

サイフォン型パイプドレーンの基礎的研究

中部大学 工学部 学生会員 ○梅基 哲矢
 中部大学 工学部 非会員 伴 幸樹
 中部大学 工学部 正会員 杉井 俊夫

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、河川堤防において不透水層地盤の堤防が崩壊する箇所が見つかった。今回の震災では、図1に示すような柔らかい堤防基礎地盤のめり込み部に溜まった雨水等による飽和域が液状化する堤体内液状化が多く発見された¹⁾。堤体内部からの排水工としてドレーン工があるが高低差を利用した排水設備であり、排水するは滞留水の水位以下に設置する必要がある。そこで、動力源なしで堤体内の低い部分から高いところへの排水が可能な土の毛管上昇を利用することにした。本報告は、毛管現象によるサイフォン効果と繰り返しの性能について報告する。



図1 堤体内の閉封飽和域と部分液状化

2. 毛管上昇を利用したサイフォン実験

土の不飽和特性である毛管上昇と水分量増加による重力排水の確認を行った。アクリルパイプを用いて実験装置を作成した(図2)。ペットボトルで給水側を定水位とし排水口を水位面より±37mmの位置としている。珪砂6号($D_{10}=0.12$ (mm)、 $\rho_d=1.70$ (g/cm³))と珪砂8号($D_{10}=0.06$ (mm)、 $\rho_d=1.60$ (g/cm³))での粒度の違いや高低差から時系列的にみた排水量を計測しその特性を検討した。また実験終了後6時間あけて再度実験することで再現性も検討した。ここでは水位面よりも37mm低い場合について述べる。

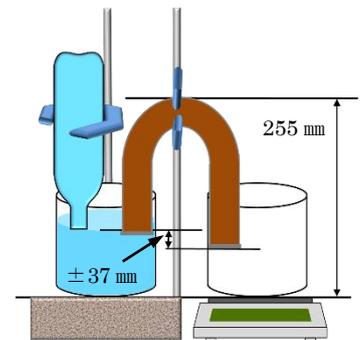


図2 サイフォン実験装置

珪砂6号と珪砂8号ともに回数を重ねるごとに排水量が増加した(図3、4)。この原因としては、はじめはソイルポンプ内が完全に飽和しておらず、毛管上昇による排水が主で重力排水部分が少ない状態であったのに対し、4回目になると全体に飽和域が拡大し、重力排水部分が増加した為と考えられる。また、排水量を4日目18時間後と比較すると、珪砂6号が珪砂8号よりもおよそ6倍の排水量を計測した。粒度によって排水量に違いがある要因としては、珪砂6号と比べ間隙が小さい珪砂8号の吸引圧が高く、重力排水時に吸引圧により排水を抑制している可能性がある。また、珪砂6号がまだらに浸透しているのに対し珪砂8号は均一に浸透したことを確認している。均一に浸透する珪砂8号は毛管上昇できる空隙が少なくなるが、まだらに浸透する珪砂6号は珪砂8号と比べ空隙が多くあり、毛管上昇がしやすい状態であった可能性がある。

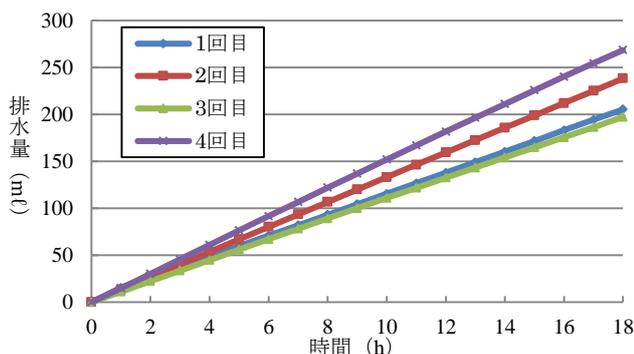


図3 繰り返し排水量の推移 (珪砂6号)

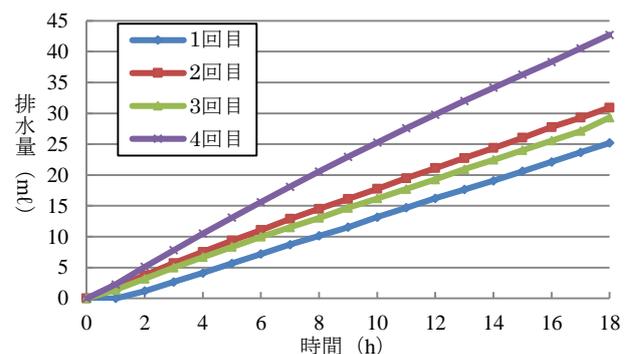


図4 繰り返し排水量の推移 (珪砂8号)

1 時間当たりの流量 Q を断面積 A で除すことで時間経過と流速の関係を求めた (図 5, 6)。珪砂 6 号の 1 回目では 18 時間後まで少しずつ流速が早くなっていった。排水開始 18 時間後でも飽和域があまり拡大せずサクションによる動水勾配が大きくなったと考えられる。それ以外に関しては排水開始 1~4 時間後にピークを迎え、その後少しずつ流速が遅くなっていった。これは、ピークの時間から重力排水が開始され、飽和度の増加とともにサクションによる動水勾配が小さくなり、流速が低下していくと考えられる。

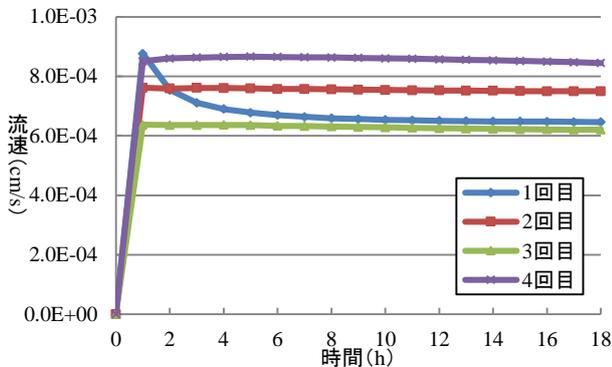


図 5 時間経過と流速の関係 (珪砂 6 号)

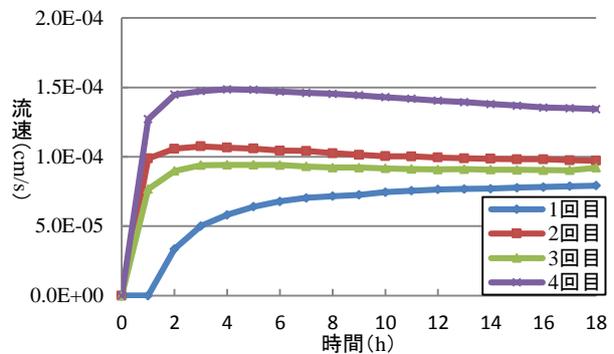


図 6 時間経過と流速の関係 (珪砂 8 号)

3. 毛管上昇高の計測実験

全長 101 (cm)、管径 2.7 (cm) のアクリルパイプ内に珪砂 6 号 ($\rho_d=1.70$ (g/cm³)) と珪砂 8 号 ($\rho_d=1.60$ (g/cm³)) を詰め込む。アクリルパイプの片端には、サイフォン実験と同じ水のみ通すことが出来るフィルターを貼りつける。スタンドとクランプでアクリルパイプと蒸留水を入れた水位を一定させるための 2 (ℓ) ペッドボトルを固定させる。蒸留水はバットに流し込むようにし毛管上昇高 hc を各 3 回実測した。また、一般に飽和した土の透水係数 k を推定する式として Taylor 式が知られている。サイフォン実験での珪砂 6 号と珪砂 8 号の透水係数 k を推定し、毛管上昇高 hc との関係の評価した。

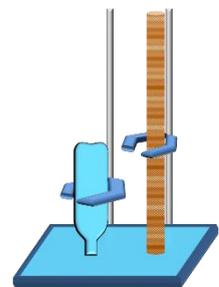


図 7 毛管上昇高計測実験

$$k = \frac{\gamma_w}{\eta} D_s^2 \frac{e^3}{(1+e)} C_k \times \frac{1}{10^4} \quad (\text{式 1})$$

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³) η : 粘性係数 (Pa·S) C_k : 形状係数 D_s : 土粒子の直径(cm)、 e : 間隙比

透水係数 k は、昨年度のサイフォン実験²⁾での珪砂 8 号が 6.77×10^{-5} (m/s)、今年度の珪砂 6 号が 5.15×10^{-5} (m/s)、珪砂 8 号が 2.06×10^{-5} (m/s) となった。また、3 回平均の毛管上昇高 hc は珪砂 6 号が 58.2 (cm)、珪砂 8 号が 91.8 (cm) であった。図 8 より今年度の珪砂 6 号と 8 号を比べると吸引圧が高くなると透水性を損なうことが分かる。また昨年度の珪砂 8 号は今年度よりも乾燥密度 ρ_d が緩く重力排水部分で吸引圧の影響を受けず透水性が高くなったと思われる。

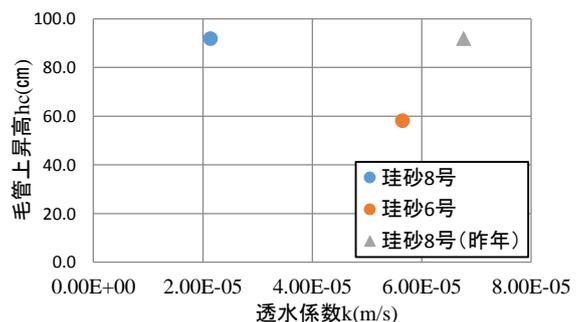


図 8 透水係数と毛管上昇高の関係

4. おわりに

ソイルポンプ実験では、回数を重ねるごとに重力排水部分が増加することや浸透の仕方により排水量に違いが出るのが分かった。また、毛管上昇高の計測実験では、吸引圧は透水性を損なわせることが明らかとなった。本研究は科研費 (萌芽研究)、中部大学特別研究 A の援助を受けた。関係者に謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 河川堤防耐震対策緊急検討委員会：東日本大震災を踏まえた今後の河川堤防の対策も進め方についての報告書，2011
- 2) 梅基ら：地盤材料を用いたサイフォン型ドレーンの検討，土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集 pp389-390，2013