

MRI を用いた層境界における浸透挙動評価に関する一考察

山梨大学大学院 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 舩谷 敬一
 山梨大学医学部附属病院 非会員 熊谷 博司, 大西 洋, 坂本 肇

1. 背景と目的

近年、地層境界をすべり面として降雨により発生する表層すべり型斜面崩壊が多発している。そのメカニズムは、雨水や地下水が地盤内の層境界に達し、不連続で複雑な水分移動が生じることによるすべり面付近でのせん断強度の低下と考えられている。しかしながら、不飽和土中の水分特性を明らかにするには、保水性試験（水分特性曲線）や不飽和透水試験（不飽和透水係数）が必要とされるが、統一的に明らかにする方法はいまだ確立されていない。

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、層構成地盤を作成し、層境界付近の浸透挙動に着目する。具体的には、MRI 撮像結果から取得した画素値を含水比に変換することで、時間～距離～土中水分関係を定量的に明らかにし、考察を加えている。

2. MRI を用いた層構成地盤の評価方法

本研究では層構成地盤を再現する試料に、豊浦砂とカオリン粘土を用いる。ただし、豊浦砂はMRIで用いることを考慮し、乾燥質量比で約2%の砂鉄を取り除いたものを使用している。写真1、写真2は本研究で用いている水平浸透試験装置と鉛直浸透試験装置である。図-1、図-2に、水平浸透試験装置と鉛直浸透試験装置の模式図^{1),2)}を示す。試験装置は定水位給水装置と樹脂性バルブ、浸透円筒から構成される。円筒内部に試料を密詰めにし、浸透させる。バルブを開いた時刻を試験開始時刻とする。



写真-1 MRI 用水平浸透試験

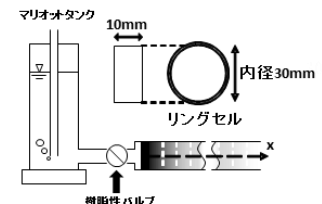


図-1 水平浸透試験装置模式図

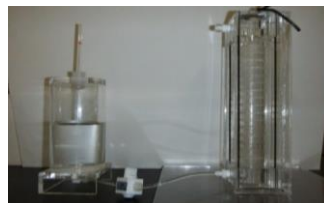


写真-2 MRI 用鉛直浸透試験

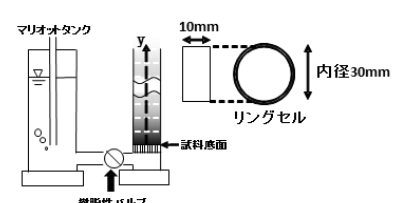


図-2 鉛直浸透試験装置模式図

3. 層構成地盤の浸透挙動観察

本研究では、2層構成地盤を再現し、浸透試験を行う。表-1に各層の厚さを示す。給水側を第1層とする。

図-3～6にそれぞれにケース1～4の撮像結果を示す。図-3にケース1のMRI撮像結果を示す。図-3(a)～(d)は層境界に浸透前線が達する前後の撮像結果であり、それぞれ浸透開始から465, 592, 718秒後の状態を表している。図-3(a)から豊浦砂の下部から浸透前線が進み、図-3(b)では、下部の浸透前線がカオリン粘土に達している。図-3(c), (d)をみると、豊浦砂の浸透前線は上部に達していないが、



(a) 465 秒



(b) 592 秒



(c) 718 秒

図-3 ケース1 撮像結果

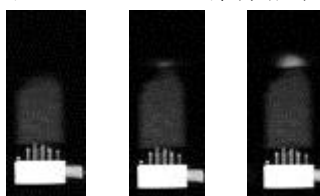


図-5 ケース3 撮像結果



(a) 2990 秒



(b) 3287 秒



(c) 3585 秒

図-4 ケース2 撮像結果

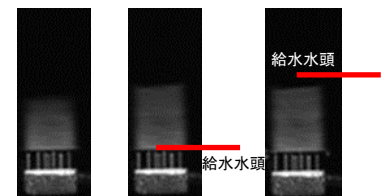


図-6 ケース4 撮像結果

キーワード MRI, 可視化, 不飽和土, 画素値, 含水比

連絡先 〒400-0016 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 055-220-8528

表-1 実験ケース

水平浸透試験				鉛直浸透試験			
ケース1		ケース2		ケース3		ケース4	
第1層 豊浦砂 (mm)	第2層 カオリン粘土 (mm)	第1層 カオリン粘土 (mm)	第2層 豊浦砂 (mm)	第1層 豊浦砂 (mm)	第2層 カオリン粘土 (mm)	第1層 カオリン粘土 (mm)	第2層 豊浦砂 (mm)
100	400	50	450	50	120	40	130

カオリン粘土左端は上端まで浸透していることがわかる。以上より、層境界では不連続な水分移動を示すことがわかる。図-4 にケース 2 の MRI 撮像結果を示す。図-4 (a)～(c)は浸透前線が層境界に達する前の撮像結果であり、それぞれ浸透開始から 2990, 3287, 3585 秒後の状態を表している。図-4 (a)～(c)に大きな浸透状況の違いは無く、図-4 (c)の 3585 秒後でも浸透前線は砂の層まで達していないことがわかる。図-3 のケース 1 では層境界に達した時間が 592 秒未満であったが、図-4 のケース 2 では浸透第 1 層の水平長さを短くし、6 倍以上の時間をかけても浸透第 2 層への浸透がほとんどみられないことがわかった。これは層境界によるキャピラリーバリア現象を視覚的に表している。図-5 は層境界に浸透前線が達する前後の撮像結果であり、それぞれ浸透開始から 469, 531, 593 秒後の状態を表している。図-5(b)を見ると下層の土中水分を上方の粘土が吸い上げる現象が確認できる。図-6 にケース 4 の MRI 撮像結果を示す。図-6 (a)～(c)は浸透前線が層境界に達する前後の撮像結果であり、それぞれ浸透開始から 904, 1530, 2208 秒後の状態を表している。図-6(c)は図-6(b)から数 mm 水頭を大きくした後の撮像結果である。図にそれぞれの水頭を示している。図-6(a), (b)から、浸透前線が少し上昇していることがわかる。図-6(b), (c)を比較しても浸透前線に変化はなく、豊浦砂までの浸透は確認できなかった。図-5 のケース 3 では豊浦砂からカオリン粘土への水分移動がみられたが、図-6 のケース 4 ではカオリン粘土が遮水層の働きをし、豊浦砂への浸透を遮っている様子が視覚的にわかった。

4. 浸透挙動の数値的評価方法

図-7 に豊浦砂の含水比をおよそ 1%ごとに 1～24%まで調整した指標の撮像結果から求めた、画素値と含水比関係における近似曲線の例を示す。決定係数 R^2 は 0.987, 相関係数が 0.974 の高い値が得られたため、画素値と含水比の相関は高いといえる。この曲線を撮像された MRI 画像ごとに求めて、含水比に変換する。

図-8 に試験開始時間から 469 秒, 531 秒, 593 秒における含水比-距離関係を示す。図-9 の 50mm が層境界である。469 秒を見ると、粘土層に浸透が及んでいない。一方, 531 秒, 593 秒を見ると、粘土層に浸透が及んだことがわかる。また, 531 秒と 593 秒を比較すると, 55mm での含水比の上昇度は 50mm での上昇度より大きいことがわかる。以上から、カオリン粘土層が豊浦砂層の土中水分を吸い上げる現象を数値的に明らかにした。

5. おわりに

本研究では、様々な種類の層構成地盤を作製し、水平過程と鉛直過程において浸透試験を実施し、主に層境界付近の浸透挙動を観察した。第 1 層が豊浦砂、第 2 層がカオリン粘土の場合、層境界付近では粘土が砂の土中水分を吸い上げる現象を確認できた。また、第 1 層がカオリン粘土、第 2 層が豊浦砂の場合、粘土が遮水層の働きをし、砂に浸透が及ばないことを、可視化により明らかにした。また、浸透挙動の数値的評価を行った結果、層境界で、土中水分分布が不連続になる時間が存在し、カオリン粘土層が豊浦砂層の土中水分を吸い上げる現象を数値的に明らかにした。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と考えられる。

【参考文献】

- 1) 荒木功平, 藤森弘晃, 舩谷敬一, 熊谷博司, 坂本肇, 大西洋: MRI による土の保水・透水特性把握に向けた新たな試み, 地域性を考慮した地盤防災減災技術に関するシンポジウム論文集, pp.43-46, 2015.
- 2) Hiroaki Fujimori, Kohei ARAKI, Keiichi MASUTANI, Hiroshi KUMAGAI, Hajime SAKAMOTO, Hirishi ONISHI: Grasp and evaluation of the unsaturated seepage behavior of soil by using MRI, Geoenvironmental Disasters (2016) 3:28, pp.1-5, 2016.

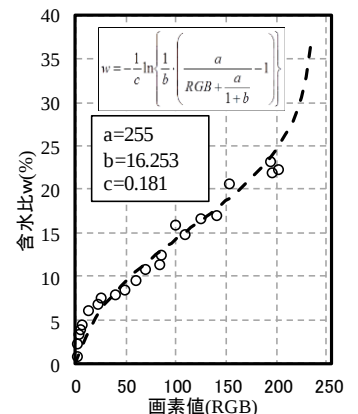


図-7 ロジスティック関係式

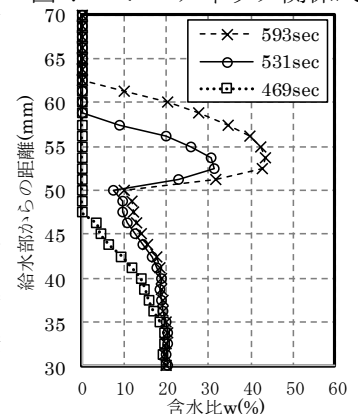


図-8 含水比-距離関係