山口大学大学院 学生会員 〇西生賢司 山口大学大学院 正会員 吉本憲正 中田幸男 兵動正幸 山口大学大学院 学生会員 有井隆秀

1. はじめに

従来、飽和度の測定方法は、室内の模型実験や現場計測において直接時間領域(TDR)あるいは振幅領域反射光測 定(ADR)¹¹原理などに基づく土壌水分センサを用いて直接測定される。間接的には、高い空気侵入値を有するセラ ミックディスクを使用したテンシオメータ¹¹により計測されたマトリックポテンシャルを基に土壌水分特性曲線 から求められる。しかし、これらの方法は、詳細な飽和度データを取るため測定間隔を小さくする必要があるが、 実用的目的においては法外な費用を要することやセンサの存在が飽和度測定に影響を与える可能性が生じる。著 者らはそれらの問題点を改善する方法として、土壌の水分量によって土壌の色が変化することに着目し、デジタ ル画像を解析することによる飽和度測定法を提案した²⁰。提案の方法では色の変化を鮮明にするために着色水を使 用していたが、本研究では、無色透明の水道水を使用し、種々その砂質土に対して、適用性の検討を行った。ま た、同手法を鉛直浸透実験に適用し、その浸透中の飽和度の変化について調査した。

2. 実験方法

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は、鉛直浸透実験と飽和度と輝度値の関係を取得するキャリブレーションが同一の撮影条件で実験が出来るように作製している。輝度値とは、B(青)G(緑)R(赤)という色の三原色を数値化したものである。輝度値は0~255までの値をとり、画像が明るくなるほど高い値を示し、暗くなるほど低い値を示す。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アクリルボードで構成されている。土槽の下部にコックを設けており、下部からの水・空気の排水排気条件を変えることができる。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6台カメラスタンドに設置することができる。キャリブレーション用ケースは、幅100mm×高さ20mm×奥行き20mmであり、カメラと同じ高さに設置可能である。カメラは、一般の店で入手可能な普通のデジタルカメラ(Canon Power Shots60)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=1/20sec、絞り値:Av=4.5、画像分解能 2592 ×1944pixel、カメラの有効画素数は、約 500 万 pixel で ある。供試体とカメラレンズの距離は 115mm である。

実験手順は、キャリブレーション用ケースに密度と飽 和度を調整した試料を入れ、カメラで輝度値と飽和度の 関係を取得する。キャリブレーション終了後、キャリブ レーション用ケースのスタンドを固定台から取り外し、 鉛直浸透実験用の土槽を取り付ける。本研究では、鉛直 浸透実験土槽内に高さ 600mm で、初期飽和度 *S*,=10%の 条件を満足するよう豊浦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(初期飽和度 S,=10%)となるよう混ぜ合わせ、20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。撮影の時間間隔は、30sec 間隔とした。すべてのセットが完 了後、十分に飽和させたテンシオメータを供試体に挿入する。挿入後直ちに水を定水位で上部より流入させ、実 験中は定水位を保持している。実験は、乾燥密度、初期飽和度は上述したとおりである。定水位 h=2cm で、下部 の境界を排気排水条件としたものと、非排気非排水(コックを閉じる)条件としたものを実施した。

3. キャリブレーション試験の結果および考察

今回用いた試料は、豊浦砂、鳥取シルト、姶良シラスである。表-1に各試料の物性値を示す。図-2に粒径加積 曲線を示す。これらより、鳥取シルトは豊浦砂と比較して粒径が小さい。姶良しらすは豊浦砂と比較して粒径が 大きく、粒度分布が良い。土粒子は個々が異なる色を有し、画像のサイズが小さいと、含まれる粒子の色や大き さによって大きな影響を受ける可能性がある。よって、画像サイズと輝度値の関係について検討した。画像サイ

鳥取シル

G

2.67

246

ズとその平均輝度値の関係を図-3 に示す。図より、 いずれの試料においても、画像サイズが小さいと平 均輝度値にばらつきがあることから土粒子個々の色 の影響を受けていることが考えられる。しかし、い

表-1 試料の物性値

0.70

1.32

1.05

100

80

60

40 喣 ME

20

210 200

190

180 _____170, 理

<u>前</u>160

虹 150 虹 ¥ 計¹⁴⁰

130

120

110

100<mark>L</mark>

20 40

0.001

(%)

褂 百分

ax 0.97

2.13

1 76

● 鳥取シルト

■ 姶良シラス

ITH

0.01

60 80

0.1 粒径 (mm)

図-2 粒径加積曲線

0 豊浦砂

Δ

100 120 140 160

pixel数 (画像サイズ)

鳥取シルト

姶良シラス

180 200

豊浦砂

Dr(%)

1.12

0 87

80.0

80.00

80.00

 $\rho_{\rm d}$ (g/cm

1 5 5

1.06

1 10

ずれの試料においても 80pixel を超えた辺りから平均輝度値は、ほぼ一 定の値を取り、土粒子個々の色の影響はほとんど表れていないと考えら れる。今回の撮影距離において、200×200pixelの画像サイズがほぼ1 ×1cm であること、そして、先の検討結果を踏まえて、この画像サイ ズで輝度値を平均し、平均輝度値をその画像の代表値とすることとした。 図-4 に各試料における 200×200pixel の画像中の 1pixel ごとの輝度値 の標本分布を示す。これより、豊浦砂は他に比べ、標準偏差が大きく粒 子個々のばらつきが大きいことがわかる。前述で決めた画像サイズを用 いると、キャリブレーション用ケースから6枚の画像が取れる。それを 平均化し、飽和度と平均輝度値の関係を図-5 に示す。図中の曲線は、 飽和度と平均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。

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

ここで、S_r は飽和度、RGB は平均輝度値であり、a, b, c は材料定数で ある。これら材料定数を表-2に示す。ここで求められた材料定数は、 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。図-2 に示されるように本研究で用いた試料の粒径は、砂 からシルトと幅広いものであり、図-4 に示されるように粒子個々の色も さまざまでその幅も広いものであるが、いずれの試料においても平均輝度 値と飽和度の関係が求められ、画像による飽和度の測定が可能になると考 えられる。

4. 鉛直浸透実験の結果および考察

鉛直浸透実験による排気排水条件、非排気非排水条件での飽和度のコン ター図を図-6,7 に示す。このコンター図は予備実験より特徴的な現象が 捉えられることから排気排水条件は、土槽の下部 15cm~45cm(No.2~ No.4)の範囲の撮影画像を飽和度分布に変換している。非排気非排水条件 は土槽の下部 5cm~35cm (No.1~No.3)の範囲の撮影画像を飽和度分布に 変換している。図-6 より、排気排水条件では時間の経過と共に上部から

下部へと飽和度が高くなっていることがわかる。一方 で、図-7に示される非排気非排水条件では同様の挙動 が見られず、両端付近の飽和度が低くなっている箇所 が見られる。これは上からの浸透に対する空気の排気 経路ではないかと考えられる。また、1890sec 以降ほ とんど上部からの水の浸透がなくなった。これは、空 気圧、マトリックポテンシャル、などの圧力が平衡状 態に達しているためと考えられる。この現象は、空気 圧を考慮した不飽和の浸透流解析においても同様の現 象が表現されている³⁾。これらより、下部の飽和度の 低い箇所には、空気が閉塞されていることがわかる。 供試体中のテンシオメータからも飽和度変化を捉え、 供試体表面と内部の浸透挙動を比較した。図-8は排気 排水条件での撮影画像とテンシオメータの飽和度の経 時変化を示す。図より、両者において、多少のばらつ きはあるもののほぼ同程度の値を示している。これよ り、供試体表面と中心部分という違いがあるものの、 両者ともほぼ、一次元的に浸透していることがわかる。

5. まとめ

本研究では無色透明の水道水の使用について検討を行った。その結果、無 着色水においても、実用上問題ないレベルで測定が可能なことがわかった。 また、試料によって粒子の大きさや色のばらつきが異なるが種々の砂質土に 対して、適用可能であることがわかった。これらより、この測定法の適用範 囲が広がったといえる。同手法を鉛直浸透実験に適用し、排気排水条件や非 排気非排水条件の違いによる浸透挙動の違いを明らかにすることができた。 参考文献 1)地盤工学会編:不飽和地盤の挙動と評価, pp. 11-35, 2004. 2)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, 2007.3) 丸岡雄一郎, 吉本憲正, 中田幸男, 兵動正幸, 有井秀隆: 不飽和地盤における空気と水の二相流の評価, 地盤と建設, Vol. 24, No. 1, pp. 69-79, 2006.







図-8 飽和度の経時変化