

CT 画像解析による水分保持曲線の評価のための画素寸法の検討

熊本大学大学院 学生会員 ○福島 大介 正会員 椋木俊文 学生会員 塩田絵里加
防衛大学校 正会員 宮田 喜壽
ライプニッツ応用地球研究所 非会員 Matthias Halisch

1. はじめに

土の水分保持特性は、間隙の大きさ、形状、接続性および流体の界面張力や濡れ特性によって支配されており、不飽和地盤における力学現象と浸透現象にそれぞれ影響を与える。不飽和浸透現象に関しては、実験により不飽和透水係数を求めることは容易ではなく、1982 年の論文発表以降今日でも不飽和透水係数を求める手段として van Genuchten -Mualem モデル¹⁾が広く用いられている。この背景には、間隙構造の空間分布を評価する手法の登場が待たれたことにあるが、近年の X 線コンピュータ断層写真法(以下 X 線 CT スキャナ)の進歩に伴い、砂地盤を対象とした土粒子間の間隙構造とその空間分布を可視化できるようになった。さらに、間隙構造の定量データからのみ水分保持曲線を評価することができつつある²⁾。本報では、真球の画像データを用いて、VP 法²⁾により得られる水分保持特性曲線が画素寸法の違いによって、どの程度毛管圧力水頭に誤差を与えるかについて検討する。

2. マイクロ X 線 CT 撮影

単一粒状態の間隙径分布とその水分保持特性を評価するために図 1 に示すような密詰 (HD)・緩詰 (LD) 状態の真球画像 (黒が粒子、白が間隙) を作製した。真球画像は砂の緩詰め、密詰め時を再現できるように真球を配置した。HD では間隙率約 32%, LD では間隙率が約 42%である。また、解像度によって真球半径の画素数(voxel 数)が異なることを考え半径の異なる真球データを作成した。作製した真球の半径(以下 R)に相当する voxel 数は、R=10, R=15, R=20 である。この時、真球のサイズと領域数を 200 から 700 に変えて、後述する VP 法により得られる水分保持曲線を評価することにより、真球サイズ(粒径)と画素寸法の関係性を評価する。この結果を受けて、平均粒径が 106 μ m の珪砂 8 号に VP 法を適用し、得られる水分保持曲線を評価する。なお、ドイツのライプニッツ応用地球研究所(LIAG)が所有する X 線 CT 装置(phoenix-nanotom)を用いて珪砂 8 号を CT 撮影した。表-1 に X 線 CT の撮影条件をまとめている。

3. 結果、考察

図-2 は真球データから得られた HD, LD のそれぞれの真球半径における水分特性曲線である。HD では間

表-1:撮影条件

画素寸法	4.5 μ m	7.5 μ m
管電圧	61kV	60kV
管電流	103 μ A	150 μ A

黒:真球
白:空隙

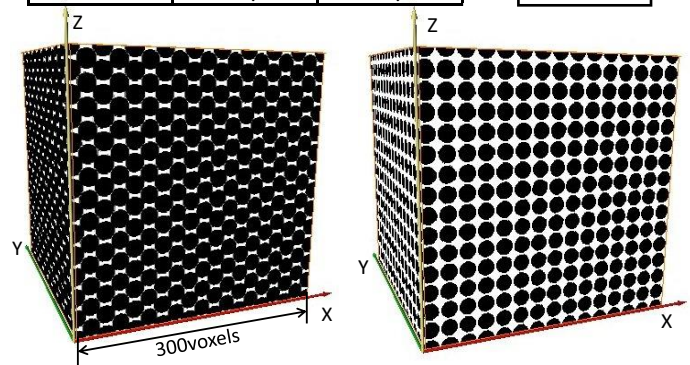


図-1(a):HD 真球データ

図-1(b):LD 真球データ

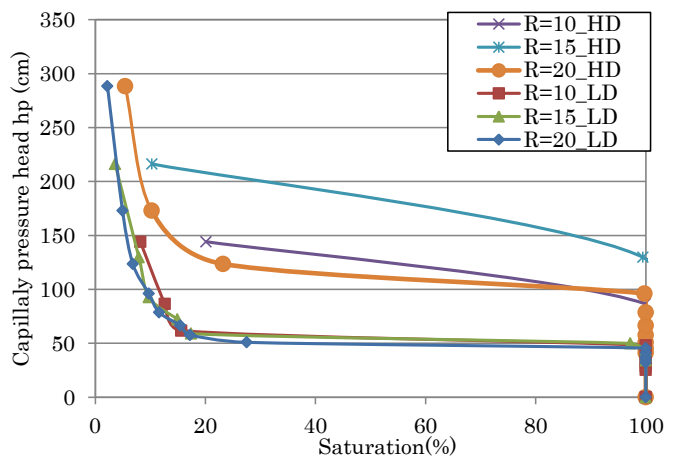


図-2:真球データの水分特性曲線

隙率約 32%, LD では間隙率が約 42%である。設定した真球半径から HD では $R=20$ で水分特性曲線が得られ、LD では $R=10$ でも曲線が得られていることが伺える。 $R=10_HD$ と $R=15_HD$ の場合、VP 法によって評価するための空隙径が 2 点しか得られていないため、水分保持曲線が十分に評価できていない。これは水分保持曲線を得るために必要な推奨画素寸法が存在することを示唆している。

次に、実際の砂を対象とした CT 撮影を実施した。図-3 は珪砂 8 号に関する 3 次元空隙径ヒストグラムを示している。図-3 より、解像度 $4.5\mu\text{m}$ 、 $7.5\mu\text{m}$ において空隙の最頻値は $30\mu\text{m}\sim 45\mu\text{m}$ に分布していることがわかる。図-4 は VP 法より得られた珪砂 8 号の水分保持曲線である。解像度 $7.5\mu\text{m}$ 場合の終点は飽和度 15%, 毛管圧力水頭 86.5cm 前後であり水分保持曲線の吸着領域まで評価できていないと考えられる。一方、解像度 $4.5\mu\text{m}$ で撮影した場合の終点は飽和度 9%, 毛管圧力水頭 144.1cm 前後であり解像度が $7.5\mu\text{m}$ であった時よりも飽和度 50%以下の水分保持曲線を滑らかに得ることができている。これは画素寸法により空隙径の評価に差異が生じ、その結果毛管圧力水頭にも約 10cm の差が生じている。このことから、珪砂 8 号の推奨画素寸法は少なくとも $4.5\mu\text{m}$ 以下であることが望ましいことが分かった。

図-5 は、図-2 より水分特性曲線が十分に得られている $R=10_LD$ と $R=20_HD$ における一画素の大きさをそれぞれ $3\mu\text{m}$ から $60\mu\text{m}$ まで変化させたときの真球粒径を示している。例えば、図-5 に示した凡例×は、水分保持曲線を十分に描けなかった $R=10_HD$ の結果であり、実線よりも上方にある。このことから、図-5 に示したグラフは、推奨画素寸法を決定するための境界線となっている。したがって、間隙率 43%を有する平均粒径 $106\mu\text{m}$ 珪砂 8 号供試体における画素寸法を検討する場合、図-5 に示す点線グラフの下方の推奨画素数を適用すれば、十分な水分保持曲線を得ることができることを示している。今回の実験では、撮影画素数は $4.5\mu\text{m}$ であり、図-5 に示した結果に反映されていることが分かった。

4. おわりに

解像度の違いによって得られる水分特性曲線に差がみられた。これは解像度によって画像から抽出できる空隙径の精度が異なっていることに起因するものである。今後間隙率と推奨画素サイズの関係性、粒子の形状が真球と異なる場合における推奨画素寸法への影響について考えていく。

参考文献

- 1) M. Th. Van Genuchten, A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Science Society of America Journal, Vol. 44, No. 5, 892-898(1980)
- 2) Mukunoki, T., Miyata, Y., Kazuaki, M., and, Shiota, E., X-ray CT analysis of pore structure in sand, Solid Earth, 7, 929-942 (2016).

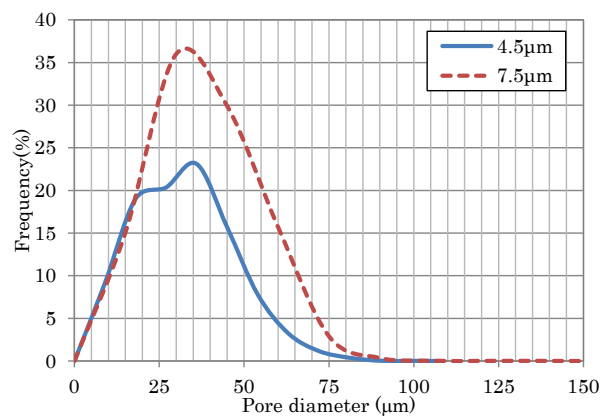


図-3:珪砂 8 号の 3 次元空隙径分布

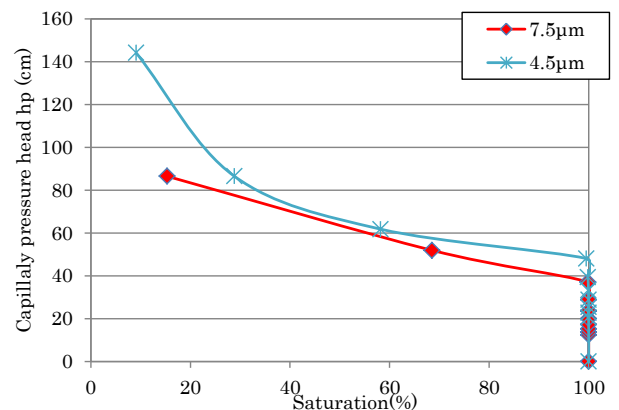


図-4:解像度 $7.5\mu\text{m}$ 、 $4.5\mu\text{m}$ 時の水分特性曲線

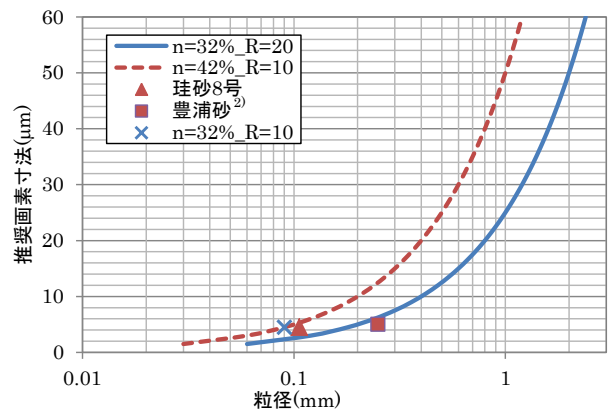


図-5:推奨画素寸法と平均粒径