

1. はじめに

港や航路の海底に堆積する浚渫土砂は、国内年間約 2000 万 m^3 発生しており、処分方法としては処分場への処分の割合が一番多く、70%を超えている¹⁾。しかしながら、処分場には限りがあるため、処分場の確保・浚渫土砂の有効活用や減容化が求められている。また、浚渫土砂の中には、船舶の塗装剥離等が原因で有害物質を含む場合もあり、環境基準を超える有害汚染物質を含む場合には、産業廃棄物として処分されている。

高含水比粘土を脱水させる新たな方法として、サイフォンの吸引力を作用させることを考える。また排水フィルターに有害物質の吸着効果が期待できる多孔質材料を用いることによって、浄化機能の付加も可能となる。これまでの土槽を用いたサイフォンによる室内圧密実験では、飽和フィルターを用いた場合には粘土の圧密排水が行われるが、不飽和状態の多孔質材料を用いたフィルターを使用した場合にはサイフォンの原理が作用しないことが明らかとなった。また、不飽和フィルターを用いた場合にも上載圧を作用させることでサイフォンの原理が作用することも確認されている。

本研究では、不飽和フィルターを用いた場合、上載圧を併用することでサイフォンの原理が作用するメカニズムを明らかにするための基礎実験として、フィルター材に豊浦砂、粘土には浚渫土砂を使用したカラム試験を行い、サイフォン吸引力の伝達特性について検証を行った。使用した浚渫土砂の基礎物性値を表 1 に示す。

表 1 浚渫土砂の基礎物性

土粒子密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	液性限界 (%)	塑性限界 (%)
2.70	95.0	35.9
初期含水比 $w_{ini}(\%)$	初期間隙比 e_{ini}	圧縮指数 C_c
168.2	4.28	0.44

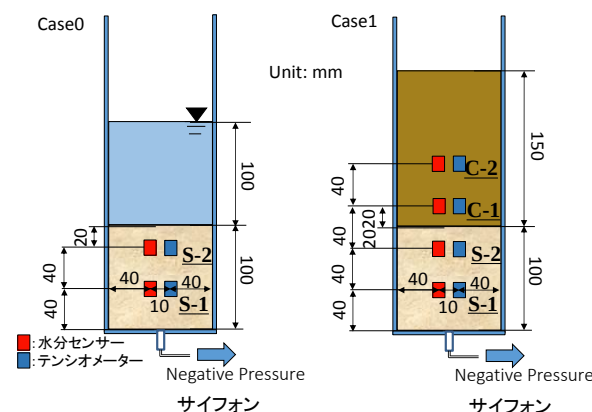


図 1 カラム試験概要図

2. カラム試験概要

(1) 計測センサーの出力値の確認：計測センサー（土壌水分計，テンシオメータ）の出力結果の傾向を確認するため、内径 10cm のカラム内に層厚 10cm の豊浦砂層（締固め度 90%）を作製し、計測センサーを設置した。計測センサーの設置位置を図 1(Case1)に示す。センサー設置位置は、砂層下部から順に、S-1、S-2 とした。その後、カラム下部からゆっくり水を注入し、水位高さが 20cm でカラムへの注水を終了した。サイフォン水頭は 4.25m とし、サイフォンの原理を用いるため、下部チューブを水で満たした状態で排水孔を開き、試験を開始した。排水量、サクション ($s = u_a - u_w$)、体積含水率 ($\theta = V_w/V$) の経時変化をそれぞれ図 2, 3, 4 に示す。図 2 より、試験開始から 100s 程度で、カラム内からの排水が収束している。図 3 に示されるように、試験開始前の水頭差の影響で初期サクション値は負の値を示したが、排水とともにサクションの値が上昇してピークを示し、排水終了後は、豊浦砂の保水性により一定値を示した。図 4 に示すように、砂層内の体積含水率も排水終了とともに減少している。砂層厚に変化が見られなかったため、体積含水率の減少は砂層内水分量の減少を示しているものと考えられる。

(2) 砂・粘土二層地盤でのカラム試験：砂・粘土二層地盤に対して、サイフォンによる吸引力での圧密促進効果を確認するため、(1)と同様の手順で試験を実施した。豊浦砂層 10cm を作製後、カラム下部から注水し、その

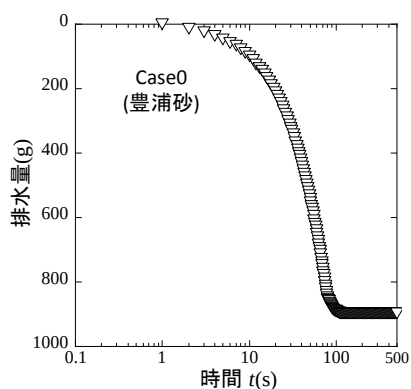


図 2 排水量の経時変化

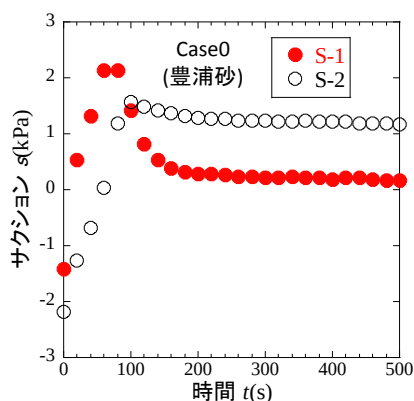


図 3 排水時のサクシオン変化

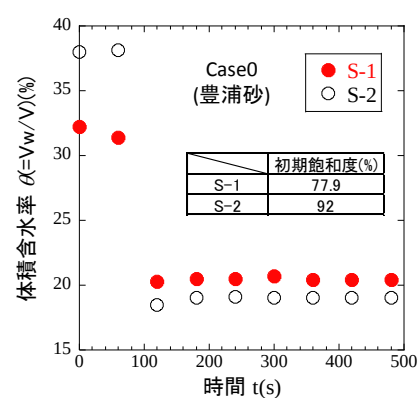


図 4 排水時の体積含水率変化

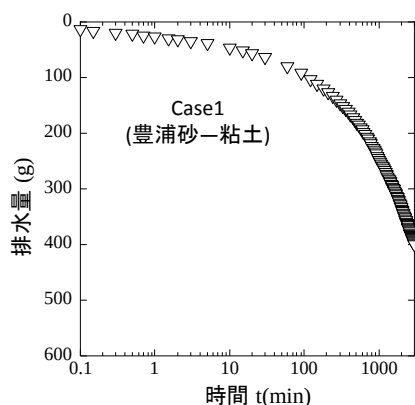


図 5 圧密排水量の経時変化

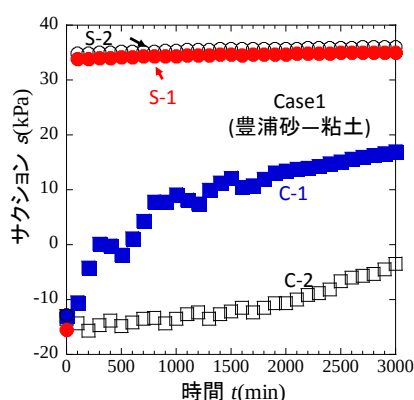


図 6 サクシオンの経時変化

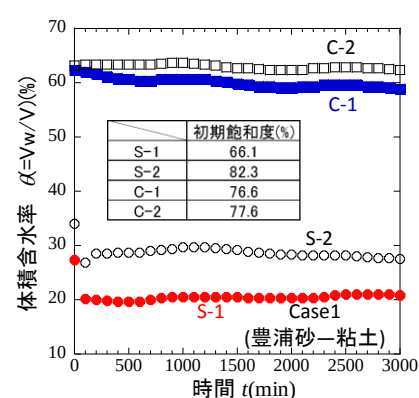


図 7 体積含水率の経時変化

後、浚渫土砂 ($w=170\%$) を上部から投入し、層厚 15cm の粘土層を作製した。計測センサーの設置位置は、粘土層下部から順に C-1、C-2 とした。排水量、サクシオン、体積含水率の経時変化をそれぞれ図 5、6、7 に示す。図 5 に示されるように、約 1 日経過後も継続して排水が行われていることから、粘土の圧密排水が行われているものと推察される。図 6 の砂層内のサクシオン値に注目すると、初期状態では負の値を示していたが、試験開始後は、35kPa 程度のサクシオンが発生し、一定の値を保った。これは、サイフォン水頭ほどの負圧が砂層内に作用しているものと推察される。一方、粘土層内のサクシオン値に着目すると、試験開始直後は負の値を示しており、時間の経過とともに徐々にサクシオン値が増加した。砂層に接している粘土層下部から順にサクシオン値が上昇しており、粘土層内にサイフォンによる吸引力が伝達されているものと推察される。実験終了後の砂層厚に変化は見られなかったため、図 7 の体積含水率の経時変化から砂層内の水分量はほぼ一定の値であったものと推察される。粘土層内の体積含水率が緩やかに減少している点からも、フィルター材に豊浦砂を用いた場合にはサイフォンの吸引力が発揮され、粘土層にも発揮され、圧密排水が行われることが明らかとなった。

3. まとめ・今後の課題

豊浦砂を用いたフィルター内のサクシオンはサイフォン水頭程度の値を示しており、粘土排水面から徐々に負圧が伝わることで圧密排水されることが明らかとなった。今後はフィルター材に多孔質材料を用い、サイフォンと上載圧を併用した場合や真空ポンプを用いた実験を行うことで排水が行われるメカニズムを明らかにする予定である。

<謝辞>本研究を進めるにあたり、ハザリカ・ヘマンタ氏（九州大学大学院教授）や中島通夫氏（技術協力スタッフ）には多大な学術的・技術的支援をいただきました。ここに記して謝意を表します。

<参考文献> 1) 国土交通省 港湾局：平成 21 年度土壌環境に配慮した浚渫土砂活用方策に関する検討業務報告書（要約編），pp3-12,2010