μ X 線 CT を用いた不飽和砂のヒステリシスのメカニズムに関する研究

| 京都大学大学院 | 学生会員 | ○高村 | 福志  |
|---------|------|-----|-----|
| 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

本研究では,豊浦砂の水分保持特性試験を実施し, 試験中に得られた CT 画像を用いて,間隙水の分布を求 める解析 (頻度解析),間隙水の曲率を求める解析を実 施し,排水吸水過程におけるヒステリシスのメカニズ ムを解明することを目的とした.

#### 2. 水分保持特性試験

供試体は水中落下法を用いて作製し,水頭型吸引法 によりサクションを与えた.尚,供試体高さは17.74 mm, 直径は 18.00 mm,初期間隙比は 0.822,相対密度は 42.4%である.試験結果により得られた水分特性曲線<sup>1)</sup> を図1に示す.吸排水が平衡に到った際に,吸排水を 一時的に停止し,供試体中央部にCT撮影を行った.

本研究では, X 線 CT 装置に KYOTO-GEOµXCT (TOSCANER-32250µhdk)<sup>2)</sup>を用い供試体の内部構造を可 視化している. また, CT 撮影により直径 6.50 mm, 高 さ 5.39 mm の三次元円柱画像を得た. 以降に示す図中 のアルファベットは, 図1中の各点と対応する.

# 3. 頻度解析

まず,得られた CT 画像を空気・水・土粒子の三相に 三値化した画像を用い,既知の大きさを持つ直方体領 域を次々抽出し,領域内の局所的な飽和度及び間隙率 を定量化した<sup>1)</sup>.本研究では,この値に適度なばらつき が出るように抽出領域の大きさを代表体積 (RVE)よ りも小さく,約0.33mmと決定した.図2に点dでの頻 度解析の概略図を示す.間隙率と飽和度を二次元ヒス トグラムとして表したものを図3に示す.排水過程点c, 吸水過程点 k では高飽和度領域で間隙率が小さく,低 飽和度領域で間隙率が大きく現れる傾向が確認できる. この結果は大きい間隙から排水が始まり,小さい間隙 から吸水が始まることを示している.また,点d,eに関 しては点cよりも飽和度分布がさらに広がり,先に示し た傾向がより顕著に示されている.

Takamura Fukushi, Kido Ryunosuke, and Higo Yosuke e-mail : takamura.fukushi.56s@st.kyoto-u.ac.jp



# 図2 頻度解析の概念図

吸水過程点 j は点 d, 点 1 は点 e とほぼ同様の分布傾向 を示しており,同様な飽和度における吸排水過程での 飽和度分布にほとんど差異はないと言える.このこと から,飽和度分布はヒステリシスのメカニズムの直接 影響しないと考えられる.

### 4. 曲率解析

メニスカスの微視的なサクションと曲率の間には正 の相関が存在していることが知られている.そこで, CT 画像から間隙水の曲率を求めることにより,ヒステ リシスのメカニズムを考察した.

まず,曲率の解析方法を示す.三値化画像を撮影領 域の下から直径 6.50 mm,高さ 0.7 mm 程度の三次元円 柱画像を読み込み,空気と水の境界面のみを抽出する.



図3 局所的な間隙率および飽和度の頻度分布

最後に境界面の主曲率の最大値すなわち間隙水の曲率 を算出し,各値の平均をその点での曲率と定めた.尚, 画像処理には Avizo9.0.1 (FEI 社製)を用いた.

飽和度と各点に曲率解析を適用した結果の関係をプ ロットしたグラフを図4に示す.グラフの全体を見る と,点jを除いて水分特性曲線(図2)とほぼ同様の傾 向が確認できる.点jにおいて,曲率が大きく算出され たのはメニスカスになっておらず,曲率が比較的大き い間隙水が多数存在したためであると考えられる.し かし,飽和度が近い点を比較すると,吸排水過程にお いて排水過程の曲率が大きく算出されていることが確 認できる.

# 5 ヒステリシスのメカニズム

頻度解析では、同じ飽和度における排水過程と吸水 過程の間隙率と飽和度の頻度分布がほぼ同じという結 果を得た.これは、排水過程でも吸水過程でも大きな 間隙に水が少なく、小さな間隙に水が多く保持されや すいという同様の傾向を持ち、水の分布は両過程で類 似していることを表している.一方、曲率解析では明 確に排水過程の方が吸水過程よりも間隙水の曲率が大 きい事を示している.つまり、吸排水過程では類似し た水の分布であるが、その水の曲率が異なる事が、ヒ ステリシスのメカニズムとなっていると考えられる.



図4 曲率-飽和度関係

# 6 まとめ

間隙水の分布と曲率を解析する事により,ヒステリ シスのメカニズムを考察した.今後は,吸着水などの サクションに寄与しない間隙水を除去し,再度曲率解 析を適用することが課題である.

#### 参考文献

- Higo, Y., Morishita, R., Kido, R., Khaddour, G. and Salager, S., Japanese Geotechnical Society Special Publication, Vol. 2, No. 16 p. 635-638, 2014.
- Higo, Y., Oka, F., Morishita, R., Matsushima, Y. and Yoshida, T., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B : Interactions with Materials and Atoms, 324, pp.63-69, 2014.