

1 まえがき

不飽和土の変形・強度特性や浸透性に関わる実験的検証および構成モデルは盛り土・切り土斜面あるいは堤防さらには自然斜面の工学的課題にたいして必要である。最近では地盤を取り巻く環境問題解決にも適用が期待されている面もある。本研究では不飽和土の透水性について着目し、その中で不飽和透水試験用のアクリル製モールドを試作し、不飽和シルトの透水係数を測定することを試みた。実験結果を不飽和透水係数とマトリックサクシジョンの関係としてとりまとめ、実験においてマトリックサクシジョンを増大させる乾燥過程の不飽和透水係数の変化とマトリックサクシジョンが減少する湿潤過程での不飽和透水係数の関係についてまとめており、不飽和透水係数のマトリックサクシジョンにたいするヒステリシスも示している。

2 試料と実験方法

本実験に用いた試料は非塑性のシルト質土である。試料は均等な粒度分布を有していた。不飽和土にたいしてマトリックサクシジョンの制御・測定を行い得られた実験結果の考察において実験対象土の保水特性を調べておくことは有益である。本実験においても、非塑性シルトのサクシジョンと含水比の関係を求めた。その結果を水分保持曲線として図一1に示す。図一1には低サクシジョン領域と高サクシジョン領域を含めた全サクシジョン領域にたいする含水比の変化が示されている。低サクシジョン領域にける含水比の変化はセラミックディスクを使用した加圧板法によって求めており、土中水が間隙空気圧と間隙水圧の差異（マトリックサクシジョン）の増大によって排水され、含水比の減少が生じている。一方、高サクシジョン領域にたいしては蒸気圧法が用いられ、土中水の蒸発による含水比の減少を示している。土中水の蒸発は土中の間隙が土周囲の湿度と平衡するために引き起こされるものである。湿度をサクシジョンに換算した値を図一1に示している。このように図一1の対数軸で表示されているサクシジョンにはマトリックサクシジョンとオスモティックサクシジョンが含まれている。

本実験では不飽和透水係数の測定のためにアクリル製透水モールドを作製した。アクリル製透水モールドを含めた不飽和透水係数測定システムを図一2に示す。アクリル製モールド内の供試体の寸法は直径5 cm、長さ5 cmである。供試体の両端はAir entry value（空気浸入値）が200kPaのセラミックディスクに接している。セラミックディスク中を浸透する水はアクリル製モールドにつながれている管路内を流れる。管路は給水タンクに接続されているのでこの給水タンクに圧力を負荷することで管内の水に圧力（水圧）を加えることが可能である。大気圧以上の大きさを有する水はセラミックディスクを透過して供試体中に浸透する。次に、アクリル製モールド側部には空気流入口があり、この流入口に水圧以上の空気圧を供給することでアクリル製モールド内の供試体中に空気圧が作用される。このような方法で供試体にはマトリックサクシジョンを制御することができ。さて供試体の他端にセラミックディスクから透水された水を測定することで流量が求められる。透水係数を求めるにあたり土中の流れは、層流としてダルシー則に従うとする。動水勾配に必要な水頭差は給水タンク中の水圧を水頭に換算して用いた。よって供試体に与えるマトリックサクシジョンの増減による減少・増大する透水量から不飽和透水係数を求めている。供試体の初期条件としては、初期含水比10%、間隙比0.892、飽和度29.7%であった。試験中に50kPaに相当する水頭差を負荷し供試体には40kPa、60kPa、80kPaのマトリックサクシジョンを次々負荷させた。その後、80kPa、60kPa、40kPa、20kPa、10kPaへと逆にマトリックサクシジョンを減少させた。今回の透水試験で選択したマトリックサクシジョンの範囲は水分保持曲線に対応つけると土中の含水比が大きく減少した後のいわゆるSecondary transition zoneか

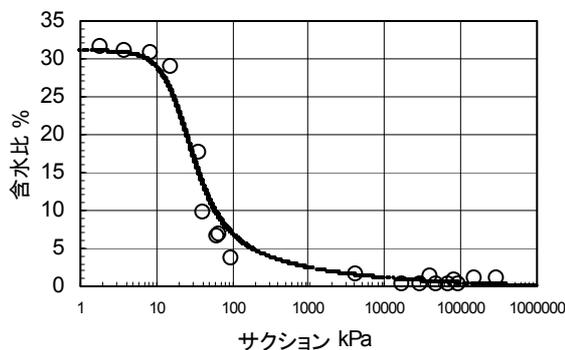
キーワード：不飽和土、サクシジョン、水分保持曲線、不飽和透水係数

連絡先：〒326-8558 栃木県足利市大前町268 足利工業大学 都市環境工学科 Tel 0284-62-0605 Fax 0284-64-1061

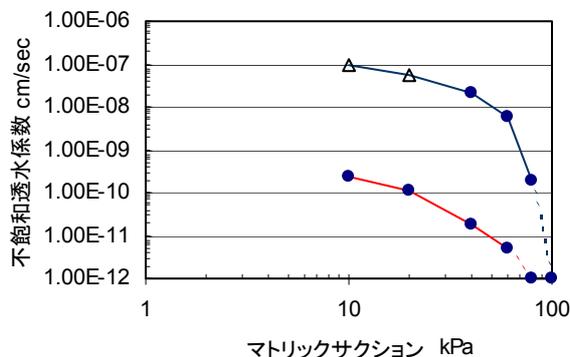
ら Residual zone へ移る領域である。

3 実験結果

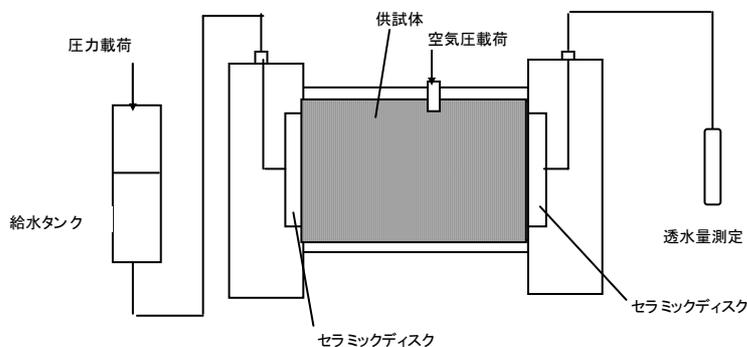
上述の実験方法および条件で測定を実施した。その際1つのマトリックサクシオンにたいして10日間以上マトリックサクシオンを一定にしながら透水量測定を行っている。マトリックサクシオンと不飽和透水係数の関係について図一3に示している。最初に制御したマトリックサクシオン40kPaの時には 2×10^{-8} cm/secの透水係数が得られた。この供試体の飽和透水係数が 4×10^{-7} cm/secであったので、その飽和透水係数に比べると1オーダの透水係数の減少が生じている。その原因は、水分保持曲線からもわかるようにマトリックサクシオン40kPaの時には土中の含水比がかなり減少し、間隙内を透水する領域が小さくなっていることがいえる。マトリックサクシオンを増大するとさらに透水係数が減少し、特にマトリックサクシオンが100kPaになると 1×10^{-12} のオーダであることから間隙水の移動は起きていないと考えてもよい。しかし、水分保持曲線を見ると土中には5%程度の含水比が残存しており、これ以後のサクシオンの増大による含水比の減少には蒸発による影響も考えられる。このように乾燥過程での不飽和透水係数はマトリックサクシオンの増大とともに減少する。次に段階的にマトリックサクシオンを100kPaから減少してみると80kPaで得られた透水係数は、100kPaの時に比べてほぼ同じであったが60kPa、40kPa、20kPa、10kPaになるにつれて不飽和透水係数が大きくなっていることがわかる。よって、湿潤過程での不飽和透水係数はマトリックサクシオンの減少とともに増加する。さらに乾燥過程・湿潤過程における不飽和土の透水性について考察すると図一3のように同じマトリックサクシオンを間隙内に存在させても乾燥過程での不飽和透水係数よりも湿潤過程での不飽和透水係数が小さく求められている。いわゆるヒステリシスの存在である。このヒステリシスは土の水分保持曲線にも存在しているであろうし、また不飽和土の透水性の把握を難しくしている原因でもある。この湿潤過程での不飽和透水係数とマトリックサクシオンの関係を参考にすると図一3の△印のように乾燥過程でのマトリックサクシオン10kPaと20kPaの時の不飽和透水係数が予測できる。



図一1 水分保持曲線



図一3 不飽和透水係数とサクシオンの関係



図一2 不飽和透水試験システム