九州大学大学院 学 〇三根 達也 九州大学大学院 正 安福 規之 正 石藏 良平

#### 1. はじめに

一般に、土の保水性を示す指標として、水分特性曲線が用いられている.水分特性曲線は、負圧で定義される マトリックサクションと体積基準の含水率または飽和度の関係として表現され、湿潤または乾燥試料に全圧(加 圧・吸引)を作用させ、それに応じた排水または吸水量を測定することによって得ることが出来る.しかし、土の 種類や与える全圧によっては、排水量や吸水量が平衡するまでに非常に長い時間を要する場合がある.このよう な状況から、粒度分布などの土の物理化学的特性を手がかりにして、簡便かつ迅速に水分特性曲線を評価する取 り組みが盛んに行われてきた.本文では、水銀圧入試験結果を基に水分特性曲線を評価する手法を整理すると共 に、間隙特性が異なる4種類の試料(表1)に対して本手法を適用し、そこから得られた知見をまとめた.

### 2. 水銀圧入試験の概要

水銀圧入試験による間隙径の測定は,接触角が90度 以上の水銀は,表面張力のために自分自身では間隙内 へ入って行けないという性質を利用したものである. この性質を利用して,土の間隙に水銀を圧入する際の 圧力と水銀の表面張力との釣合から誘導した関係式 (1)より間隙径を算出できる<sup>1)</sup>.なお,本実験で用いた ポロシメータ装置の測定可能な間隙径範囲は, 0.0055~360 µm である.また,各間隙径に対する間隙体 積は,各圧力段階(各間隙径)で試料に注入された水 銀量から求められる.水銀圧入試験では,保水性試験 後の供試体の一部をなるべく密度を崩さないようにト リミングしたものを供試体として用いた.

$$u_m - u_a = -\frac{4T_{sm}}{d} \cos \alpha_m \tag{1}$$

ここで、 $u_m$  は水銀の圧力、 $u_a$  は空気の圧力、 $T_{sm}$  は水銀の表面張力、d は間隙径、 $a_m$  は水銀と試料の接触角であり、 $T_{sm}$  = 485 mN/m、 $a_m$ = 130° とした.

#### 3. 水銀圧入試験結果を用いた水分特性曲線の推定

表1 用いた試料

試料	粒径 (mm)	備考
① 硅砂7号	0.053~0.42	
② カオリン粘土	0.0014~0.045	
③ ゼオライト	1.0~1.4	粒子自身に空隙を内包
④ 珪藻土 (粒状)	0.42~1.2	粒子自身に空隙を内包





図2 水銀圧入試験での間隙空気・水銀の挙動

保水性試験と水銀圧入試験には、互いに類似している点が多くある.ここで、保水性試験(乾燥過程)を考える と、試験前の間隙は水で満たされていて、試験過程で間隙は徐々に空気で満たされていく(図1).一方、水銀圧 入試験を考えると、試験前の間隙は空気で満たされていて、試験過程で間隙は徐々に水銀で満たされていく(図 2). それぞれの試験において、各々の流体の接触角を考慮すると、保水性試験では、水は親水性流体(接触角が 90度以下)、空気は撥水性流体(接触角が 90度以上)とみなすことができる(図1).一方で、水銀圧入試験では、 空気は親水性流体、水銀は撥水性流体とみなすことができる(図2).したがって、間隙内の流体の変化に着目す ると、初めは親水性流体で満たされていた間隙が、徐々に撥水性流体で満たされていくということが両試験にお いていえる.保水性試験の結果と水銀圧入試験の結果を比較するためには、水銀圧入試験において、水銀(撥水性 流体)の量を空気(親水性流体)の量に変換する必要がある.つまり、空気と水銀の境界面の圧力差 $u_m - u_a$ と体積 基準の空気率  $\theta_a$ の関係(ここでは SACC と呼ぶ)で整理することで、サクション $u_a - u_w$ と体積含水率 $\theta_w$ の関係



(SWCC) を表現できる<sup>2)</sup>.

## 4. 結果と考察

図 3~6 に遠心法による保水性試験から得られた水分特性曲線と水銀圧入試験結果から推定した水分特性曲線の 比較を示す.ここで,赤色のプロットは保水性試験から得られた水分特性曲線 (SWCC) を示しており,横軸がサ クション u<sub>a</sub>-u<sub>w</sub>,縦軸が体積含水率θ<sub>w</sub>に対応している.また,青色のプロットは,水銀圧入試験結果から推定し た水分特性曲線 (SACC) を示しており、横軸が $u_m - u_a$ 、縦軸が体積空気率 $\theta_a$ に対応している. さらに、推定に用 いた間隙径分布を緑色のプロットで示している.なお、横軸は間隙径 d (mm) に、縦軸は試料の単位乾燥質量当た りの間隙体積 (ml/gram) に対応する. 試料①, ②の SWCC と SACC は, ほとんど一致しなかった (図 3~4).主 な要因としては、両試験における初期密度の違いが挙げられる. 前述のように、水銀圧入試験の供試体は保水性 試験後の供試体の一部をトリミングしたものであり,砂質土である試料①は粘着力が少なく,土塊として骨格構 造を保った状態でのトリミングが困難であった.したがって、水銀圧入試験の供試体の密度は、保水性試験の供 試体の密度よりも緩いものであったと言える.また,粘性土である試料②は,遠心法による保水性試験で体積変 化を大きく生じており、その一部をトリミングした水銀圧入試験の供試体の密度は、保水性試験の供試体の密度 より密なものであったと言える. 試料③, ④の SWCC と SACC は, 概ね良好な結果を示した (図 5~6). 試料③, ④は、本ポロシメータ装置の測定可能範囲の上限 (0.36 mm) を粒子径自体が超えていることから、それらの間隙 径分布は、粒子同士の間隙は測定できておらず、粒子自身の間隙のみを表していると考えられる. 粒子自身の間 隙の状態 (径や体積) は、両試験における試験上の影響 (供試体の初期密度、遠心法の体積変化) を受けないこと から、上手く間隙径分布を表現でき、試料③、④の SWCC と SACC は、概ね良好な結果を示したと考えられる.

# 5. まとめ

本文では、水銀圧入試験結果を基に水分特性曲線を評価する手法を整理し、検討した.その結果、水銀圧入試 験において正確な間隙径分布を測定できれば、本手法を用いて水分特性曲線の基本的傾向を概ね良好に表現でき る可能性が示唆された.今後は、銅製の筒に試料を詰め、筒ごと測定する方法<sup>33</sup>などの土骨格構造を保持した状態 での水銀圧入試験を行うことで、本手法の精度向上や検討を行っていきたい.

謝辞:本研究の一部は科研・基礎科研 A (No. 22246064 代表者:安福規之)の支援を得て行われたものである. ここに感謝の意を表します. 参考文献:1) Washburn, E.W.: Note on a Method of Determining the Distribution of Pore Size in a Porous Material, Proceedings, National Academy of Sciences, Vol.7, pp.115~116, 1921. 2)K. K. AUNG, H. RAHARDJO, E. C. LEONG & D. G. TOLL.: Relationship between porosimetry measurement and soil-water characteristic curve for unsaturated residual soil, Geotechnical and Geological Engineering Vol.19, pp.401~416,2001. 3) 佐藤健ら:水銀圧入式 ポロシメータによる粒状材料の間隙径分布の測定,土木学会論文集,第445回,Ⅲ-18, pp.139~142, 1992.