

土粒子間に形成されるメニスカス水の形状とサクション応力に関する基礎的研究

前橋工科大学 学生会員 ○朱田 斯乃

前橋工科大学 正会員 森 友宏

1. 研究の背景

不飽和土の強度はサクション応力の影響を受け、また、サクション応力はメニスカス水の半径に依存することが知られている。本研究では粒径の異なる5種類の球を土粒子に見立て、飽和度に応じた土粒子間のメニスカス半径の変化を算出することでサクション応力を推定し、不飽和土の強度をミクロの視点から順解法的に明らかにしようとするものである。

2. 研究の目的

既往の研究では、間隙を球体と仮定して間隙径分布を算出したが、実際の実験結果から自然排水された土の間隙は球体のみで仮定することは難しいことが示された(図1参照)。そこで本研究では間隙が球でなくなるような飽和度域における飽和度とメニスカス半径の関係を把握し、ひいてはサクション応力を定量的に求めることを目的とする。

3. 研究の流れおよび結果

飽和度やメニスカス半径を算出するために粒子が球形で最密状態に詰まっている、また間隙を球体として存在できる状態の飽和度を最大飽和度 S_r^* と仮定し、図2のように球a、球b、球c、球dで囲まれた領域(四面体a-b-c-d)について考えた。

まず考え方として、4球で形成される四面体 a-b-

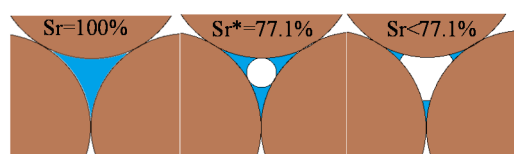


図1 飽和度とメニスカスの形状の模式図

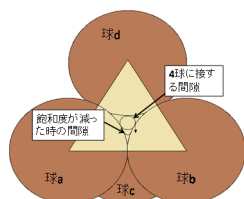


図2 求める対象の範囲

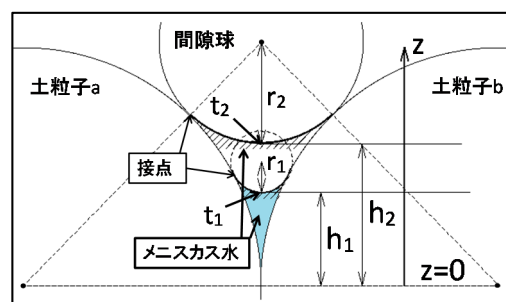


図3 メニスカス水の模式図(二次元表示)

c-d)においての最大間隙球(最大飽和度 S_r^*)の中心とそれぞれ3球の中心で形成される四面体の4つ(四面体 a-b-c, 四面体 a-b-d, 四面体 a-c-d, 四面体 b-c-d)に分けて考えた。そして間隙球の中心までの方向を z 軸とし、最大間隙球の下端 t_2 から $z=0$ までの高さを h_2 、間隙球が土粒子 a, b に食い込んだ時の t_1 から $z=0$ までの高さを h_1 、四面体 a-b-c, 四面体 a-b-d, 四面体 a-c-d, 四面体 b-c-d それぞれにおける飽和度 S_r 、メニスカス半径 r を算出した(図3参照)。以下の手順は最も簡易的な形、土粒子 a~d が粒径 0.5 の等粒径であるときの飽和度とメニスカス半径、サクション応力を定量的に算出するために用いた方法である。図4~10はそれぞれの手順から導き出されたグラフである。

- 1) 飽和度とメニスカス半径の関係を示すために間隙球が食い込んだ時におけるそれぞれの h_i とメニスカス半径 r_i の関係を算出する。結果、図4のような下に凸のグラフとなった。
- 2) 四面体 a-b-c から重複する土粒子 a~c の3球の体積を除いた部分を四面体 a-b-c が持つ間隙とし、間隙球が食い込んだ時のそれぞれの飽和度 S_r と h_i の関係を示す。ただし間隙の h_i が $z=0$ より下回った場合、メニスカス水は2球のみ影響を与えるため今回の研究から対象外とする。結果、図5のようなグラフの形となり、土粒子 a, b, c の3球にメニスカス水が作用する飽和度は約30%からとなっている。

キーワード 不飽和土, サクション, メニスカス半径, 不飽和土粒子の三次元配置

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460番地1 前橋工科大学 TEL 027-265-7308 E-mail : mori@maebashi-it.ac.jp

3)それぞれ算出した h_i とメニスカス半径 r の関係と飽和度 S_r と h_i を用いて、飽和度 S_r とメニスカス半径 r 関係を算出する(図 6 参照). 一方、メニスカス半径の逆数と飽和度との関係を示したものが図 7 である.

4)サクシオンにメニスカス半径以外に作用する事柄を明らかにするため、二枚のガラス板を用いてメニスカス半径と耐荷重についての実験を実施した. 実験結果としてメニスカス半径と耐荷重には相関が認められ、0.25mm ガラスビーズ貼付の実験から

耐荷重はメニスカス水が付着している面積にほぼ比例していることが示された(図 8 を参照). ゆえにサクシオン S は以下の式によって求められると推測される.

$$S = \alpha \times \frac{1}{r} \times A$$

(α :係数, A :水に接している表面積)

係数を α のまま定数としたのは、初期条件にてガラスからあふれた水を吸い取ったか、またガラスの中心が少しズレていたかどうかによって、ガラス板間のメニスカス水の半径が変化するため、現段階の実験手法では α を定めることが困難であるためである.

5)飽和度と $z=0$ の平面から土粒子 $a \sim c$ の 3 球と間隙の接点の平面までに水に接している表面積の関係を算出する(図 9 参照). ただし、 $z=0.0001$ ずつの平面で切り、四面体の三角形と土粒子 3 球の円とが干渉している円周のみを求めたものであるため、今後改善の余地がある.

6)メニスカス半径の逆数と飽和度のグラフ図 7 と表面積と飽和度のグラフ図 9 を用いて、四面体 $a-b-c-d$ に働くサクシオン応力と飽和度との関係を算出する.

以上の手順より、図 10 のような上に凸のグラフになり、飽和度が約 62%の時にサクシオンの最大値が存在することが示唆された. このことは、一般的な土が締固めをうけたとき、最適含水比(一般的な土は飽和度が 75~80%)よりも、やや小さな含水比で最大強度を示すという、既知の事実と符号する結果である.

4. まとめ

土粒子球の間にくいこむように形成されるメニスカス水の形状を考慮することで、飽和度~メニスカス半径~メニスカス水の作用表面積の関係を求めた. その結果、4つの土粒子球間に働くサクシオン応力を定性的に求めることができた. 等粒径をもつ土粒子間に形成される飽和度とメニスカス半径の算出方法の検討を行い、概ね良好な推定結果が得られた. 今後違う球種で形成される間隙も検討していく.

謝辞

本研究を進めるにあたり(一財)土科学センター財団の助成をいただきました. ここに記して謝意を表します.

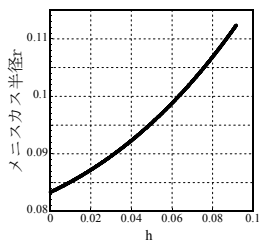


図 4 メニスカス半径と h の関係

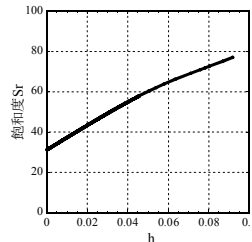


図 5 飽和度と h の関係

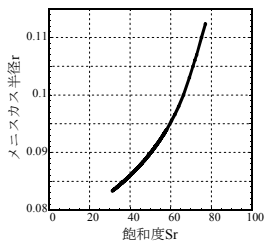


図 6 メニスカス半径と飽和度の関係

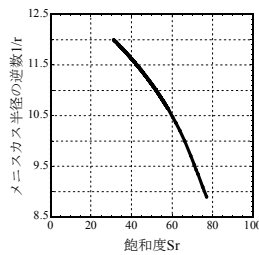


図 7 メニスカス半径の逆数と飽和度の関係

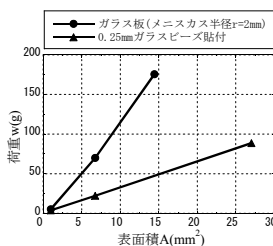


図 8 2 枚のガラス板間の水膜による引張耐荷重

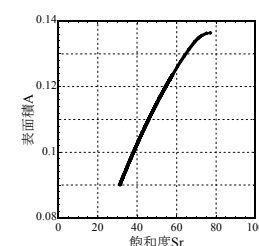


図 9 飽和度と表面積の関係

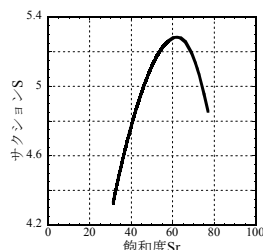


図 10 飽和度とサクシオンの関係