

異粒径の土粒子組合せに働くサクシヨンの推定

前橋工科大学 学生会員 ○三浦 佑 前橋工科大学 正会員 森 友宏

1. 研究の背景と目的

不飽和土の強度はサクシヨン応力の影響を受け、また、サクシヨンの大小は、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、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ヨンを推定し、不飽和土の強度をミクロの視点から順解法的にあきらかにしようとする。昨年までの研究では、土粒子球の間に食い込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、等粒径における4つの土粒子球間に働くサクシヨンを定性的に求めることができていた。

そこで本研究では、実際の土にさらに近づけるべく、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計測し、サクシヨンの変化を検討する。

2. 本研究で用いる土粒子モデル

粒径 2.00, 1.00, 0.50, 0.25, 0.125 の異なる5種類の土粒子を、重複を許して4球で組合せた(図1)。組合せは全部で70通り存在し、以下の5パターンに分けることができる。

- ① 4球等粒径の1種による組合せ
- ② 3球等粒径の2種による組合せ
- ③ 2球ずつ等粒径の2種による組合せ
- ④ 2球等粒径と異粒径の3種による組合せ
- ⑤ 4球とも異粒径の4種による組合せ

3. サクシヨンの推定

(1) サクシヨンの推定式

2粒子間に働く液架橋付着力、つまりサクシヨンは遠藤ら¹⁾より、式(1)で与えられる。土粒子間に架橋するメニスカス水の模式図を図3に示す。

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

(F:液架橋付着力, σ :液体表面張力, R_1 :メニスカス半径, R_2 :メニスカス水最狭部長さ)

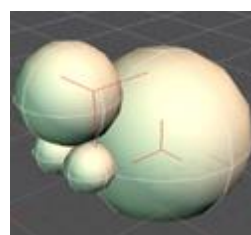


図1 土粒子の組合せの例

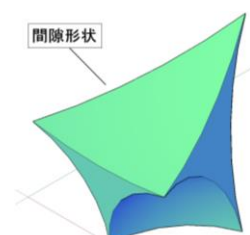


図2 内部の間隙の形状の例

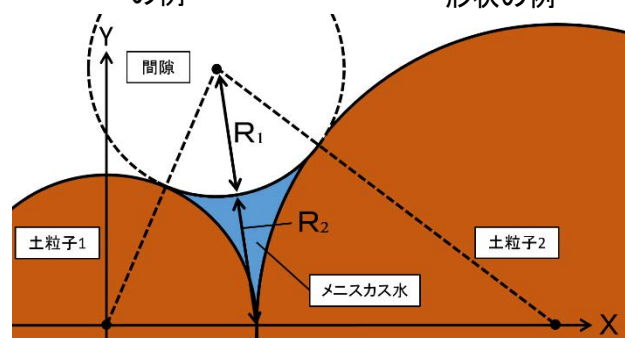


図3 土粒子間に架橋するメニスカス水の模式図

式(1)以外にも、異粒径の組合せに伴うメニスカス水の形状の非対称性等を厳密に考慮する推定式もあるが、使用するモデルが複雑になるものの式(1)との差が最大で20%程度であった。そのため、本研究では簡便性を重視して式(1)を用いた。

(2) サクシヨンの推定手法

R_1 と R_2 を求めるにあたり、AutoCADで直接的に求める。組合せた4つの球の中心を結んで四面体を形成し、その内部に4つの土粒子全てに外接する5つ目の球となる間隙球を配置する。この状態が土粒子間に働くサクシヨン応力が働く最大の飽和度であり、この状態を以後、最大飽和度と記述する。ここから飽和度を低下させていくと、土粒子の隙間に食い込むようにメニスカス水が縮小していく。この時のメニスカス半径 R_1 は等しいものと仮定し、四面体のいずれかの面に接するまで間隙球を0.001ずつ小さくしていき、計測した。そして異粒径粒子の組合せにおける飽和度とメニスカス水の形状との関係から、作用するサクシヨンを推定した。

キーワード 不飽和土, サクシヨン, 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: 027-265-0111 E-mail: jimmu@maebashi-it.ac.jp

4. 異粒径粒子組合せの比較結果

2 粒子間のサクシオンで考えた粒径比ごとのメニスカス半径と粒径比 1-1 に対するサクシオン比を図 4, 図 5 に示す. どちらも粒径比が大きくなるとサクシオンが増加する傾向が見られたが, メニスカス半径ごとのサクシオン比率に違う傾向は示さなかった. 図 4 の 2 粒子の片方のみ粒径が大きくなる場合は, 粒径比が大きくなるごとにサクシオンは大きくなったが, サクシオン比率の増加量は小さくなった. 一方, 図 5 の 2 粒子とも粒径が大きくなる場合では, 粒径比が大きくなるごとにサクシオンとサクシオン比率の増加量はどちらも大きくなった.

次に, 異粒径 4 粒子組合せで考えると, 2 粒子間とは違い, 飽和度を求めることができる. 今回の条件下で求めることができた飽和度の範囲は, 54.66%~76.92%であった.

異粒径 4 粒子組合せパターン② (前頁参照) の飽和度とサクシオン比率を図 6 に示す. 本研究で検討した飽和度の範囲では, メニスカス水は 2 粒子間同士にのみ作用する. すなわち, 4 粒子の組合せの中には, 2 粒子間の独立したメニスカス水が 6 個存在する. よって, 4 粒子の組合せに作用するサクシオンの総量は, 粒径の組合せによって定まる. 4 粒子モデルで 2 球変化する場合, 1 球のみ変化する場合よりも, 小さい粒径比で大きなサクシオンが働くことがわかった. 本モデルでいうと, 1-1-1-8 と 1-1-2-2 が同程度のサクシオンとなる. 4 粒子の組合せに働くサクシオンの総量と飽和度との関係を図 7 に示す. 飽和度が 54.66%~76.92%まで変化してもサクシオン総量の変化は約 3%となった. これは, 不飽和土の水分特性曲線において, 中飽和度域でサクシオン変化が小さいことと符合する結果である.

5. まとめ

異粒径の土粒子組合せに働くサクシオンの違いを定量的に求めた. 本手法を用いることで, ランダム配置の土粒子群におけるサクシオンの推定が期待される. 飽和度 76.92%以上の高飽和度域に対応できてはいないので, 将来的に手法を改良してサクシオン変化の大きい高飽和度への対応を検討する.

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.

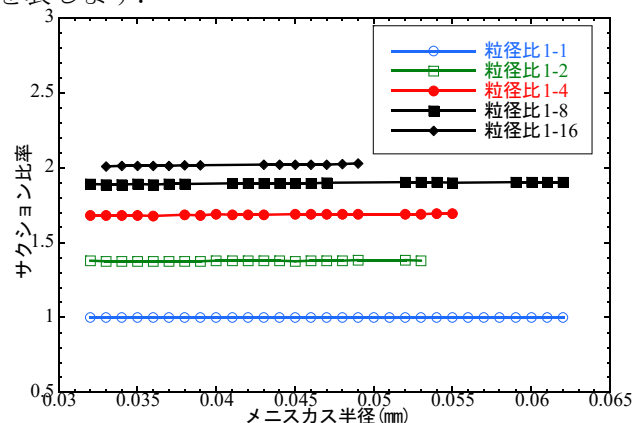


図 4 1 粒子変化のサクシオン比

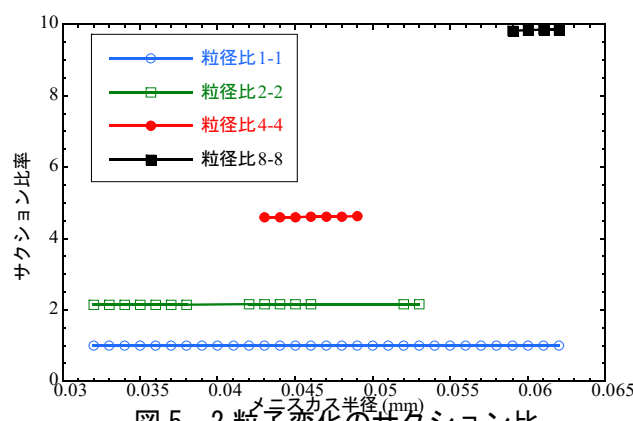


図 5 2 粒子変化のサクシオン比

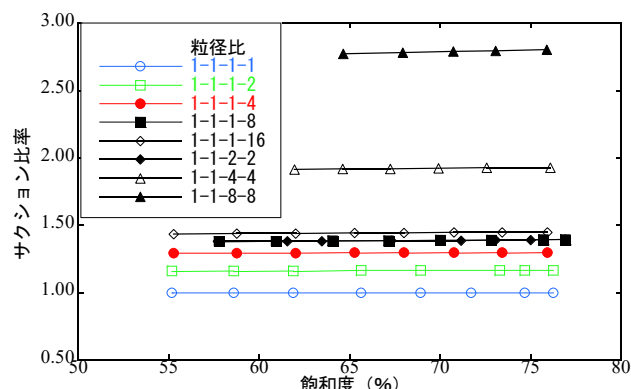


図 6 4 粒子間のサクシオン比

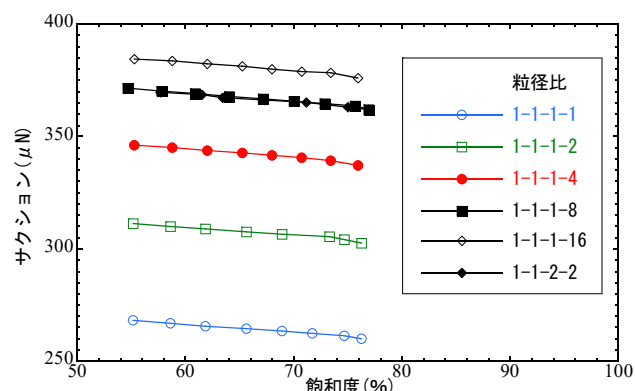


図 7 飽和度とサクシオンの関係

参考文献

- 1) 遠藤ら: 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.