

間隙比を考慮した水分特性曲線についての考察

中部大学工学部
中部大学工学部
中部大学大学院

正会員 杉井 俊夫
正会員 山田 公夫
学生員○近藤 智美

1. はじめに

これまで、水分特性曲線は土の密度によって異なることが指摘されてきたが、その測定方法、測定限界から求められていなかった。そこで、著者らは定常法(熱電対露点法、加圧法)において体積変化を測定できるように工夫し¹⁾、細粒土に対して保水性実験を行ってきた。本研究は飽和度、サクシオン、間隙比の三要素における水分特性曲線を求めることを目的としている。水分特性曲線を飽和度別に整理することにより、サクシオンが間隙比に比例する関係を得た。この関係を用いてサクシオン、飽和度、間隙比の三要素における水分特性曲線群を導き、考察を行った。

2. 定常法による水分特性曲線

本研究は試料として、長良川シルトを(土粒子の比重 2.67、粒径 0.075～1mm)を使用した。

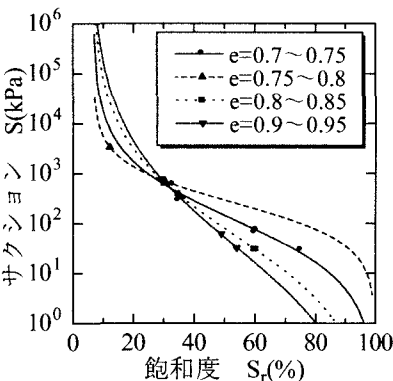
1) 熱電対露点法²⁾ 土の保水性試験には、高いサクシオンを求めるため熱電対露点計を用いている。サンプルホルダーに試料を突き固めて、サンプルチャンバーに挿入する。試料室内の温度と蒸気圧が平衡した時に、冷却(熱電対を使用)に必要な熱起電力を測定することにより水蒸気圧を出力電圧として得ることができ、化学ポテンシャルが求められる。しかし、マトリックポテンシャル(絶対値は、サクシオンに相当)のみを考えるため、浸透ポテンシャル分を差し引く必要がある。そこで、電気伝導度(χ)から式(1)より飽和時(濃度 16.7%)の浸透ポテンシャル(ϕ_{os})を求め、式(2)を用い求めたい含水比における浸透ポテンシャル(ϕ_o)を算出する³⁾。

$$\phi_{os} = -0.36 \chi \quad (1)$$

$$\phi_o = \phi_{os} (\omega_s / \omega) \quad (2)$$

ここに、 χ ：土中水の電気伝導度(mS/m)、 ω_s ：飽和時の含水比(%)、 ω ：含水比(%)

また、乾燥密度を測定するために、体積の測定が必要になるため、パラフィン(密度 0.802g/cm³)を塗布し、水中体積を計測し、あらかじめ求めておいたサンプルホルダーとパラフィンの体積を差し引き、土試料の体積を求めることを行った。



図－1 間隙比別水分特性曲線

2) 加圧法 高サクシオンとなるため座標変換法を用いた。この方法は、大きな負圧を計測する上でセンサーの測定限界や空気圧による気泡発生などの問題を解決できる特徴を有している。今回、密度ごとに水分特性曲線を求める必要があるため、少ないデータで回帰可能な著者らが提案した水分特性関数モデル⁴⁾ (式(3)) を用い 4 本の水分特性曲線を求めた(図－1)。

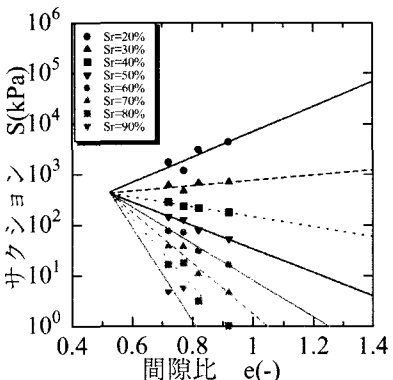
$$Se = \frac{1}{1 + \exp(A + B \log_e |S|)} \quad (3)$$

ここに、S:サクシオン、A、B:推定されるパラメータ、Se:有効飽和度

この関数は、2 点以上のデータがあれば van Genuchten と同様に正確なフィッティングが可能である。

3.三要素による水分特性曲線群

水分特性関数モデルによって求められた、4 本の水分特性曲線上の点を抽出し、飽和度をパラメーターとして間隙比とサクシオンの関係を図－2 に示した。図－2 よりサクシオンは飽和度ごとに、間隙比に対して比例することがわかり、式(4)によって回帰すると、パラメータ



図－2 間隙比とサクシオン

$\log S = a + b \cdot e$ (4) ここに、a、b：最小二乗法におけるパラメータ e：間隙比

a,bは、表-1のように求められる。また、図-2より式(4)によって引いた直線は、ほぼ一点 (e=0.52、S=10^{2.65} kPa) で交わっていることがわかる。これより、式(4)は式(5)として表すことができる。

$\log S - 2.65 = b \cdot (e - 0.52)$ (5)

式(5)のパラメータbは、飽和度のみで特定化されることがわかる。図-3に式(4)または式(5)の傾きbと飽和

表-1 最小二乗法によるパラメータ a,b

Sr(%)	20	30	40	50	60	70	80	90
a	5.76	1.22	-2.24	-5.3	-8.3	-11.51	-15.38	-21.16
b	2.5	0.53	-0.97	-2.3	-3.6	-5	-6.689	-9.19

度の関係を示した。bについては水分特性曲線と同様に、S字型曲線となっており、式(3)と同関数系でbの回帰を行ったのが図-3中の式である。これを式(5)に代入しは、サクシオン、飽和度、間隙比の式(6)で表すことができる。そこで、式(6)を用いて三要素における水分特性曲群を図-4に描いた。

$$\log S = 2.65 + \left(-2.20 + \left(\frac{1}{0.308} \right) \ln \left(\frac{100 - S_r}{S_r} \right) \right) (e - 0.52)$$
 (6)

水分特性曲線群は、飽和度が小さいほど、間隙比によるサクシオンのばらつきが大きくなる。この原因は、間隙比による最小（残留）飽和度の違いが考えられる。

4. 間隙比とサクシオンの関係による交点

先に述べたように式(4)は一点で交わることがわかった。この交点のサクシオン値 (10^{2.65} kPa) は図-1の密度が異なる水分特性曲線が交差する時の値でもある。そこでこの交点について調べるため、JIS A1209による収縮定数試験により、収縮限界を求めた。その結果、試料の収縮限界 ω_s = 20.1%、収縮比 R=1.69における間隙比 0.57を得、今回の交点の間隙比と非常に近い値を示した。また、サクシオン 10^{2.65} kPa は、収縮限界の値であり、水分恒数の上では、初期しおれ点の値に近く、表面保水と間隙保水がそれぞれ卓越する境界でもある。このことから、この交点が、収縮限界と何らかのサクシオン値であるならば、これを使って様々な水分特性曲線群を描くことに利用できると考えられる。なお、現在、長良川シルトのみの実験結果であるので、今後、他の試料についても検討する予定である。

謝辞：本研究は、平成 11～12 年度科学研究費補助金（基盤研究（C）代表：山田公夫 No.11650515）の補助を受けた。ここに記すとともに謝意を表します。

<参考文献> 1) 杉井・山田・大塚、熱電対露点計による試料密度を考慮した土の保水性評価、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、pp.253～254、2000
2) 岩間英矩・石井和夫・古田哲、熱電対露点計による水分ポテンシャルの測定、土壌の物理性第 44 号、pp2～8、1981
3) 塩沢昌、サイクロメータによる土壌水のポテンシャル測定、土壌の物理性第 62 号、pp53～61、1991
4) 杉井俊夫・宇野尚雄、簡便な不飽和浸透特性のモデル化、不飽和地盤の透水にかかわる諸問題シンポジウム発表論文集、pp.179-184、1996
5) 杉井・山田・近藤、土の密度を考慮した水分特製曲線についての一考察、地盤工学研究発表会講演集、p p 1271-1272、2000

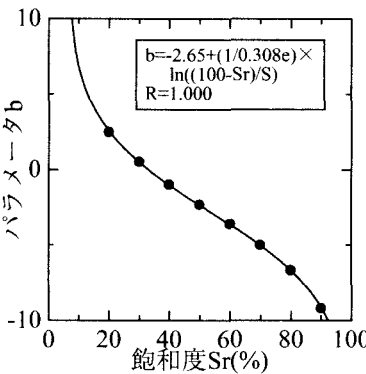


図-3 飽和度とパラメータ b

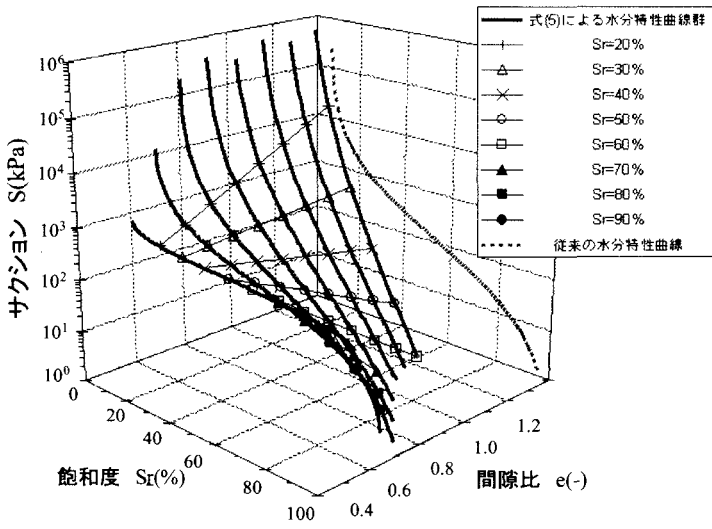


図-4 三要素による水分特性曲線群