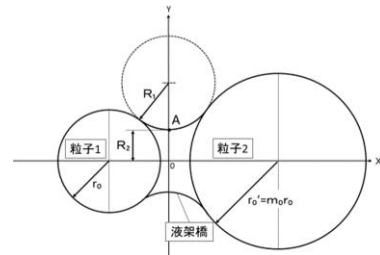


土粒子間に働くサクシオン応力に着目した土の不飽和強度の推定

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. 研究の目的・背景

現在、不飽和土の強度推定は災害後に行われる現地調査によるものが主流であるが、豪雨時の斜面崩壊に対する余裕度を事前に把握するためにも、飽和度変化に応じた強度推定を行いたい。不飽和土の強度変化は、主に土粒子間の液架橋付着力によるものである。液架橋付着力は土粒子間の隙間に懸架するメニスカス水(図1)の曲率半径に影響を受ける。そのため、液架橋付着力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および、そこに懸架するメニスカス水の幾何的形狀の解明が必要となる。そこで本研究では、粒状集合体における三次元座標の悉皆調査を行って不飽和土の構造を考察し、粒子間に懸架するメニスカス水の形状・量から飽和度を算出、飽和度と液架橋付着力の関係を定量的に算出する手法を提案する。



$$F = 2\pi R_2 T_s + \pi T_s R_2^2 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \quad 1) 遠藤ら$$

図1 粒子に懸架するメニスカス水の模式図

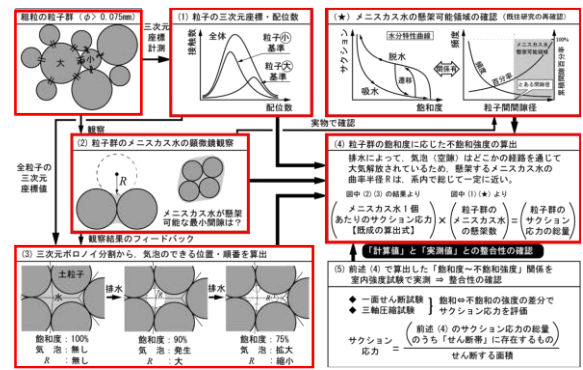


図2 本研究の大まかな流れ

2. 研究の流れおよび調査手順

飽和度変化に応じた不飽和土の強度を推定するための全体フローを図2に示す。この中で、本研究では赤枠で示す部分について検討を行う。はじめに、土粒子を単純化のため球形と考え、発泡ビーズを用いて地盤の内部構造を模した粒状集合体を作成し、それらの三次元座標の悉皆調査を行い、土粒子の配位関係を調査する。次に、悉皆調査から得られる三次元座標から、空隙構造の把握と構造内でのメニスカス水の懸架の可否を判定し、メニスカス水の食い込みによる飽和度変化と液架橋付着力の増減について予測を行う。紙面の都合上、本報では研究の核心部分である粒子群の飽和度算出方法とそれらの結果について述べる。ここでは、議論の単純化のために、等粒径の球の粒子群を考える。4つの球の中心座標を結ぶことでドロネー四面体(図3左)が形成され、ドロネー四面体の外心(点O)はポロノイ多面体の頂点と一致する(図3中央)。飽和状態から飽和度が低下していくと、点Oを中心として球1

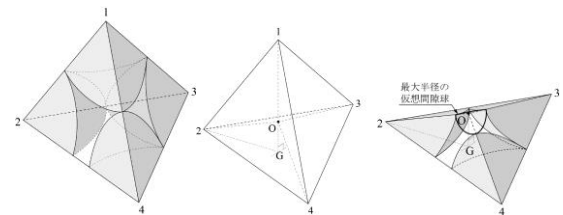
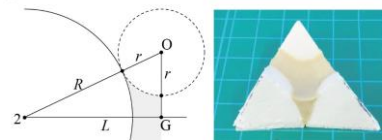


図3 ドロネー四面体と仮想間隙球

(a) 面234において、球234の3球に跨ってメニスカス水が懸架



(b) 面234において、球2~3, 球3~4, 球4~2の2球ごとにメニスカス水が懸架

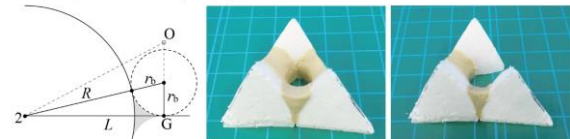


図4 仮想間隙球の縮小とメニスカス水の破割

~4に接する気泡(最大径の仮想間隙球)ができる。液架橋付着力はメニスカス水の曲率半径に依存するの

キーワード 不飽和土, サクシオン, メニスカス半径

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

で、メニスカス水の表面の曲率を表す仮想の球を「仮想間隙球」と呼ぶこととする。飽和度がさらに低下すると、メニスカス水は縮小し、仮想間隙球の表面がドロネー四面体の面に接するとメニスカス水は破瓜する(図4参照)。ドロネー四面体を外心の点Oを中心に4分割した分割ドロネー四面体を作り(図3左)、四面体の体積から、分割された部分の球、仮想間隙球の体積を減ずることで、領域内のメニスカス水の体積、および飽和度を算出する。また、メニスカス水の形状から液架橋付着力を求める。

3. 結果および考察

3.1 正四面体状に配置された球による計算

正四面体の位置関係に仮想の粒子 ($r=0.5\text{mm}$) を密接状態、各球の間隔を $0.01r$, $0.05r$ とした状態の3パターンで配置し、それらで構成されるドロネー四面体内で飽和度を100%から低下させた時の飽和度～液架橋付着力関係を図5に示す。途中で点の間隔が飛んでいるのは、メニスカス水の破瓜(図4参照)によるものである。粒子間の距離に応じて液架橋付着力は異なる挙動を示す。密接状態の挙動は一般的な地盤材料を用いた時の保水性試験の中飽和度から低飽和度にかけての水分特性曲線と似た挙動を示している。

3.2 実測した三次元座標による計算

粒状集合体の悉皆調査から得た三次元座標の中で集合体の中心部に位置する4球から飽和度と液架橋付着力の計算を行う。また、粒径・三次元座標をともに1/10することで求めた相似な集合体でも計算を行う。計算の結果を図6に示す。縦軸の液架橋付着力の大きさは異なるが、グラフの挙動は全く同様といえる。このことから、飽和度～液架橋付着力の関係は、粒子の3次元的な位置関係により定まるといえる。

3.3 メニスカス水が懸架可能な範囲での計算

ガラスビーズを用いた顕微鏡観察から、粒子間に懸架するメニスカス水の最大半径は、粒径によらず $0.07 \sim 0.09\text{mm}$ 程度であったことから、 0.09mm を上限と設定した。悉皆調査 ($r=6.0\text{mm}$) の結果は粒径が大きすぎるため、粒径、三次元座標をともに縮尺1/10 ($r=0.6\text{mm}$)、縮尺1/100 ($r=0.06\text{mm}$) した条件での、ある1つのドロネー四面体における結果を図7に示す。縮尺1/10では粒子間の間隔が大きいことから、飽和状態から排水が進んで間隔ができる時に、一気に大きな

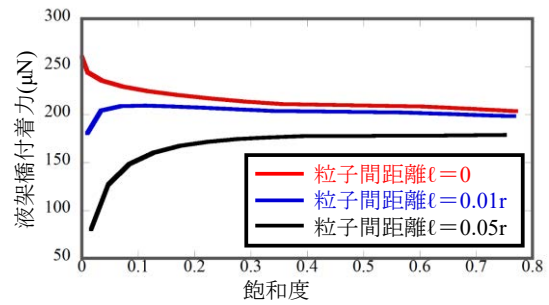


図5 球間の離隔を変化させた時の飽和度～液架橋付着力の関係

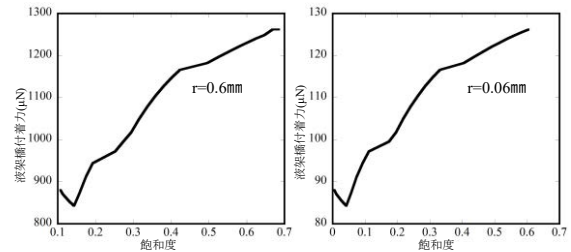


図6 粒子群の縮尺のみを変化させた時の飽和度～液架橋付着力の関係

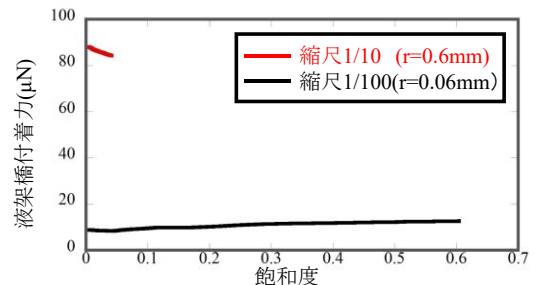


図7 メニスカス水が懸架可能な時の飽和度～液架橋付着力の関係

間隙が生じるため、低い飽和度域にしか点が存在しない。一方、縮尺1/100では高い飽和度から連続的に点が存在する。これは、土の粒度に応じて水ハケが変化する実現象と符合する。

4. まとめ

等粒径の球形粒子群に限ってではあるが、粒子の三次元座標から飽和度～液架橋付着力の関係を定量的に算出する手法を確立した。その結果、粒状集合体内での液架橋付着力の変化の傾向は、粒径によらず粒子間の位置関係で定まることが明らかとなった。また、粒子間に懸架できるメニスカス水の曲率半径を考慮に入れることで、粒径による水ハケの違いを表現可能であることが示された。

参考文献: 1) 遠藤禎行・向阪保雄・石井真由美: 異径2粒子間に形成される液架橋現象とその付着力の解析, 化学工学論文集, Vol.19, No.6, pp.1128-1135, 1993.