

高飽和度域の不飽和土におけるメニスカス水の形成状況

前橋工科大学 学生会員 ○渡辺 純平
前橋工科大学 正会員 森 友宏

1. 研究の背景と目的

不飽和土の強度は、主に土粒子間のサクシオンによって発揮される。サクシオンは図 1 のような土粒子間の空隙に懸架するメニスカス水の曲率半径に影響を受ける。そのため、サクシオンを直接的かつ定量的に評価するためには、対象とする地盤内部の土粒子の三次元配列及び土粒子間に形作られる間隙径分布を知る必要がある。

既往の研究¹⁾では、土粒子を球と仮定した場合の異粒径同士の4球の最密充填による組合せにおいて、3D-CAD を用いて、順解析的にサクシオンの推定を行った。この条件では、飽和度 $55\% < Sr < 78\%$ の範囲でサクシオンを推定することができた。しかし、それらの範囲ではサクシオンは 3%程度しか変化しなかった。一方で、自然状態の土の飽和度は 80%以上であることから、高飽和度帯でのサクシオン発現メカニズムを解明することを行いたい。

2. 研究の流れ

はじめに、間隙径分布測定試験を神谷ら²⁾の方法により行う。間隙径分布測定装置の概要は図 2 のようになっている。さらに、保水性試験を行い、水分特性曲線を求める。そして、顕微鏡を用いて実際にメニスカス水が懸架する様子を観察する。これらの実験は、球状であることから理論値との比較が容易な4種の粒径のガラスビーズ ($\phi=0.1, 0.2, 0.4, 0.8\text{mm}$) を用いて行った。それぞれのガラスビーズの物理特性は表 1 のとおり。

3. 実験結果および考察

本稿では土粒子間のメニスカス水の形状について記述する。

(1) 間隙径分布測定試験

等粒径のガラスビーズを用いた間隙径分布測定試験の結果を図 3 に示す。粒径 0.8mm のガラスビーズの間隙径測定はできなかった(計測困難)。それぞれの間隙径は、粒径の約 3~6%の範囲に計測された。

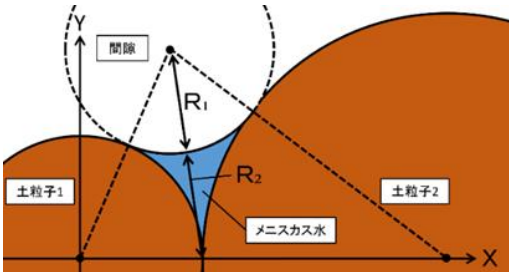


図 1 土粒子間に架橋するメニスカス水の模式図

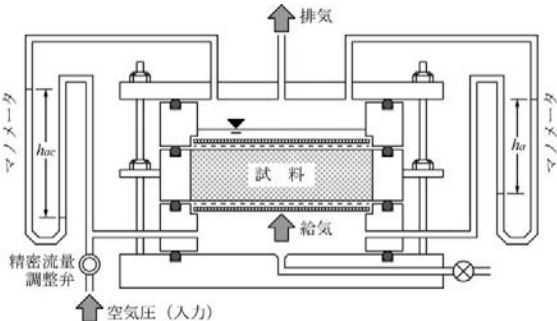


図 2 間隙径分布測定装置の模式図

表 1 ガラスビーズの物理特性				
粒径(mm)	0.1	0.2	0.4	0.8
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.492	2.496	2.493	2.493
最小乾燥密度 $\rho_{smin}(\text{g/cm}^3)$	1.431	1.466	1.474	1.523
最大乾燥密度 $\rho_{smax}(\text{g/cm}^3)$	1.610	1.625	1.672	1.680
ρ_{smax} の充填率(%)	64.61	65.10	67.07	67.39

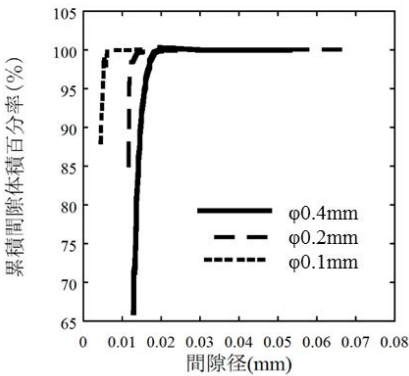


図 3 単一粒径供試体の間隙径分布

本試験で計測した間隙径は、図 4 のように三次元的に繋がった部分の空隙の径になると考えられる。幾何的に求めた間隙径は、粒径の 8% となった。

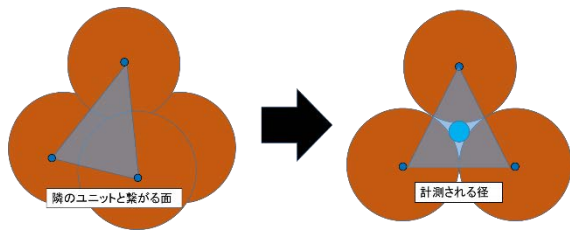


図4 間隙径測定装置で計測される間隙径



図5 ガラスビーズ間のメニスカス水の様子



図6 これまで想定していた空隙の発生プロセス

(2) 顕微鏡による観察

ガラスビーズに水を注水・排水することで、粒子間に空隙が発生する様子を顕微鏡により観察した。顕微鏡写真が図5である。飽和状態からメニスカス水が架橋するまでの間で、図6のような空隙が粒子に接さずに存在する状態は見られず、空隙中の水は限界まで飽和状態を保ち、弾けるように空隙が発生した。大きな空隙から順に弾けていき、発生した空隙は隣の間隙へと食いつく。また、周りの空隙と比べて小さな空隙は、飽和を保ち続けているように見られた。

(3) 保水性試験

保水性試験を単一粒径で行って得られた水分特性曲線を図7に示す。これらの水分特性曲線は全体として、粒径が小さいほどサクシオンは大きくなっている。これは、小さい粒径のほうが粒子同士の接触数が多いことによるものと考えられる。0.8mmでも同様の実験を行ったが、うまく結果が得られなかった。これまでは、飽和度78%以上の場合、図6のように空隙球が土粒子のどこにも触れずに存在していると考えていた。しかし、図7の水分特性曲線を見ると、飽和度100%付近からサクシオンが発生している。このことから、空隙内で空隙が発生する際、はじめから粒子と空隙が接していることがわかる。これは、顕微鏡による観察でも見られた傾向でもあった。顕微鏡に

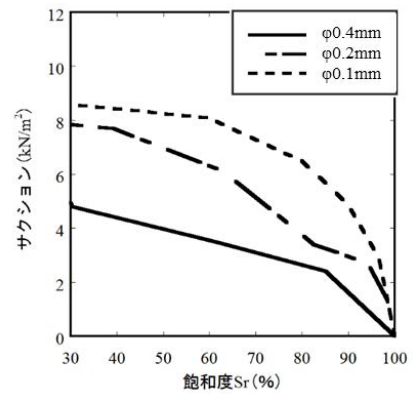


図7 各粒径の保水性曲線

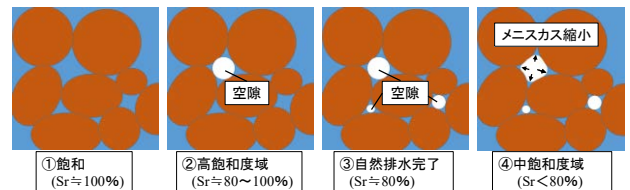


図8 飽和度変化と観察された空隙の発生過程

よる観察から、図7中の曲線の高飽和度域では、図8のように大きな空隙から順に排水されて新たな空隙が発生し、サクシオンが急激に増加しているのではないかと考えられた。また、曲線がなだらかになっている部分では図8右のように空隙が食い込んでいる状態になっていると考えられ、メニスカス水が縮小してサクシオンが微増しているものと考えられた。

4. まとめ

等粒径の間隙径分布は、各粒径の約3~6%になった。これは、幾何的に求められる空隙径よりもやや小さかった。また、顕微鏡による観察により、土粒子間の空隙は、飽和状態から弾けるように発生することがわかった。これより水分特性曲線のサクシオンの増加率の変化に仮説が立てられた。

謝辞: 本研究は、日本学術振興会 科研費 基盤研究(C) JP17K06561 の助成を受けました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 三浦佑, 森友宏: 異粒径の土粒子組合せに働くサクシオンの推定, 土木学会関東支部第46回技術研究発表会, III-54, CD-ROM, Mar. 2020.
- 2) 神谷浩二ら: 「空気圧入法」による砂質土の間隙径分布の計測, 土木学会論文集, No.541/III-35, pp.189-198, 1996.