

山口大学大学院 学生会員 ○ 西生 賢司  
 山口大学大学院 正会員 吉本 憲正 兵動 正幸  
 中田 幸男

### 1.はじめに

不飽和地盤の土中の水の動態について検討する場合には、土中の水分量だけでは土の性質を的確に表現できず、水分量に加え、土中水のマトリックポテンシャルも考慮に入れる必要がある。したがって、不飽和地盤の浸透特性を把握するには、水分特性曲線の取得が重要であると考えられる。著者らは、土粒子の水分量による画像の輝度の違いに着目し、色を形成する輝度値を用いて数値化することにより、飽和度の測定法を提案している<sup>1)</sup>。本研究では、それを用いて、鉛直浸透実験中の画像変化から飽和度を測定し、飽和度と同じ位置でのマトリックポテンシャルを測定することで、水分特性曲線を取得することを目的とした。

### 2.試験概要

実験に用いた鉛直浸透実験装置を図-1 に示す。この鉛直浸透実験装置を用いて飽和度と輝度値の関係を取得する。本実験は、光の影響を大きく受けるため、この実験はカメラやライトの位置を適切に調整し、暗室状態のもと行った。鉛直浸透実験用の土槽は、幅 100mm×高さ 700mm×奥行き 50mm であり、撮影面とその反対側は透明の亚克力ボードで構成されている。テンシオメータは側面から差し込む形で下から 100mm 間隔で設置可能である。テンシオメータは、直径 5.9mm、長さ 86mm であり、土槽の中心部分のマトリックポテンシャルが測定できる。空気侵入値は AEV=50kPa である。カメラは、最大で 4 台カメラスタンドに設置することが可能で、位置は下から順に No.1~No.6 である。全てのカメラで同時に撮影することで土槽全体の画像を取得することができる。カメラは、一般の店で入手可能な普通のデジタルカメラ (PENTAX K10D) を撮影に用いた。本研究では、カメラの設定条件の違いによる撮影画像に変化が生じることがないように、シャッタースピードなどの設定を次のように固定した。シャッタースピード：Tv=1/30sec、絞り値：Av=6.7、画像分解能 3872×2592pixel、カメラの有効画素数は、約 1000 万 pixel である。供試体とカメラレンズの距離は 180mm である。実験手順は、まず、土槽に所定の密度 (0%、30%、100%) と飽和度を調整した試料を入れ、カメラで撮影する。それを画像解析によって輝度値を数値化し、飽和度へ変換するキャリブレーションカーブを取得する。このとき、切り取る画像の大きさは 200×200pixel とする。これは実寸画像サイズで約 1×1cm である。取得後、鉛直浸透実験土槽内に高さ 250mm で、初期飽和度の条件を満足するよう砂と水を必要量準備した。供試体は、乾燥試料と水を所定の含水比となるよう混ぜ合わせ、約 10 層にわけてランマーで突き固めて、所定の密度を満足するように作成している。テンシオメータは突き固める途中に十分に飽和させた状態で供試体に挿入する。作成後、土槽下部から一定流量 (豊浦砂：10cm<sup>3</sup>/min、鳥取シルト：5cm<sup>3</sup>/min) で流入させ、飽和度の変化を調べる。画像解析から得られた飽和度と、テンシオメータから得られた圧力水頭より、水分特性曲線を取得する。

### 3.実験の結果及び考察

今回用いた試料は豊浦砂と鳥取シルトである。試料の物性値を表-1、粒径加積曲線を図-2 に示す。テンシオメータの位置付近を撮影場所とし

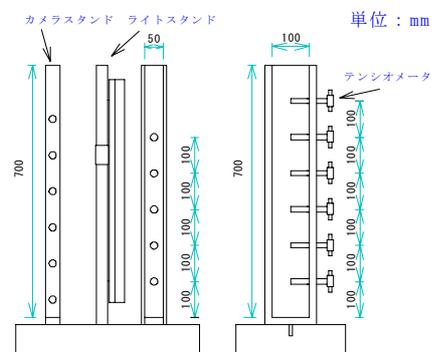


図-1. 鉛直浸透試験機概略図

表-1.試料の物性値

	G <sub>s</sub>	e	ρ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
豊浦砂	2.65	0.77	1.50
鳥取シルト	2.67	1.32	1.15

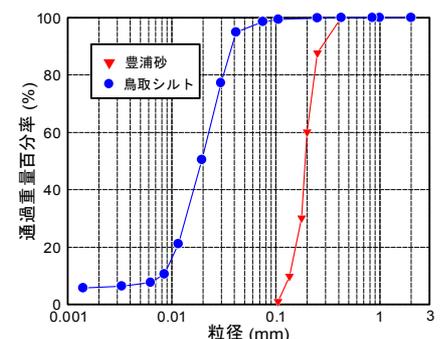


図-2. 粒径加積曲線

て、それぞれの輝度値曲線を作成した。その結果を図-3 に示す。図中の曲線は、飽和度と輝度値の関係を近似して得られたものであり、次式によって表現される<sup>2)</sup>。

$$S_r = \frac{a + b \times RGB}{c + RGB} \quad \dots (1)$$

ここで、 $S_r$  は飽和度、 $RGB$  は画像の輝度値で、 $a, b, c$  は材料定数である。式中のパラメータを表-2 に示す。ここで求められたパラメータは、試料によって値が異なる。これは今回の実験条件においてのみ決定される値であり、撮影環境が変わると値は変化するため、注意が必要である。

次に、ここで得られた輝度値曲線を用い、鉛直浸透実験を行った。図-4 はテンシオメータ配置付近の飽和度の経時変化を示す。図より高飽和域で飽和度がばらつくのは、図-3 の輝度値曲線より豊浦砂のほうが高飽和域での輝度値の範囲が狭いことに起因していると考えられる。そのため、特に豊浦砂において、高飽和域でのバラツキが大きい。この結果とテンシオメータから圧力水頭を求め、水分特性曲線を作成した。図-5、図-6 に豊浦砂及び鳥取シルトの結果を示す。図-5 の水分特性曲線は既往の研究データから作成したものである<sup>3)</sup>。図-6 の水分特性曲線は、定常法の一つである加圧板法を用いて作成したものである。このとき用いたメンブレン・ディスク・フィルターの性能は、

AVE 値=90kPa、孔径=0.45 $\mu$ m、厚さ=140 $\mu$ m のものを用いた。図より、豊浦砂、鳥取シルトの両方とも中飽和域（飽和度にして約 30%～60%間）において、水分特性曲線とほぼ同様の挙動をとることがわかった。高飽和域で一致しなかったのは、流入速度が早かったため、テンシオメータの応答が遅れたからであると考えられる。

#### 4.まとめ

本方法は豊浦砂、鳥取シルト両方とも中飽和域において、加圧法によって求められた水分特性曲線とほぼ同様の水分特性曲線を推定することができた。また、種々の異なる砂質土でも、この方法で水分特性曲線を取得可能であることがわかった。しかし、高飽和域においては加圧版と若干異なる挙動を示すので今後、高飽和域での水分特性曲線を取得することが課題である。

#### 参考文献

1)有井秀隆,吉本憲正,Roland Orense,兵動正幸,中田幸男,吉川直孝：画像解析による地盤の飽和度測定法の開発,地盤工学会第 42 回地盤工学発表会,pp.1057-1058, 2007.2)吉本憲正,兵動正幸,中田幸男,西生賢司：画像解析による地盤内飽和度測定方法の改良とその適用,地盤工学会第 43 回地盤工学発表会,pp.1057-1058, 2008.3)河野伊一郎,西垣誠：不飽和砂質土の浸透特性に関する実験的研究,土木学会論文報告集,第 307 号,pp59～69,1981.

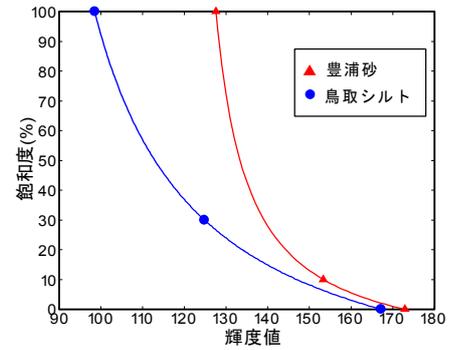


図-3. 輝度値と飽和度の関係

表-2 パラメータ

試料	豊浦砂	鳥取シルト
a	2965.85	6054.5237
b	-17.15	-36.2201
c	-119.80	-73.65816

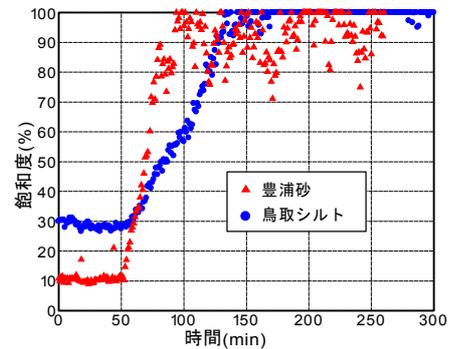


図-4. 飽和度の経時変化

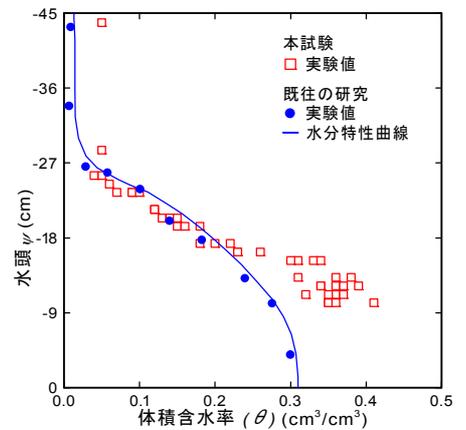


図-5.水分特性曲線（豊浦砂）

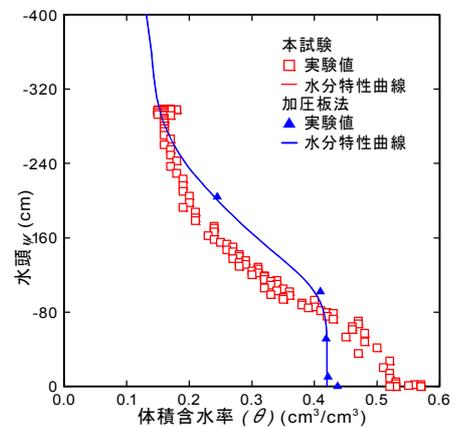


図-6.水分特性曲線（鳥取シルト）