

1.はじめに

国内外において高含水比粘土を有効利用するためには、所定の強度に達するまで脱水を行う必要がある。

本研究では、真空圧密工法に代わって、電力を用いず、環境に配慮し、低コストを目指したサイフォンの原理を用いた負圧の吸引力によって、粘土の圧密排水を行うことを目標としている。本研究では高含水比粘土の代表として浚渫土砂を実験試料に用いる。浚渫土砂は有害物質を含む場合があり、環境基準値を上回る有害汚染物質を含む場合には、産業廃棄物として処理されている。そこで、フィルター材に有害汚染物質の吸着効果の期待できる多孔質材料を用いることで浄化機能を付与した新たな盛土構造物を造成できるものと考えている。不飽和フィルターを介した粘土の圧密排水を行うことで、図1に示すような脱水機能と浄化機能を合わせ持つ盛土造成システムの構築を目指す¹⁾。

2.排水実験概要

(1)実験試料：本研究では、関門航路で採取した浚渫土砂を使用する。準備として、2ミリふるいで濾した。フィルターには高炉水砕スラグを使用した。高炉水砕スラグは、多孔質材料であり、製鉄の製造過程で生成する副産物である。また、水と反応して硬化する「水硬性」を有しているため、時間経過とともに盛土体としての強度増加期待できる。比較対象として、多孔質材料であるゼオライトと豊浦砂をフィルターに使用した。

(2)実験装置・実験方法：実験装置には図2のような内径約49cmの円柱の土槽を使用した。サイフォン水頭4.25mを設け、円柱内部の底面にPBD、その上にフィルター材を締固め度90%、高さ5cmまで設置した。浚渫土砂を現場の初期状態である含水比約170%に調整し、高さを15cmまでできるだけ空気が入らないように脱気しながら投入した。排水はサイフォンの原理を用いるために、チューブをPBDに連結した後、フィルター材・チューブを水で満たした状態から排水を開始した。

3.排水実験結果と考察

図3に各フィルターを用いた場合の排水量の経時変化を示す。多孔質材料をフィルターに用いた場合には、排水が数分から数十分で停止した。多孔質材料と豊浦砂を混合したフィルターを用いた場合にも、同様の傾向を示した。室内実験によってフィルターに多孔質材料を用いると、サイフォンの原理だけでは圧密排水ができないことを確認した。要因としては、多孔質材料が飽和しておらず、粘土と各の水頭差のバランスにより浚渫土砂から多孔質材料への水の流入が抑制される状態にあったことなどが考えられる。

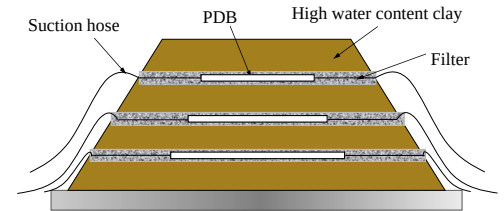


図1 盛土造成イメージ図

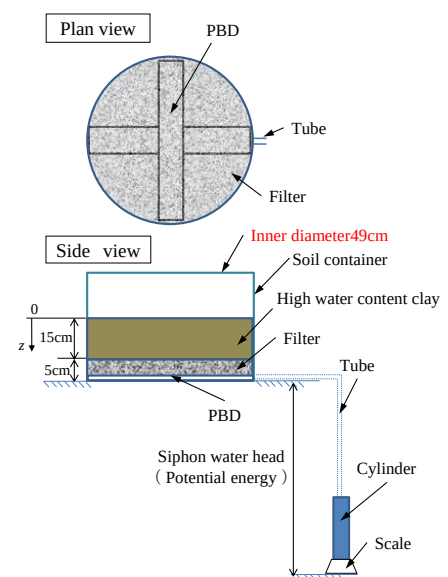


図2 実験装置概要

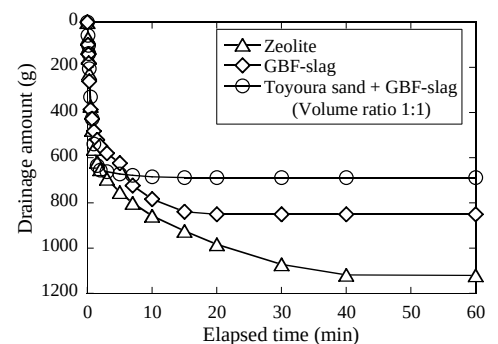


図3 各フィルターを用いた排水量の経時変化

4. 負圧作用下における 2 層地盤の水の移動に関する考察

図 4 のような砂を円筒状に敷き詰め、下部のコックを閉めた状態で試料の上部に水面を持たせる。そこからコックを開けることによって、水は試料から抜けていくが、不飽和状態になった試料の持つ毛管上昇力によってある高さまでは飽和状態を保つ。このときの高さが空気侵入値に対応する値となる²⁾。また、コックを開け、さらに負圧を与えることで飽和領域の高さが小さくなることが考えられる。粘土層からフィルターへの水の移動を考えるため、図 4(c) に示す粘土層の水分特性曲線を考える。図 5 にその概念図を示す³⁾。初期状態の粘土は、高含水比のスラリー状態であるため、飽和とみなす。フィルターを介して粘土層に空気侵入値を超える負圧が生じる場合、粘土中の水がフィルターに排水される(a)。しかしながら、不飽和フィルターの B 値等の影響により、負圧が空気侵入値を超えない場合は、粘土中の水は排水されない(a')。水分特性曲線を用いて図 4(c) の 2 層地盤における飽和度とサクションの関係を明らかにすることは、不飽和フィルターを介した粘土の圧密排水を行ううえで重要であると考えられる。

浚渫土砂の水分特性曲線を求めるため、遠心法による保水性試験を行った。図 6 に結果を示す。粘土の空気侵入値は実験結果から読み取れる概算よりも大きくなることが考えられる。本研究では、初期含水比 $w=170\%$ の浚渫土砂の排水過程における水分特性曲線を求める必要がある。初期含水比 $w=170\%$ の粘土を用いた遠心法による保水性試験では、試験終了後の供試体の体積は半分以下となった。遠心法による保水性試験は、有用性は高いが、遠心力に伴う体積変化の評価手法に課題がある⁴⁾。このため、高含水比粘土の水分特性曲線を求めるにあたっては、特に低サクション下での体積含水率の変化を捉えることのできる試験を実施する必要がある。

5. まとめ・今後の課題

多孔質材料を介したサイフォンによる粘土の圧密排水は、フィルターが不飽和であるため、粘土の圧密排水が行われないことが示された。負圧作用下における 2 層地盤の水の移動について、メカニズムを明らかにするため、粘土とフィルター材の精度のよい水分特性曲線や不飽和透水係数を求める必要がある。

今後は、信頼性の高い水分特性曲線を描くため、水頭法等の保水性試験を行うとともに 2 層地盤の層厚や負圧を変化させた条件で実験を行う予定である。

<謝辞>本研究の一部は、九州大学教育研究プログラム・研究拠点形成プロジェクト (P & P) の支援を得て実施したものである。ここに記して謝意を表します。

[参考文献] 1) Jun Tong : Consolidation behavior of ultra-soft clay and its improvement by siphon method with horizontal layered drainage system, 九州大学博士論文, pp.98-101, 2012 2) 社団法人土質工学会 : ジオテクノート 5 不飽和土, pp.53-72, 1993 3) 社団法人地盤工学会 : 不飽和地盤の挙動と評価, pp.27-31, 2004 4) 荒木功平ら : 遠心法による保水性試験時の体積変化に関する確立的評価手法の一提案, 地盤材料試験・地盤調査の精度とばらつきに関するシンポジウム論文集, pp.101-108, 2012

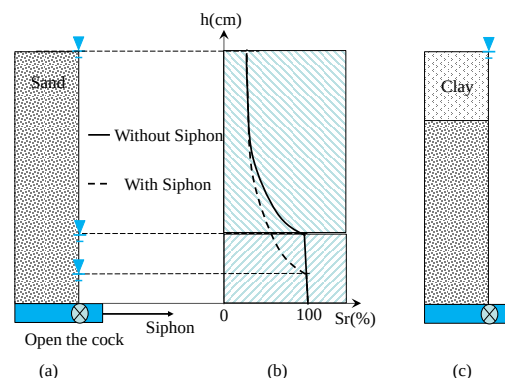


図 4 土柱からの排水概念図²⁾

(参考文献より引用・加筆)

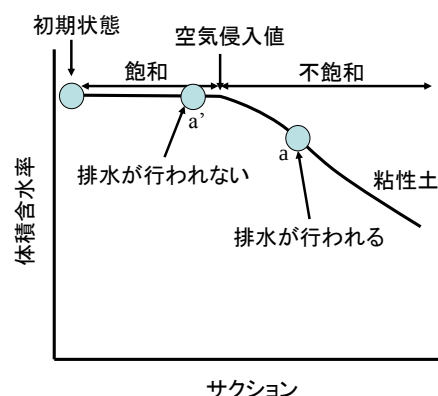


図 5 粘土層の保水性概念図

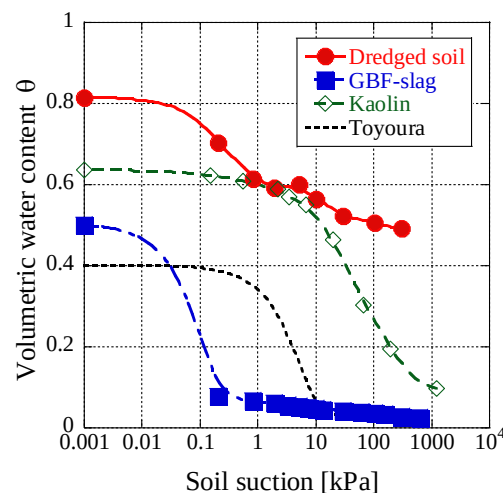


図 6 各種試料の水分特性曲線(遠心法)