

## 排水及び吸水過程における不飽和砂の局所的飽和度の分布

京都大学大学院 学生会員 ○木戸 隆之祐

京都大学大学院 正会員 肥後 陽介

## 1. はじめに

土の保水性は吸排水履歴によりヒステリシスを示すことが広く知られている．この現象のメカニズムは，土内部に様々な大きさ・形状を有する間隙が分布し，それに伴い微視的な間隙水の分布が複雑化するためだと考えられる．これまでの水分特性に関する研究では，巨視的な飽和度-サクション関係を評価するに留まっており，微視的かつ定量的に評価した例はない．そこで本研究では，水分保持特性試験中に得られた  $\mu$ X 線 CT 画像を用いて局所的な飽和度を定量化し，傾度解析によりその分布を検討した．

2. 水分保持特性試験<sup>1)</sup>およびX線CT撮影

豊浦標準砂を使用し，水中落下法で相対密度 42.4%，直径 18.00 mm，高さ 17.74 mm の円柱供試体を作製した．サクションは供試体とビュレット水面との水頭差で作用させる水頭型吸引法を採用し，吸排水が平衡状態に至った際，供試体中央部分で CT 撮影を行い直径 6.50 mm，高さ 5.39 mm の三次元円柱画像を得た．X 線 CT 装置は KYOTO-GEO $\mu$ XCT (TOSCANER-32250 $\mu$ hdk)<sup>2)</sup>を用い，検出器には信号劣化を抑え高解像度の CT 画像の取得を可能とする Flat Panel Detector を使用している．図 1 に水分特性曲線を示す．図 1 中の文字は撮影点を表し，黒抜き文字は本研究の解析対象点を表す．

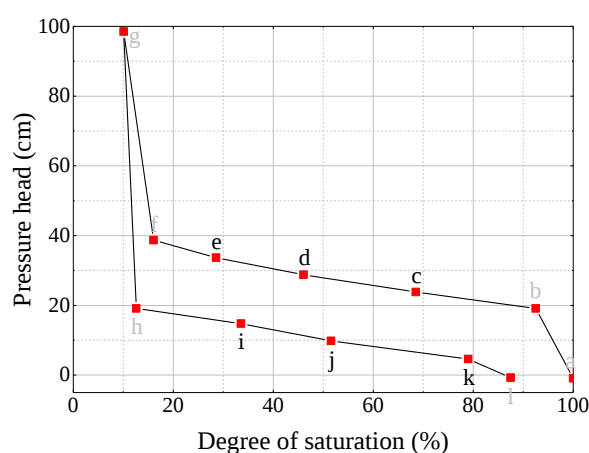


図 1 水分特性曲線および解析対象点

## 3. 画像解析

## 3.1. 解析方法

取得した CT 画像を基に土粒子・水・空気の三相割合を定量化する三値化を行った．その後，既知の大きさを持つ直方体領域を次々に抽出し，局所的な間隙率と飽和度を定量化した (図 2)．なお本研究では，抽出領域の大きさは定量化結果に適度なばらつきが出るように設定した．

## 3.2. 解析結果

吸排水過程における局所的な間隙率と飽和度の二次元ヒストグラムを図 3 に示す．ここで図 3 中の cube1 は間隙率が大きな部分，cube2 は間隙率が小さな部分をそれぞれ表している．

排水過程において点 c では，間隙率が小さな部分に高飽和度領域が集中し，逆に間隙率が大きな部分では飽和度が低い傾向にある．以上のことから，大きな間隙から排水していき，小さな間隙は保水性が高く排水しにくい傾向にあると考えられる．サクションが点 d, e と増加するにつれ飽和度の分布は徐々に広がり，間隙率が大きい部分ほど低飽和度という傾向がより顕著になっている．

次に吸水過程において点 i の三値化画像から，cube1 ではほとんど吸水していないのに対し，cube2 では明らかに吸水した様子が見られる．これは小さな間隙の保水性が高く，主体的に吸水する傾向にあるためだと考え

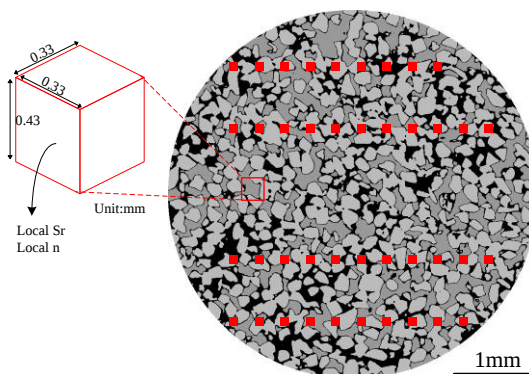


図 2 三値化画像からの抽出領域

キーワード 不飽和砂  $\mu$ X 線 CT 局所的飽和度の分布 ヒステリシス

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 4C クラスターC1 棟 Tel: 075-383-3193

られる。また、サクションを徐々に小さくした点 j, k では、排水過程と同様に飽和度分布に変化が見られ、小さな間隙ほど高飽和度状態になる傾向が見られる。一方、三値化画像を見ると cube2 は完全に飽和しているのに対し cube1 ではほとんど吸水していないため、大きな間隙には吸水しにくい傾向があることが明白である。

以上の結果より、大きな間隙には排水しやすく吸水しにくい性質があり、小さな間隙には排水しにくく吸水しやすい性質があることを確認した。これはヒステリシスの原因として考えられる毛細管現象やインクビン効果に対応しているのではないかと考えられる。一方で、排水過程と吸水過程の分布を見ると顕著な差は見られないことから、間隙率に対する飽和度の分布はヒステリシスに依存しないと言える。つまり、ヒステリシスの原因は水の分布ではなく、間隙水が持つ曲率に依存していると考えることができる。また別な観点からは、間隙率が飽和度の分布を議論するのに適したパラメータでない可能性がある。

#### 4. まとめ

本研究では水分特性試験中に CT 撮影を行い、三値化した画像を基に微小領域を次々に抽出することで、吸排水過程における局所的な飽和度分布を示した。その結果、大きな間隙から排水し、小さな間隙から吸水する傾向があることを CT 撮影および画像解析により微視的かつ定量的に評価することができた。ヒステリシスの原因はこの検討からだけでは特定できないが、間隙率に代わる間隙形状等をパラメータに議論を深めていく。

#### 参考文献

- 1) 森下諒一, 京都大学修士論文, 2014.
- 2) Higo, Y., Oka, F., Kimoto, S., Sanagawa, T and Matsushima, Y., *Soils and Foundations*, **51** (1), pp.95-111, 2011.

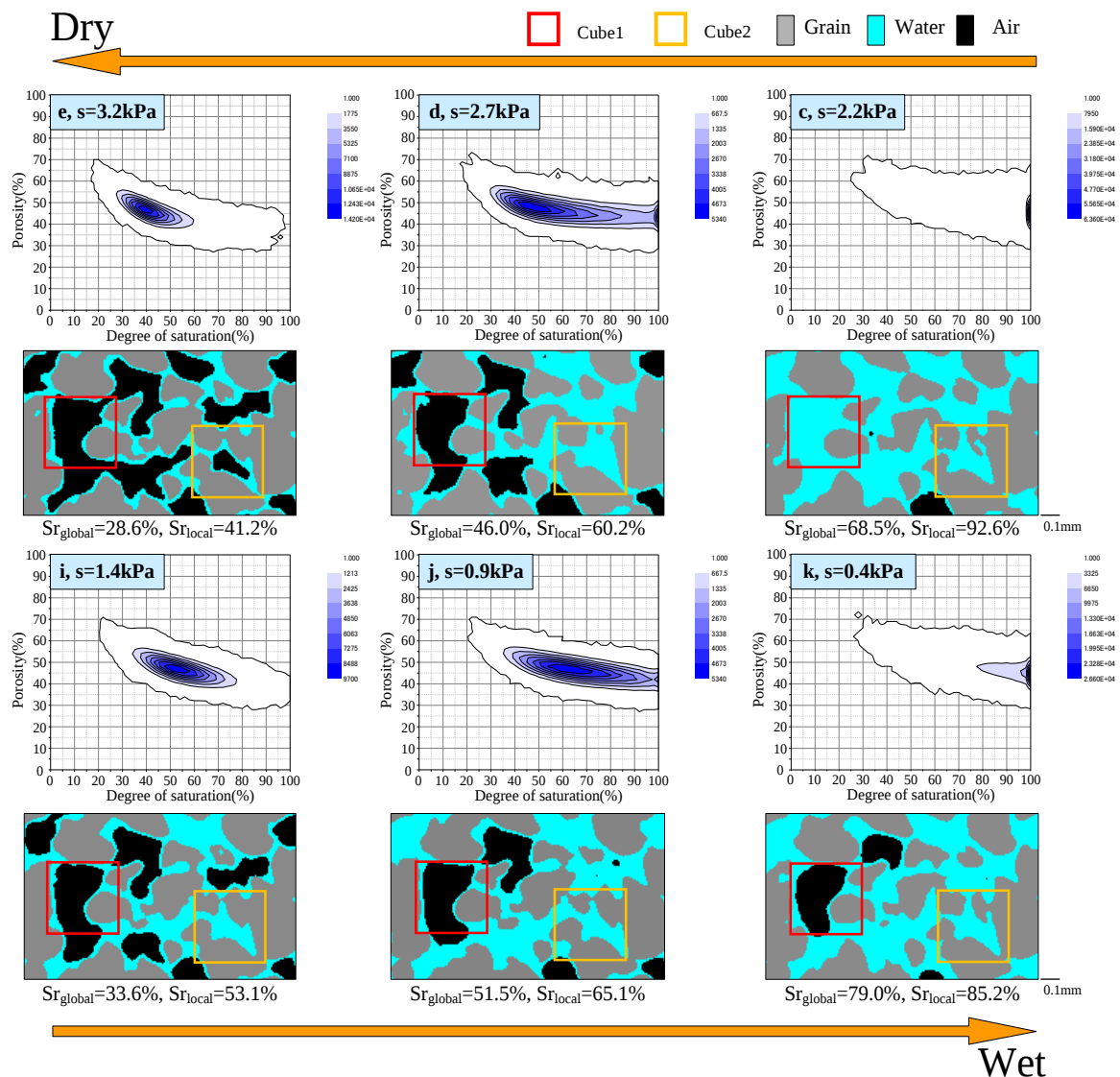


図3 吸排水過程における局所的な間隙率と飽和度の二次元ヒストグラム