

露点ミラー方式と簡易蒸発法による土の水分特性曲線の測定に関する一考察

鹿児島大学 学生会員 ○中島亮輔

鹿児島大学学術研究院理工学域工学系 正会員 酒匂一成

鹿児島大学学術研究院理工学域工学系 正会員 伊藤真一

1.はじめに

河川堤防の浸透に関する安全性照査を行うために、飽和・不飽和浸透流解析が用いられているが、それらを行うためには水分特性曲線や不飽和透水係数が必要である。しかし従来の保水性試験では時間がかかるため、河川堤防の構造検討の手引き¹⁾では3種類の土質に対応した、水分特性曲線の参考値が与えられている。しかし、南九州地域の河川堤防には築堤材料にしろすが含まれている場合が多く、しろすにおいてそれらの参考値が適用可能であるのかは明らかではない。そこで本論文では露点ミラー方式と簡易蒸発法の2種類の保水性試験を組み合わせることにより、短時間で広範囲の水分特性曲線を得ることを目的とし、さらに水分特性曲線の参考値との比較を行った。

2.露点ミラー方式の概要

露点ミラー方式により水ポテンシャルを測定できる装置(WP4C、decagon 社製)(写真1)を用いて測定を行った。露点ミラー方式はサンプルカップ(写真2)内に設置した供試体の含水量に対してサンプルカップ内の空気に含まれる水分量が変化し、さらにサンプルカップ内の上部に設置されたミラーを冷却することである温度に達するとミラー上部に結露が生じる。結露発生時の温度から飽和蒸気圧が得られ、サンプルカップ内の供試体の水ポテンシャルと空気の水ポテンシャルが平衡状態となっていることから、供試体の水ポテンシャルを得ることが出来る。ここで水ポテンシャルの絶対値がトータルサクションであり、トータルサクションは浸透圧サクションとマトリックサクションの和である。水分特性曲線を得るためにはマトリックサクションが必要であり、WP4Cでは直接求めることが不可能である。そこで、トータルサクションから浸透圧サクションを引くことでマトリックサクションを求めた。ここで浸透圧ポテンシャル φ_o は次式²⁾で表すことが出来る。

$$\varphi_o = \varphi_{os} \frac{\theta_s}{\theta} \quad (1)$$

ここに、 φ_{os} :飽和時の水ポテンシャル、 θ_s :飽和時の体積含水率、 θ :測定時の体積含水率。



写真1 WP4C



写真2 サンプルカップ

本試験では、WP4Cで飽和度100%の供試体の水ポテンシャルを測定し、それを φ_{os} とした。

3.簡易蒸発法の概要

簡易蒸発法により不飽和透水係数と水分特性曲線を同時に測定できる装置(HYPROP、UMS社製)(写真3)を用いて試験を行った。本装置は高さの異なる2本のテンシオメータで土中の負の間隙水圧を測定し、供試体の重量を電子天秤で測定することにより供試体の含水量が測定される。これらの負の間隙水圧と体積含水率により水分特性曲線を得た。



写真3 簡易蒸発法の試験装置 (HYPROP)

4.試験結果及び考察

試験試料には、しろすを含む鹿屋堤体土を用いた。WP4Cの供試体には2mmふるい通過試料を使用し、直径3.7mm、高さ4mm、 $e=1.05$ になるように締固めを行い飽和度5%~100%の間で87回測定を行った。また、飽和度100%の水ポテンシャルをWP4Cにて10回測定し、その平均値を φ_{os} とした。これらを式(1)に代入し、得られた浸透圧サクションをトータルサクションから引きマトリックサクションを導出した。HYPROPの供試体には直径7.98cm、高さ5cmのものを使用し、 $e=1.05$ になるように締固め、供試体を一度飽和させた後、測定を開始した。WP4Cにより測定されたトータルサクション、並びに式(1)より導出された浸透圧サクション、マトリックサクションを図1に示す。WP4Cの測定結果において、20% $<S_r<$ 40%でマトリ

ックサクシオンが負の値を示し、 $S_r > 40\%$ では測定値に大きなばらつきがみられた。

WP4C は高サクシオン域の計測に適した機器であることを踏まえ、 $S_r > 20\%$ でマトリックサクシオンが不確かな値となったことから、WP4C で測定可能な範囲が決まっており、鹿屋堤体土において、およそ $S_r < 20\%$ までの範囲であると推測できる。

図2にWP4Cで得られた $S_r < 20\%$ までの範囲の水分特性曲線とHYPROPで得られた水分特性曲線の結果を示す。HYPROPでは $16\% < S_r < 100\%$ の間で測定が可能であった。 $S_r < 20\%$ のWP4Cの結果と、 $16\% < S_r < 100\%$ のHYPROPの結果を比較すると、WP4Cの水分特性曲線が、HYPROPの水分特性曲線を補完するようなプロットになっていることが分かる。またWP4Cの1回の測定時間はおよそ15分から20分で、HYPROPの測定期間はおよそ17日であった。

鹿屋堤体土は細粒分(0.075mm未満)が15%以上50%未満であることから細粒分まじり砂SFであり、これらは水分特性曲線の参考値では砂質土に対応している。河川堤防の浸透流解析に用いられている3種類の土質に対しての水分特性曲線の参考値と、試験より得られた水分特性曲線を図3に示す。60% $< S_r < 100\%$ の範囲において砂質土の参考値で表すことのできる可能性が示唆された。

5.おわりに

本論文では、露点ミラー方式と簡易蒸発法の2種類の保水性試験を行った。実験結果の組み合わせにより短期間で広範囲の水分特性曲線を得られるという可能性が示唆された。また砂質土の水分特性曲線の参考値との比較において、しらすを含む鹿屋堤体土では砂質土の参考値で評価できる可能性があるものの、今回の結果のみで判断するのは難しく、今後、データの蓄積を行い、他の保水性試験の結果と比較し、検討していく必要がある。

謝辞：本研究は、河川砂防技術開発公募（地域課題分野【河川】）（研究代表者：酒匂一成）の助成を受けた。ここに謝意を示す。

参考文献：1) 財団法人国土技術センター編：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版），JICE 資料，第111002号，p.56, 2012.

2) Andraski, B. J. and Scanlon B. R. : Thermocouple Psychrometry, In Dane, J. H. and Topp, G. C.(ed.) Methods

of soil analysis. Part 4 Physical Methods, SSSA Book Ser.5. ASA and SSSA, Madison, WI. pp.609-642, 2002.

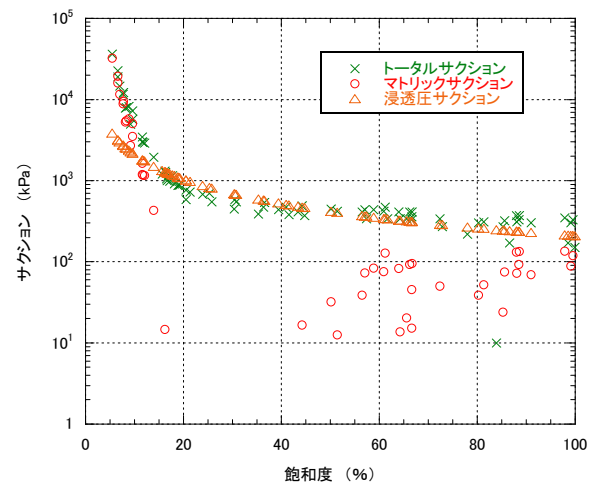


図1 WP4Cの測定結果

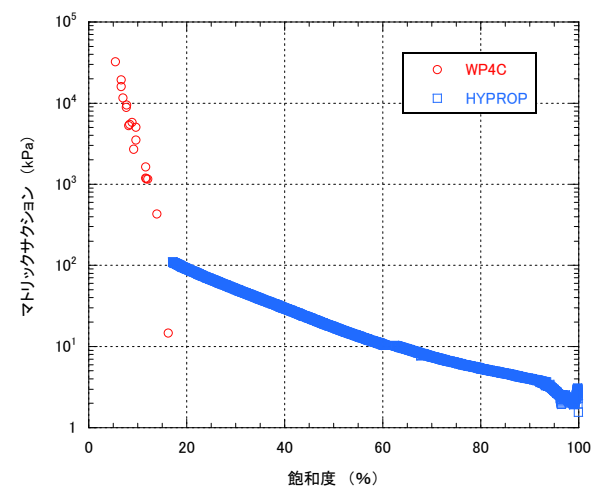


図2 WP4CとHYPROPの水分特性曲線

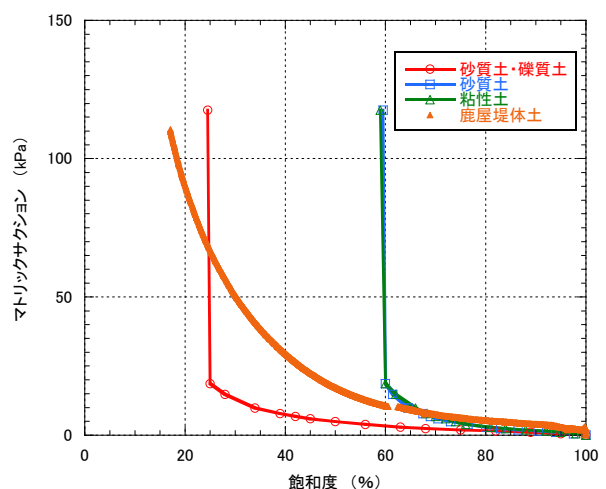


図3 水分特性曲線の参考値と保水性試験による水分特性曲線の比較