

MRI を用いた不飽和土の鉛直浸透挙動に関する一考察

山梨大学 学生会員 ○荒木 大輝
 山梨大学大学院 正会員 荒木 功平
 山梨大学大学院 非会員 舛谷 敬一
 山梨大学医学部附属病院 非会員 熊谷 博司、坂本 肇、大西 洋

1. 背景と目的

普段私たちが目にしている土は不飽和状態である。不飽和土中の水が取り得るサクシジョンの範囲は広く、土質だけでなく含水比によっても推移する。そのため、統一的に不飽和透水特性（不飽和透水係数など）を明らかにする方法はいまだ確立されておらず、複数の試験方法を組み合わせる必要があるのが現状である。さらに、高度な技術・高額な試験装置が必要である。また、模型装置内の浸透挙動（時間～距離～土中水分関係）をシミュレーションするには高度な解析技術とともに、土中水分計など多くの装置を必要とし、技術的ハードルは極めて高い。

本研究では、MRI（核磁気共鳴画像法）を用いて不飽和土中の浸透挙動の可視化を行う。特に、層構成地盤を作製し、層境界付近の浸透挙動を明らかにする。具体的には、撮像画像から取得した画素値を含水比に変換することで、定量的な時間～距離～土中水分関係を明らかにしている。

2. 不飽和浸透特性の把握と評価方法

2.1 用いる試料

本研究では、豊浦標準砂（以下、砂）、ガラスビーズ（砂と同程度の粒径）、カオリン粘土（以下、粘土）を用いる。ただし、砂については、磁石を用いて砂鉄を除いた（乾燥質量比で2.0%程度）ものを使用した。

2.2 MRI 撮像に際する鉛直不飽和浸透試験装置の概要

図-1 に鉛直浸透試験装置の模式図を示す。試験装置はリングセルとマリオットタンク、樹脂性バルブからなる定水位給水装置から構成される。MRI で撮像するために、試験装置はすべて、非金属の素材で構成したオリジナルの装置である。図-1 の鉛直浸透試験装置は、厚さ 10mm、内径 30mm のリングセルを 17 個（170mm）連結して用いている。乾燥試料を密詰めし、バルブを開いた時刻を試験開始時刻とした。

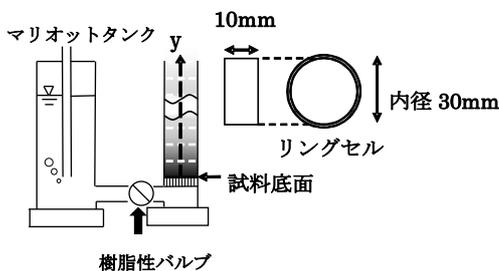
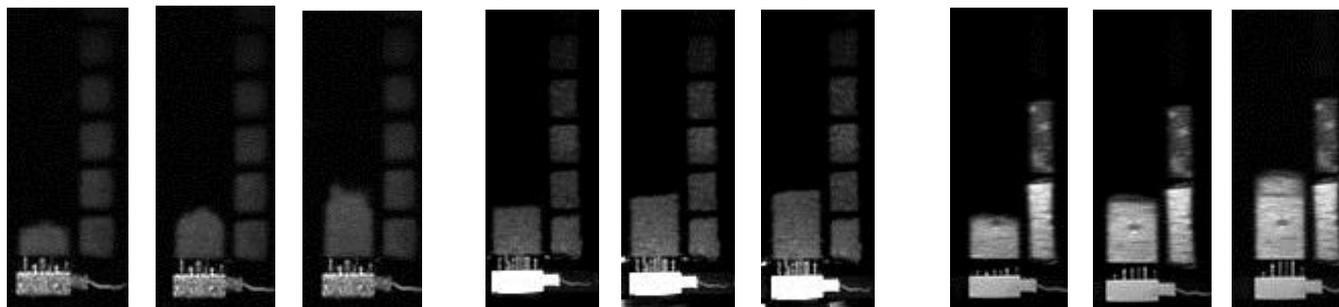


図-1 MRI 用鉛直浸透試験装置の模式図

3. 鉛直方向の不飽和浸透挙動に関する一考察

図 2-1 に砂、図 2-2 にガラスビーズ、図 2-3 に粘土の浸透挙動を MRI により撮像した結果を示す。土中水分が多いほど白く撮像される。円筒の横に含水比を調整した指標を置いている。



(a) 277 秒 (b) 579 秒 (c) 881 秒 (a) 292 秒 (b) 602 秒 (c) 909 秒 (a) 283 秒 (b) 592 秒 (c) 923 秒
 図 2-1 砂の鉛直撮像結果 図 2-2 ガラスビーズの撮像結果 図 2-3 粘土の撮像結果

キーワード MRI 不飽和浸透 可視化 層構成

連絡先 〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11-B-1-124 山梨大学地盤工学研究室 TEL 050-220-8528

図-2-1～図-2-3 すべての撮像結果から、浸透前線がほぼ水平であることがわかる。このことから、円筒内部の毛管力の水平方向のばらつきは大きくは無いと考えられる。また、試料の違いにより、浸透速度が異なることがわかる。特に図-2-2 のガラスビーズをみると、(b)と(c)であまり違いがないことが観察できる。このことから材料の違い(保水性、親水性・撥水性など)が浸透に及ぼす影響は大きいと考えられる。

4. 浸透挙動の数値的評価方法

MRI の撮像結果から、浸透挙動の定量化を行う。図-3 に、砂の含水比をおよそ1%ごとに1～24%まで調整した24個の指標を用いたMRI撮像結果を示す。この撮像結果から画素値(RGB値)を抽出後、指標の含水比 w と画素値RGBについて、それぞれの対数を取り、対数近似曲線を作成する。

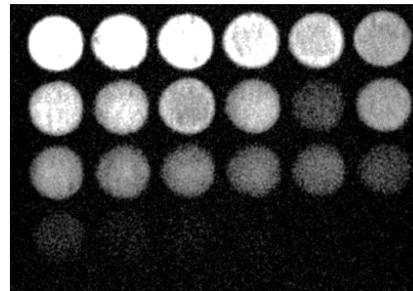


図-3 指標 24 個撮像結果

図-4 に含水比と画素値の対数を取り、対数近似した結果を示す。対数近似曲線の決定係数は約 0.94 であり、非常に高いことがわかる。以下、画素値の含水比変換については、対数近似曲線の式 ($\ln w = a \cdot \ln(\ln RGB) + b$, ここに、 a, b :フィッティングパラメータ(画像ごと、土ごとに決定))を用いて行う。

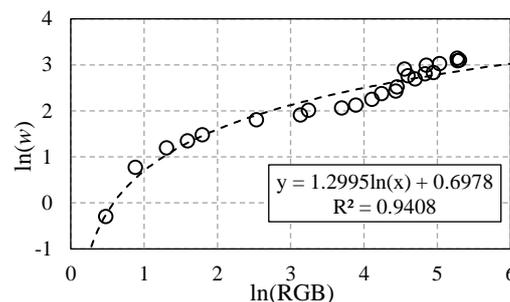
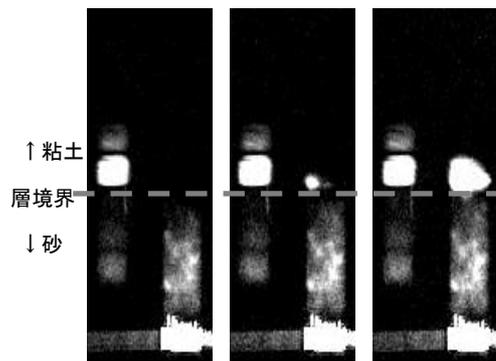


図-4 含水比-画素値の対数関係

5. 層構成地盤における不飽和鉛直浸透挙動に関する一考察

層境界の浸透挙動を分析・考察するため、鉛直試験装置において、円筒の下半分 80mm に砂を、上半分 80mm に粘土を詰め、層構成試料を作製し、鉛直浸透実験を行った。

図-5 (a), (b), (c) に浸透前線が層境界に達した時間前後(それぞれ給水開始から 839, 1086, 1343 秒後)の撮像結果を示す。図-5 から、砂と粘土の層境界付近で砂から粘土への急激な水分移動が観察できる。



(a) 839 秒後 (b) 1086 秒後 (c) 1343 秒後

図-6 に底面からの距離と含水比の関係を示す。層境界は底面から約 80cm の位置にある。図-6 を見ると、839 秒では粘土層に浸透が達しておらず(底面からの距離が 80cm 以上に含水比の増加がみられず)、1086, 1343 秒では粘土層に浸透が達していることがわかる。また、底面から 60～80cm にかけて含水比が減少する傾向がみられる。層境界付近では、砂の含水比減少と、粘土の含水比上昇が生じている。これは、砂より粘土の方が保水性が高く、砂中の水分を吸い上げる現象が生じたためと考えられる。層境界の浸透挙動は複雑と考えられる。

図-5 層構成地盤鉛直浸透縦断面

6. 結論

異なる試料による鉛直浸透試験の MRI 撮像結果から、同程度の粒径でも材料の違いにより、浸透挙動が異なることを把握できた。

また、砂と粘土の層構成試料における鉛直浸透挙動の MRI 撮像結果では、層境界付近で砂の含水比低下と粘土の含水比上昇がみられた。このことから、層境界付近では複雑な浸透挙動が起こっていると考えられる。今後、このような現象を数値シミュレーションにより再現できることが確かめられれば、解析手法の信頼性が一層確保されることが考えられる。

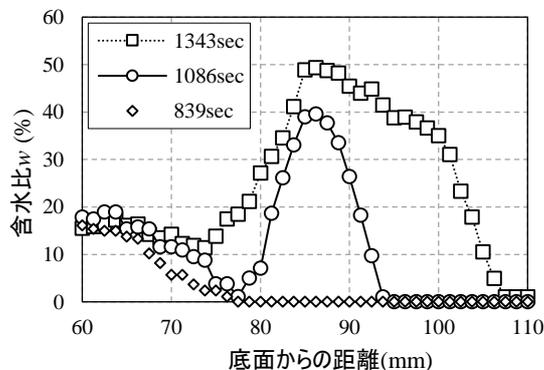


図-6 層構成地盤における含水比～距離関係図

謝辞: 本研究は、山梨大学の平成 28 年度萌芽的融合研究プロジェクトおよび平成 27 年度戦略・公募プロジェクト-研究プロジェクト(スタートアップ研究支援)の援助を受けました。ここに深甚の謝意を表します。