

独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ ○竹島秀大、石田哲也、山越隆雄、渡正昭

1. はじめに

火山噴火に伴い火山灰のような細粒火碎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壤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の雨水浸透特性をモデル化することを目的として、土壤水分特性試験結果を土壤水分特性曲線モデルに適用することを試みたので、ここに報告する。

2. 土壤水分特性試験法

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で地表から採取した。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/cm³、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 土壤水分特性試験法

図-2に示す不飽和三軸実験装置により、サクションの載荷・除荷による間隙水を測定し、飽和度（Sr）とサクション（ψ）の関係を求めた³⁾（本試験では、サクシ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/m²とした。また、サクションの載荷・除荷は0～78.5kN/m²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、初期サクションを測定してサクションの載荷・除荷を行った。結果は図-3の土壤水分特性曲線の実験値として示した。

3. 土壤水分特性曲線のモデル化

3.1 土壤水分特性曲線のモデル

一般に土壤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⁾により多くの土壤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⁾。

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

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

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(cm³/cm³)、θ_s：飽和体積含水率(cm³/cm³)、θ_r：最小水分容量(cm³/cm³)、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。

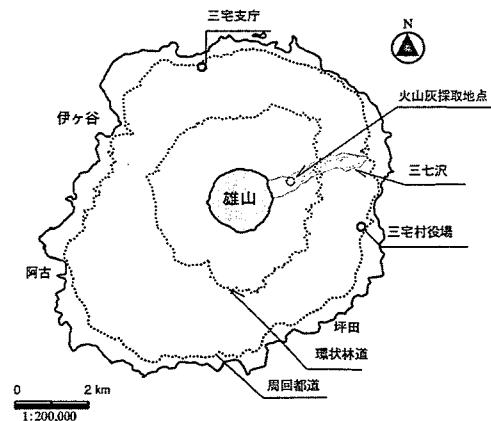


図-1 火山灰採取位置

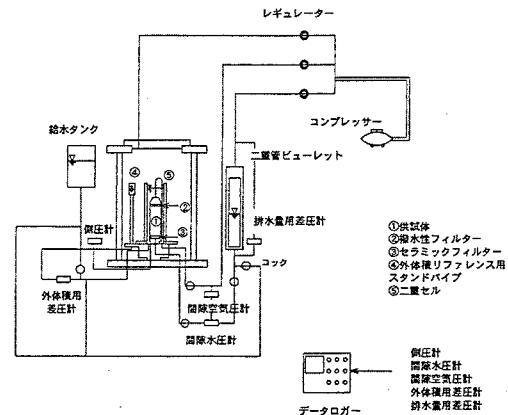


図-2 試験装置模式図

パラメータ α 、 n を決定する際、グラフ等により主観的に決定する場合が多いが、本研究では杉井らの提案するロジスティック曲線を応用した方法⁵⁾を用いて回帰分析により α 、 n を決定した。その結果、排水過程では $\alpha = 0.1827$ 、 $n = 1.43$ 、吸水過程では $\alpha = 0.1835$ 、 $n = 1.6$ の値を得た。

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壤水分特性曲線 ($\theta - \psi$) 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. 森林土壤等の土壤水分特性曲線との比較

試験結果より得られた土壤水分特性と森林土壤等の土壤水分特性との比較を行った。図-4 は、小杉の研究⁶⁾により得られた森林土壤、ローム質土壤、砂質土壤の典型的な土壤水分特性曲線を描いたものに本研究で得た実測値を重ね合わせたものである。グラフでは本研究の実測値 (○印；不攪乱試料) のほか、攪乱した三宅島火山灰の実測値 (△印；2001 年に実施した不飽和三軸試験結果より) もあわせて重ね合わせた。各グラフの●点は体積含水率 θ が飽和体積含水率 θ_s より小さくなり始める値 (限界毛管水頭 (ψ_c))、+ 点はグラフの変曲点である。一般に土壤の最大孔隙径が大きいほど ψ_c が大きく、孔隙径分布の幅が大きいほど圧力水頭の低下に伴う含水率の減少が緩やかとなる傾向をもつ⁶⁾。森林土壤は非常に大きな孔隙をもつため ψ_c が大きく、孔隙径分布の幅が大きいため $\psi < -30\text{cmH}_2\text{O}$ の範囲でも圧力水頭の低下に伴い含水率は減少し続ける特徴がある。また、ローム質土壤では最大孔隙径は小さいが孔隙分布の幅が大きいため ψ_c は小さく、含水率は ψ の減少に伴い緩やかに減少する。

グラフより判断すると、攪乱された三宅島の火山灰土壤は ψ_c は $-50\sim80\text{cmH}_2\text{O}$ 程度と考えられ、含水率は ψ の減少に伴い緩やかに減少することから、最大孔隙径は小さく孔隙分布の幅は大きいと予想される。一方、不攪乱の三宅島火山灰試料については、 $\psi < -60\sim70\text{cmH}_2\text{O}$ の範囲で含水率が ψ の減少に伴い緩やかに減少することから、孔隙分布の幅が大きいと考えられる。 ψ_c については、実測値より推定することはやや困難であるが、実測値最大値である $-20\sim30\text{cmH}_2\text{O}$ よりも ψ_c は大きいことが予想され、最大孔隙径が大きい可能性が示唆される。

5. まとめ

本研究の結果をまとめると以下の通りである。

- ①2000 年に噴火した三宅島・三七沢中流部で採取した火山灰は土粒子密度 2.903g/cm^3 で粒度分布試験結果より細粒分質砂に分類された。
- ②土壤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。
- ③②で得られた土壤水分特性曲線を森林土壤等の土壤水分特性曲線と比較した結果、三宅島の火山灰は孔隙分布の幅が大きく、大きな孔隙が存在する可能性が示唆された。

今後は、本研究によって検討した土壤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):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,p.2-3 2)(社)地盤工学会(2000):土質試験の方法と解説－第 1 回改訂版－,p.213-329 3)笹原克夫,海老原和重(1997):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,p.5-13 4)西垣試,楠見和紀(1987):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,p.179-186 5)杉井俊夫,宇野尚雄(1995):新しい土壤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,p.131-132,1995 6)小杉賢一朗(1996):土壤の水分特性の測定とそのモデル化,水文地形学,古今書院,p.34-43

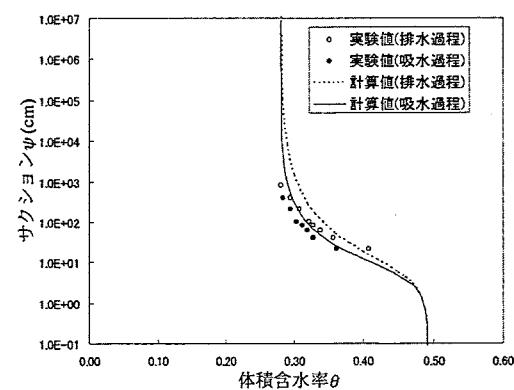


図-3 土壤水分特性曲線 ($\theta - \psi$)

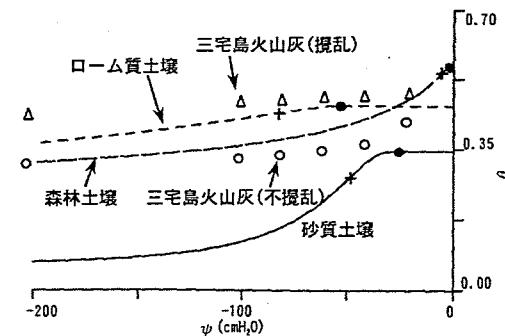


図-4 土壤水分特性曲線の比較