



2.不飽和土の透気係数について(室内透気試験装置・手法の紹介)

岐阜大学産官学融合センター
助教授 神谷浩二

1. はじめに

河川堤防などの土構造物が降水等によって急激な浸水を受けたとき、不飽和領域で空気が閉じ込められ空気圧が増大する事例が観測されている。即ち、不飽和土中の間隙空気の挙動を把握することは重要である。筆者らは、不飽和土の透気特性への保水性による影響関係を究明することを意図して、透気係数を測定するための室内透気試験装置を開発した。

2. 保水性制御型の透気試験装置および手法

装置は、図1に示すように、試料層を設置する円筒容器(側面にセラミックフィルタを取り付けたもの。試料層は断面積 $A = 28.3\text{cm}^2$ 、長さ $L (= 2\text{cm}$ 程度)の円柱体)と加圧室、試料層に鉛直荷重を与える荷重機器と鉛直変位を測定する変位計、サクシオンを負荷するときに用いる真空ポンプ、ビューレット、水圧計、空気透過させるときの空気コンプレッサー、空気圧力調節器、空気圧計、空気流量計のそれぞれによって構成されている。

試験手順の概略は以下のようである。

1)サクシオン・飽和度の制御: ある飽和度 $S_r(\%)$ 含水比の試料層を円筒容器に設置し、加圧室を組み立てる。なお、予め、円筒容器のセラミックフィルタは蒸留水で飽和されている。次に、ビューレット内の空気圧を真空ポンプで所定の圧力に減圧することによって、試料層にある大きさのサクシオン $s(\text{cm})$ を負荷し、ビューレット内の水量変化が生じなくなる(平衡状態)まで放置する。

2)空気透過: ある大きさの空気圧に調節した空気を試料層上方に送気する。そして、試料層中を空気が透過したとき、試料層上端と下端の空気圧力水頭 $h_{a1}(\text{cm})$ と $h_{a2}(\text{cm})$ 、空気流量 $Q_{ac}(\text{cm}^3/\text{s})$ をそれぞれ測定する。

3)連続試験: 上述1)で設定した値と異なる大きさのサクシオン s を負荷し、ビューレット内の水量変化を測定しながら平衡状態になるまで放置する。そして、上述2)の通り、試料層の空気透過を確認して、空気圧力水頭 h_{a1} と h_{a2} 、空気流量 Q_{ac} をそれぞれ測定する。試験終了後には、試料層の含水比を測定する。そして、ビューレット内の水量変化の測定値から、負荷したサクシオン s のときの飽和度 S_r を求める。

4)透気係数の算出: ダルシー則に基づくと、空気を非圧縮性流体として扱った場合、空気流量 Q_{ac} と空気圧力水頭差 $(h_{a1} - h_{a2})$ の関係は次のように表現される。

$$Q_{ac} = k_a \frac{h_{a1} - h_{a2}}{L} A$$

ここで、 $k_a(\text{cm}/\text{s})$ は透気係数である。図2は、炉乾燥した試料層について空気圧力水頭差 $(h_{a1} - h_{a2})$ を増加させたときの空気流量 Q_{ac} の変化を測定した結果の例を示したものである。 $(h_{a1} - h_{a2})$ の値が0~100cm程度の範囲では、図中の実線のように、上式の関係が成立する。即ち、試料層に負荷する空気圧力水頭差がその範囲内にあるとき、上式の関係によって透気係数を算出できる。

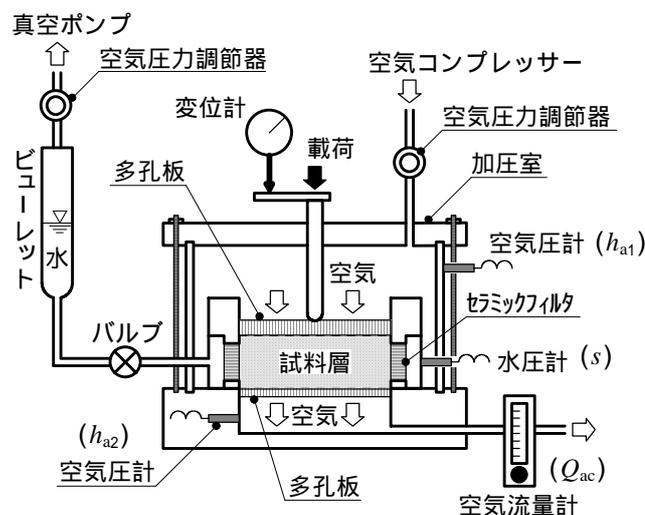


図1 保水性制御型の透気試験装置の概要図

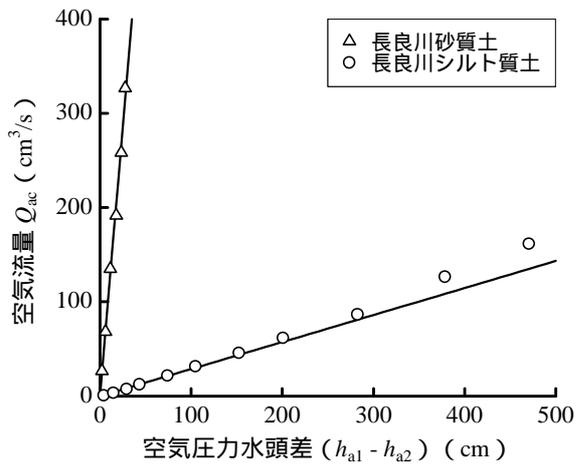


図2 空気圧水頭差と空気流量の関係

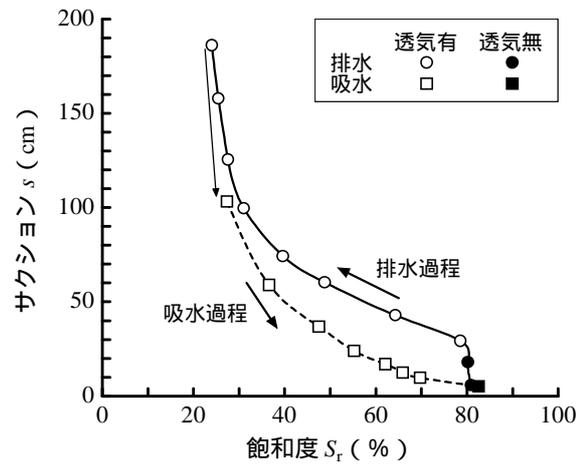


図3 水分特性曲線(長良川砂)

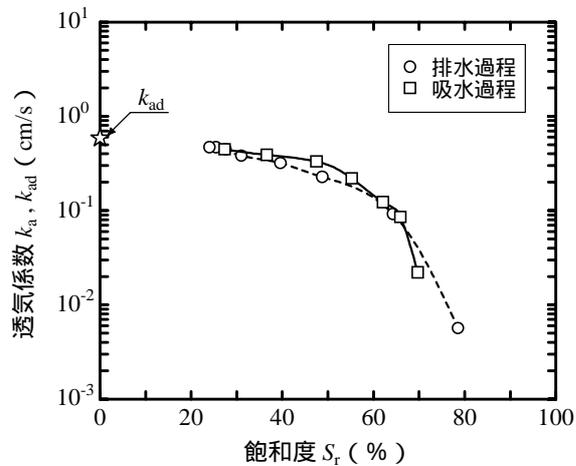


図4 飽和度と透気係数(長良川砂)

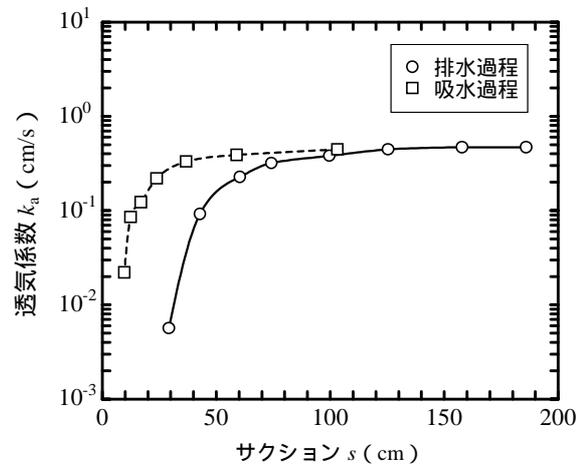


図5 サクションと透気係数(長良川砂)

3. 透気係数の測定例

1) 試験のケース： 長良川砂を用いて、飽和度の高い試料層(飽和度 $S_r = 80\%$ 程度)を円筒容器に作成して、ゼロに近いサクションを負荷し、試料層の飽和度を高める。次に、サクションを段階的に増加させる排水過程で透気試験を行い、その後に、サクションを減少させる吸水過程で透気試験を行った。

2) 水分特性曲線： 図3は、測定した飽和度とサクションの関係を示したものである。図中の印(排水過程)と印(吸水過程)は、そのときの飽和度あるいはサクションのときに透気が生じなかったことを表す。

3) 飽和度・サクションと透気係数： 透気が生じたときの飽和度範囲もしくはサクション範囲について、飽和度と透気係数の関係を示したのが図4、サクションと透気係数の関係を示したのが図5である。図4によれば、図3の水分特性曲線の残留飽和度 S_{r0} よりも小さい飽和度範囲での透気係数の値は、炉乾燥土の透気係数 k_{ad} の値と同じ大きさになる傾向がある。そして、飽和度増加に伴い透気係数の値は減少し、水分特性曲線の最大飽和度 $S_{rs} (< 100\%)$ よりも大きい飽和度範囲では透気が生じない。

4. おわりに

ここでは、不飽和土の透気係数を測定する装置・手法を紹介した。この装置・手法によって、不飽和な砂やシルトについて、飽和度が $S_r = 10 \sim 80\%$ 程度の範囲内で $k_a = 10^{-3} \sim 10^0 \text{ cm/s}$ の範囲の透気係数を測定できることが判明している。なお、不飽和領域での空気封入の機構解明や予測などのために、空気挙動を連成させた飽和・不飽和浸透流解析が試みられており、透気係数はその重要なパラメータの一つである。

問合せ先： 岐阜大学産官学融合センター（住所：〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1） 神谷浩二

Tel : 058-293-2027 Fax : 058-293-2022 E-mail : kamiya@cive.gifu-u.ac.jp