

京都大学大学院 学生員 ○森下諒一
 京都大学大学院 学生員 吉田竜也
 京都大学大学院 正会員 肥後陽介
 京都大学大学院 正会員 木元小百合
 京都大学大学院 フェロー 岡二三生

1. 研究の背景と目的

本研究では、サクシオン既知の状態の不飽和密詰め豊浦砂供試体内部の構造や間隙水の存在形態を可視化し、定量化を行った。まず、水頭型吸引法による保水性試験を行い、所定の水頭差において μ フォーカス X 線 CT を用いた CT 撮影を行った。次に、得られた画像の三値化処理とその補正を行い、局所的な間隙比および飽和度の定量化を行った。最後に、吸水過程と排水過程での三値化画像を比較し、ヒステリシスのメカニズムを視覚的に検討した。

2. 装置の概要

本研究では μ フォーカス X 線 CT スキャナ装置 (KYOTO-GEO μ XCT, 東芝 IT コントロールシステム(株)製) を使用した¹⁾。特徴として、高分解能 (5 μ m) であり、μ フォーカス X 線 CT スキャナ装置としては出力が大きい (最大管電圧: 225kV, 最大管電流: 0.888mA) ということが挙げられる。

3. 試験材料及び試験方法

試料には、表-1 に物理特性を示した豊浦砂を用い、作成した供試体の諸量を表-2 に示す。本研究では、水分保持特性試験として水頭型吸引法による土の保水性試験方法を採用した。

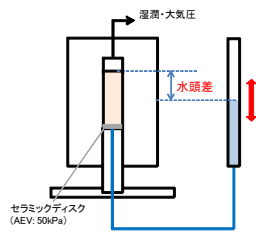


図-1 水頭型吸引法

ただし、土中のサクシオンは直接測定しておらず、供試体と供試体下部につないだビュレットの水頭差と土中のサクシオンがつり合っているものと仮定している。供試体は水中落下法で作成し、乾燥対策を十分に施した後、供試体下部に繋がるビュレットを昇降させることにより水分保持特性試験を行った(図-1)。

表-1 豊浦砂の物理特性

試料	豊浦砂
土粒子密度 G_s (g/cm ³)	2.64
最大間隙比 e_{max}	0.975
最小間隙比 e_{min}	0.614
平均粒径 D_{50} (mm)	0.187
均等係数 U_c	1.6
細粒含有率 F_c (%)	0.1

表-2 供試体諸量

初期間隙比	0.706
有効拘束圧 (kPa)	0
初期供試体密度 (g/cm ³)	1.549
相対密度 (%)	74.50
初期飽和度 (%)	13.06
供試体高さ (mm)	41.43
供試体直径 (mm)	35.00

4. 試験結果

試験結果のうち、水分特性曲線を図-2 に示す。図-2 には CT 撮影を行った点のうち 4 点を示しており、点 e 付近で吸水が始まり、点 k 付近で急激に吸水している様子が見て取れる。また、図中の青丸で示した点は、後に示す方法で評価した局所的な三相割合であり、供試体全体の結果に近い値となった。

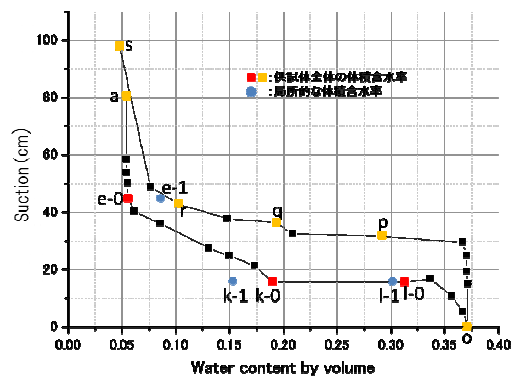


図-3 水分特性曲線

5. 供試体の微視構造の可視化

a) CT 画像における微視的観察

図-3 に、図-2 中の 4 点 (e, k, l, o) における CT 画像を示す。なお、CT 撮影は供試体中央で行っており、撮影領域は直径約 4.70mm、高さ 3.78mm で、解像度は 4.25 μ m × 4.25 μ m × 7 μ m である。図-3 からは吸水の様子を観察することができる。なお、鉛直断面画像より鉛直方向のひずみを算出したところ、吸水過程の a ~ o で、飽和コラプスによる変形だと思われる 0.37% の微小な圧縮ひずみが見られた。一方、排水過程でも変形が確認できたが、微小で有意な値ではなかった。

b) 三値化画像における微視的観察

図-4 に、本研究の CT 画像を土粒子・水・空気の三相に分離した吸水過程の三値化画像 (e, k, l) と、解像度が悪いので三値化を行っていない CT 画像 (o, p, q, r, s) を示す。また、排水過程の三値化画像として、松島ら (2011)²⁾ の結果を図-5 に示す。なお、これは間隙比 0.66 の密詰豊浦砂で実施した本研究と同様の試験結果である。三値化画像は、三相それぞれの Gray Value の平均値と分散から得た許容値を Region growing 法³⁾ に適用し、

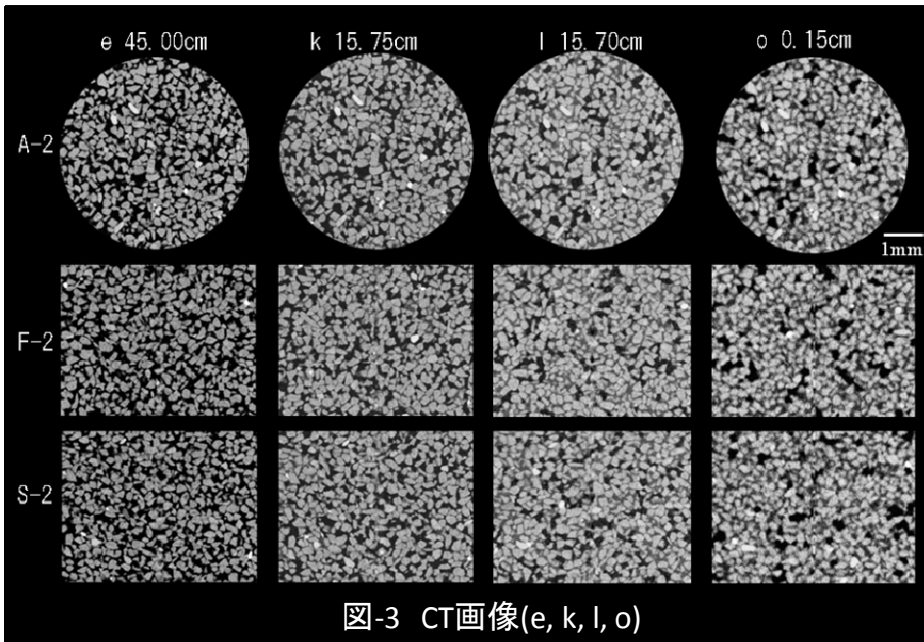


図-3 CT画像(e, k, l, o)

各種ノイズ補正を行って得られたもので、黄色が土粒子、水色が水、黒色が空気をそれぞれ表わしている。図-4を見ると、大きな間隙は吸水しにくく、やがて封入状態となったのに対し、細く小さな間隙は吸水しやすいことが見て取れる。

図-5に、松島ら(2011)によって得られた排水過程の三値化画像(i, j, k, l)および水分特性曲線を示す。図-5を見ると、大きな間隙は空気侵入値に至ると急激な排水しているのに対し、細く小さな間隙は排水しにくいことが見て取れる。

c) 吸排水過程の比較と検討

以上より、吸排水の様子は、間隙の大きさと形状に関係していることがわかった。この現象は、ヒステリシスの原因と考えられてきたインクビン効果と毛細管現象に対応していると言える。

6. 結論と今後の課題

本研究では豊浦砂の供試体を用いた土の保水性試験を行い、サクシオン既知の状態でのμX線CTを用いて撮影した画像より、間隙水の存在形態の変化を可視化した。また、吸排水過程の画像を比較し、ヒステリシスの原因と考えられているインクビン効果と毛細管現象を確認することができた。

今後の課題として、三値化の精度を高めたうえで更に局所的な間隙比と飽和度を求め、本研究で得られた結果を定量的に検証していく。

また、供試体内の高さが異なる数か所をCT撮影し、鉛直方向の水分保持特性の分布について検討することも必要である。

参考文献

- (1) Higo, Y., Oka, F., Kimoto, S., Sanagawa, T. and Matsushima, Y., Study of strain localization and microstructural changes in partially saturated sand during triaxial tests using microfocuss X-ray CT, Soils and Foundations, Vol.51, No.1, 2011, to appear.
- (2) 松島祥樹, 肥後陽介, 木元小百合, 岡二三生, 吉田竜也, μX線CTによる密詰め豊浦砂の保水性試験時の間隙水の可視化, 第46回地盤工学研究発表会, 神戸, pp.15-16, 2011.
- (3) 高木幹夫, 下田陽久, 新編 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, p.1651, p.1957, 2004.

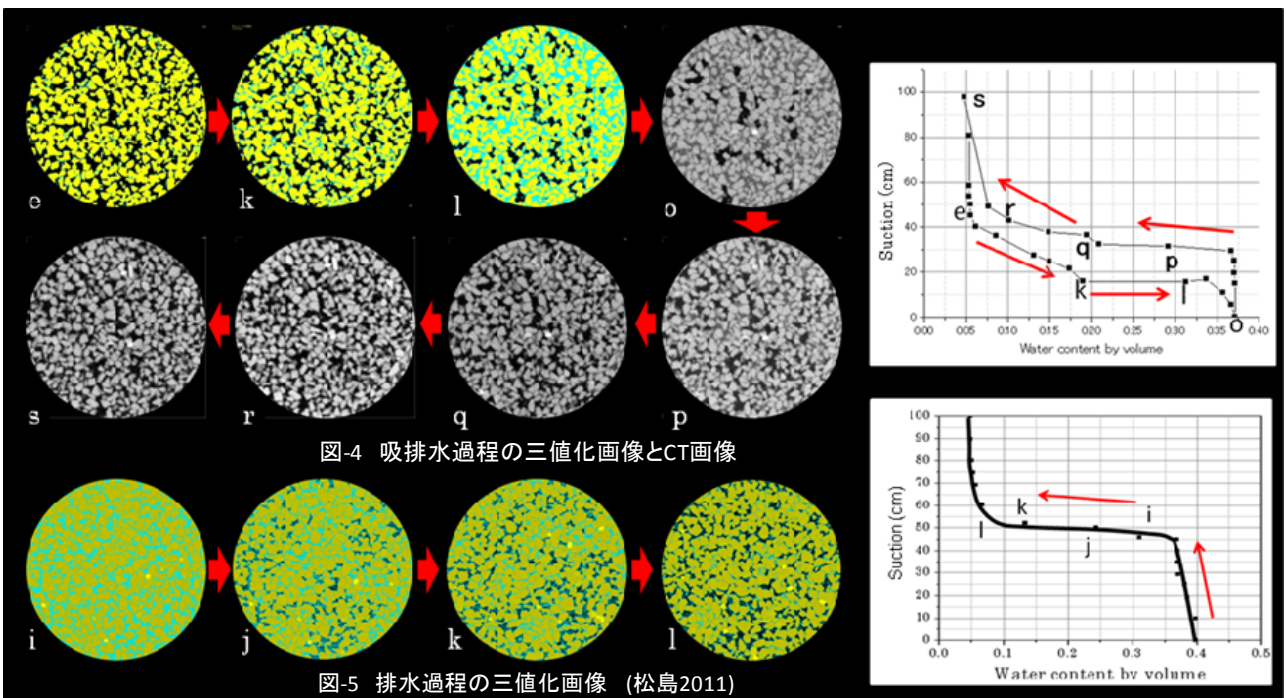


図-4 吸排水過程の三値化画像とCT画像

図-5 排水過程の三値化画像 (松島2011)