

三宅島の新規細粒火山灰堆積物における雨水浸透過程モデル化の試み

独立行政法人土木研究所 正会員 ○山越 隆雄¹

" " 石田 哲也

八千代エンジニアリング 竹島 秀大

1. はじめに

火山噴火に伴い火山灰のような細粒火砕物が周辺流域に降下・堆積すると、地表の浸透能が低下して降雨時の表面流出が増大し、その結果、泥流（土石流）の頻発を招いたり、泥流発生時にはその規模が増大することが考えられる。そのため、火山灰堆積斜面の土壌水分特性を調べその浸透特性を明らかにすることは、泥流（土石流）の発生およびその規模の予測に資すると考えられる。

本研究では、三宅島の噴火活動により堆積した細粒火山灰堆積物の土壌水分特性を実測し、そのデータに基づいて物理的に雨水浸透過程のモデル化を行い、得られた計算結果と現地流出観測データとの比較を試みたので、ここに報告する。

2. 土壌水分特性試験法

2.1 サンプル採取地、採取方法

2002 年から調査計測を実施している三七沢上流部観測地（火山灰堆積厚 46cm）¹⁾において、火山灰を不攪乱の状態から採取した。採取位置を図 - 1 に示す。

2.2 粒度分析・密度

試料の粒度分布及び密度を土質試験より測定した結果、密度は 2.903g/cm^3 、粒度の構成は粗粒分 60.2%（砂分 56.8%、礫分 3.4%）、細粒分 39.8%となり、土の工学的分類²⁾によれば細粒分質砂（SF）で表される。

2.3 土壌水分特性試験法

図 - 3 に示す実験装置により、サクシジョンの載荷・除荷による間隙水を測定し、飽和度(Sr)とサクシジョン(ψ)の関係を求めた³⁾（本試験では、サクシジョンの載荷が排水過程、除荷が吸引過程に該当する）。

サクシジョンは、間隙空気圧と間隙水圧の差として定義されている。試験条件は、堆積火山灰が表層からサンプリングしたものであることから拘束圧を 9.8kN/m^2 とした。また、サクシジョンの載荷・除荷は $0 \sim 78.5\text{kN/m}^2$ 間の 17 段階とした。

試験手順は、サンプル試料からトリミング法により供試体（直径 5cm × 高さ 10cm）を成形し、三軸室にセット後、初期サクシジョンを測定してサクシジョンの載荷・除荷を行った。結果は図 - 4 の土壌水分特性曲線の実測値として示した。

3. 土壌水分特性曲線のモデル化

3.1 土壌水分特性曲線のモデル

一般に土壌水分特性曲線は非線形を示し、これを表現するため多くの関数モデルが提案されているが、本研究では西垣らの研究⁴⁾により多くの土壌で適用性が確認されている van-Genuchten のモデルを用いてモデル化を試みた。van - Genuchten 式は以下の式で表される⁴⁾。

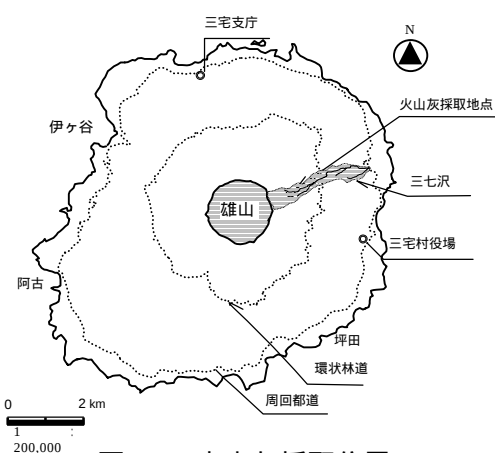


図 - 1 火山灰採取位置

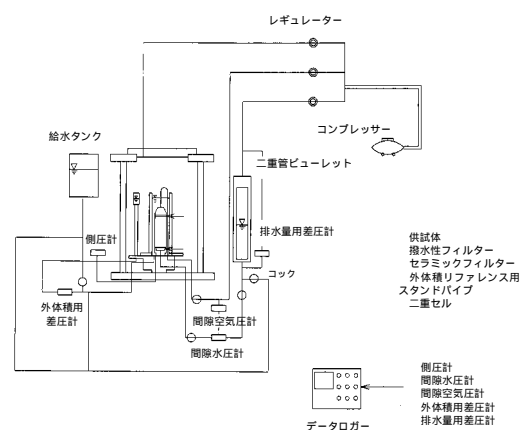


図 - 2 試験装置模式図

キーワード 三宅島，火山灰，土壌水分特性曲線，不飽和浸透流解析

1 連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ

TEL 029-879-6785 FAX 029-879-6729 email yamakosi@pwri.go.jp

$$Se = \left(\frac{1}{1 + (\alpha \cdot \psi)^n} \right)^{1-1/n} \quad kr = Se^{1/2} (1 - (1 - Se^{1/m}))^2$$

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad m = 1 - \frac{1}{n}$$

ここに、 Se ：有効飽和度、 ψ ：サクション値(cm)、 α 、 n ：パラメータ、 θ ：ある時点での体積含水率(cm^3/cm^3)、 θ_s ：飽和体積含水率(cm^3/cm^3)、 θ_r ：最小水分容量(cm^3/cm^3)、 kr ：不飽和透水係数(cm/sec)である。 θ_s 、 θ_r は実験結果よりそれぞれ 0.491、0.281 とした。

3.2 モデル適用結果

得られた α 、 n をもとに van-Genuchten モデルを用いて得た土壌水分特性曲線 ($\theta - \psi$) を図 - 3 に示した。杉井らの方法によってフィッティングした結果は、概ね試験結果を再現しているといえる。

4. 実降雨を用いた火山灰堆積斜面での浸透能の変化

火山灰を採取した箇所の近傍では、雨量観測を実施している(30秒間隔)。ここで、観測より得られた雨量データと上記モデル化により得られた土壌水分特性を用いて一次元不飽和浸透流解析を実施した（なお、土壌水分特性モデルはヒステリシスを考慮せず吸水過程のパラメータを用いた）。

一次元不飽和浸透流解析の基礎式は以下に示す Richards の式により表される。

$$C(\theta) \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \{ K(\theta) \cdot \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \}$$

ここに、 θ ：体積含水率(cm^3/cm^3)、 $C(\theta)$ ：比水分容量($=\partial \theta / \partial \psi$)、 t ：時間(sec)、 ψ ：サクション、 $K(\theta)$ ：不飽和透水係数、 z ：鉛直方向深さ(cm)である。一例として降雨データ：2002 年 9 月 7 日 4 時～7 時の実降雨、火山灰の飽和透水係数： 10^{-4} cm/s （噴火後に採取した現地試料で試験した結果）と仮定して解析を行い、（降雨強度） - （解析の結果算出された土壌の浸透能）を、土壌に浸透できなかった単位時間当たり水量（以下、浸透余剰水高とする）として図 - 4 に示した。このデータが得られた観測斜面の斜面長は 13m と非常に短いため、ここでは、流下過程を無視できるものとして観測流出高と浸透余剰水高を直接比較している。

この図によると、5:00 前後の降雨、および 6:00 前頃からの継続的な降雨の初期では、浸透余剰水高の発生は確認されず、実際の流出の開始とほぼ同じ時間に発生が確認されることから、初期段階の降雨が土壌に浸透し表面流出が発生しない状況が再現できたと考えられる。また、解析の結果算出された土壌に浸透せず流出した水の総量は 28.8mm となり、実測値の総流出量は 28.1mm とほぼ一致した。

5. まとめ

本研究の結果をまとめると以下の通りである。土壌水分特性曲線として Van Genuchten モデルを適用し、概ね試験結果を再現することが出来た。本研究により得られたパラメータは、 $\theta_s = 0.491$ 、 $\theta_r = 0.281$ 、 $\alpha = 0.1827$ (排水過程)0.1835(吸水過程)、 $n = 1.43$ (排水過程)1.6(吸水過程)であった。得られた土壌水分特性を基に一次元不飽和浸透流解析を行い、火山灰堆積斜面における表面流出の変化が確認出来た。

今後は、本研究によって検討した土壌水分特性モデルを用いて流出解析を行い、観測された流出結果と比較してモデルの妥当性を検討していく予定である。

参考文献 1)山越隆雄,土井康弘:2002 年三宅島における現地降雨流出観測結果,土木技術資料,44-12,pp2-3,2002 2)(社)地盤工学会:第 4 編地盤材料の工学的分類,土質試験の方法と解説-第 1 回改訂版-,pp213-329,2000 3)笹原克夫,海老原和重:不飽和砂質土の強度特性とそれに基づく急勾配斜面崩壊機構に関する研究,砂防学会誌,Vol.50,No.2,pp.5-13,1997 4)西垣誠,楠見和紀:不飽和土の浸透特性の評価に関する考察,不飽和土の工学的性質研究の現状シンポジウム発表論文集,pp179-186,1987 5)杉井俊夫,宇野尚雄:新しい土壌水分特性曲線のモデル化について,土木学会第 50 回年次学術講演会,pp.131-132,1995

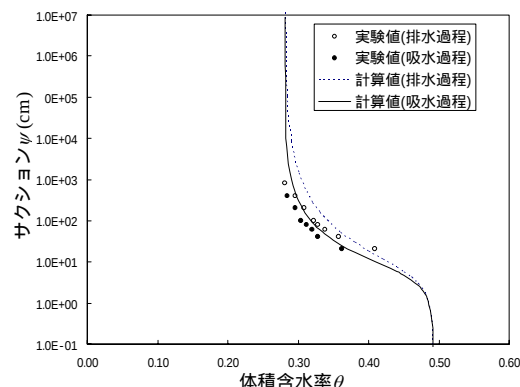


図 - 3 土壌水分特性曲線 ($\theta - \psi$)

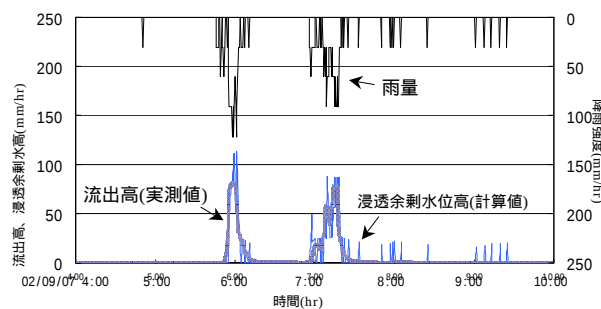


図 - 4 計算結果と観測結果の比較

(注：雨量は流出量との比較のため 30 秒雨量を 1 時間降雨強度に変換して示した)