式では 10^{-4} cm/s オーダー以下では推定値が大きめの値を示す傾向がみられた。そこで、目的変数を透水係数 k , 説明変数を間隙比 e , 50%粒径 D_{50} , 30%粒径 D_{30} , 10%粒径 D_{10} , 細粒分含有率 F_c , 均等係数 U_c などの組み合わせを用いて重回帰分析を行った。その結果、30%粒径 D_{30} , 間隙比 e , 均等係数 U_c を変数とした場合で最も高い重相関係数 $R=0.909$ が得られた。これらを変数として求めた推定式による推定値と実測値の比較を図-5 に示すが、1 オーダー程度のばらつきがある事例もあるが、概ね推定値と実測値が良く一致する結果が得られた。ところで、重回帰分析により求めた式の変数のひとつである間隙比 e を求めるには土の湿潤密度試験 (JIS A 1225) を行うが、試料を乱さずに定容積で採取する必要がある。噴火時は十分な厚さで火山灰が堆積している箇所では試料採取ができるとは限らず、間隙比を計測できないことが十分に考えられる。そこで、粒度試験のみで対応できる推定式

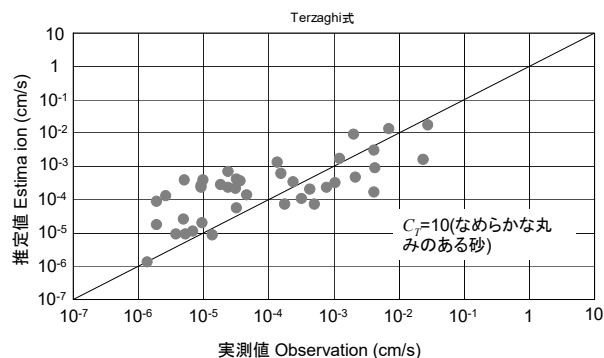


図-4 Terzaghi 式による推定値と実測値

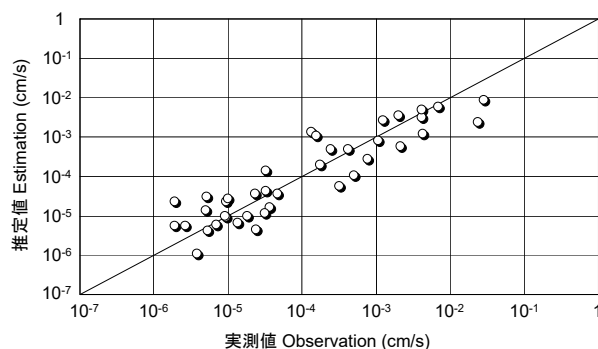


図-5 重回帰式による推定値と実測値

を考える。重回帰分析結果では 30%粒径 D_{30} と均等係数 U_c の組み合わせが最も良いが、火山灰試料によっては非常に細かい粒径を含むことがあるために D_{10} を求めづらく、 $U_c (=D_{60}/D_{10})$ を算定できないことが考えられる。そのため、ここでは火山灰を対象とした場合に物理試験により容易に値が得られると想定される 30%粒径 D_{30} , 50%粒径 D_{50} , 細粒分含有率 F_c をそれぞれ単独の変数とした場合で最も相関性が高い F_c を用いた推定式を考えた。この場合、重相関係数 $R=0.846$ となる。

4. おわりに

火山灰を対象として、透水係数と粒度構成、間隙との関係について検討するとともに、透水係数を求める既往の推定式への適合性を検討した。その結果、火山灰の透水係数は粒径や間隙比との相関が認められた。また、透水係数を推定する既往の推定式に対する適用性を検討した。一方、火山灰の粒度組成や間隙比などを変数とした重回帰分析から、30%粒径、間隙比、均等係数を用いたときに最も高い相関が得られた。既往の推定式やここで検討した推定式は簡単な土質試験結果を基に値を求めることができるため、これらの式を状況に応じて活用することで火山噴火後に迅速かつ簡便に火山灰の浸透性を推定することができ、噴火後の緊急的な対応の一助となることが期待される。

謝辞: 本検討を行うにあたり、土木研究所より試験結果を提供いただいた。また、鹿児島大学地頭菌教授にご助言をいただいた。

【参考文献】池谷(1993):砂防学会誌, Vol.46, No.2 野村ら(2003):砂防学会誌, Vol.55, No.6 西田ら(1996):砂防学会誌, Vol.49, No.1 佐藤・渡邊(2001):北海道開発土木研究所月報, No.581 田方ら(2007):土木技術資料, 49-8 下川・地頭菌(1992):火山体の水循環-関係論文と既往研究レビュー集 寺本(2005):鹿児島大学農学部演習林研究報告, 33 Hendrayanto et al.(1995):水文・水資源学会誌, 第8巻, 第5号