

土の密度と水分特性曲線の関係について

中部大学工学部 正会員 杉井 俊夫
中部大学工学部 正会員 山田 公夫
中部大学大学院 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の状態によって異なることが指摘されてきたが、その測定に時間がかかることやセンサーの測定限界から、密度ごとに求められた保水性についてはあまり論じられてこなかった。そこで、本研究では、定常法(熱電対露点法、加圧法)により乾燥密度を考慮し、細粒土(シルト:土粒子の比重 2.67、粒径 0.075~1mm)に対して保水性実験を行い、体積含水率、サクシオン、乾燥密度の三要素における水分特性曲線群について検討を行った。乾燥密度ごとに実験データを整理し、van Genuchten モデルと同形かつ少ないデータでもフィッティングが可能な関数モデル¹⁾を使って補完し、さらに水分特性曲線を飽和度別に推定した。また、飽和度、乾燥密度、水分量の関係から、三要素における1つの水分特性曲群(面)を求めている。

2. 2つの定常法による水分特性曲線

1) 熱電対露点法

土の保水性試験には、熱電対露点計²⁾を用いている。サンプルホルダーに試料を突き固めて、サンプルチャンパーに挿入する。試料室内の温度と蒸気圧が平衡した時に、冷却(熱電対によって)に必要な熱起電力を測定することによって水蒸気圧を求める。計測値である出力電圧から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ことから、電気伝導度()を求め、式(1)より浸透ポテンシャル(ψ_{os})を求めた³⁾。

$$\psi_{os} = -0.36 \quad (1) \quad \text{ここに、} \quad : \text{土中水の電気伝導度(mS/m)}$$

また、乾燥密度を測定するために、パラフィン(密度 0.802g/cm³)を塗布し、水中で体積を計測し、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⁴⁾。

2) 加圧法

高サクシオンとなるため座標変換法⁵⁾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、水分特性曲線は、実験値をもとに著者らが提案した水分特性関数モデル¹⁾である式(2)を用いて熱電対露点法により、乾燥密度 1.62、1.67、1.72g/cm³、加圧法により、乾燥密度 1.23、1.52g/cm³を求めた(図-1)。

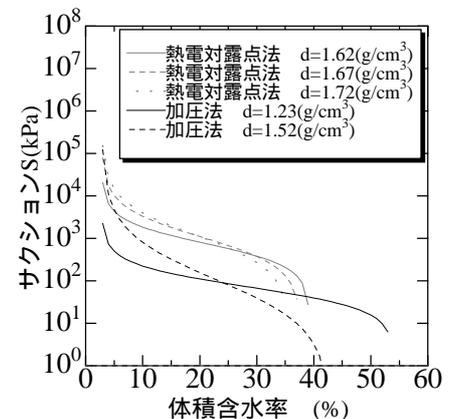


図-1 水分特性曲線

$$S = \left(\frac{s - r}{-r} \right)^{1/B} \frac{1}{\exp(A/B)} \quad (2)$$

ここに、S:サクシオン、A、B:推定されるパラメータ、 s :飽和体積含水率、 r :最小含水量、 θ :体積含水率
この関数は、線形回帰タイプとなり2点以上のデータがあればフィッティングが可能である。

3. 水分特性曲線に関するパラメータの飽和度による特定化

水分特性関数モデルによって求められた、熱電対露点法による3本の水分特性曲線について飽和度をもとに乾燥密度とサクシオンの関係(図-2)⁵⁾について求めることにする。そこで、式(3)によって回帰すると、

キーワード 水分特性曲線, 体積含水率, サクシオン, 乾燥密度

連絡先 中部大学工学部土木工学科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200, TEL0568-51-1111 FAX0568-52-0134)

パラメータ a, b は、表-1 のように求められる。

$$\log S = a + b \rho_d \quad (3)$$

ここに、a, b 最小二乗法におけるパラメータ

図-2 より式(3)によって引いた直線は、水分特性曲線における限界毛管高にほぼ等しいサクシジョンの値($\rho_d=1.4\text{g/cm}^3$ 、 $S=10^{2.45}\text{kPa}$)で交わっており、式(3)のパラメータは、飽和度のみで特定化されることがわかる。図-3 は式(3)の傾き b と飽和度の関係を示す。式(3)はサクシジョン、飽和度、乾燥密度の式(4)で表すことができる。同様に加圧法においても式(5)で表すことができる。そこで、式(4)、(5)を用いて三要素における水分特性曲面を図-4、5 に描いた。

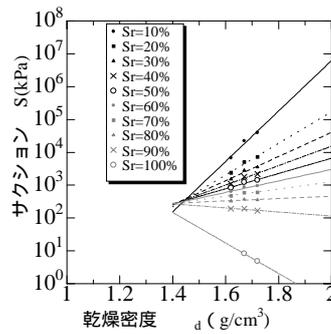


図-2 乾燥密度とサクシジョン

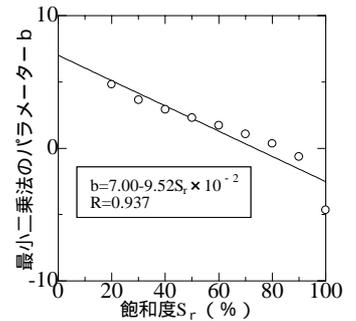


図-3 飽和度とパラメータb

$$\log S = 2.45 + (7.00 - 9.52S_r \times 10^{-2}) (\rho_d - 1.4) \quad (4)$$

$$\log S = 1.64 + (4.11 - 6.36S_r \times 10^{-2}) (\rho_d - 1) \quad (5)$$

表-1 最小二乗法によるパラメータa, b

飽和度(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
a	-8.57	-4.4	-2.75	-1.73	-0.83	-0.02	0.92	1.95	3.3	8.68
b	7.66	4.8	3.67	2.95	2.31	1.74	1.08	0.35	-0.63	-4.65

4.三要素による水分特性曲面

熱電対露点法、加圧法どちらの実験方法においても水分特性曲面は、ねじれていて、体積含水率が小さいほど、乾燥密度によるサクシジョンのばらつきが大きくなる。このねじれの原因は、試料の乾燥密度による飽和体積含水率の違いであり、それに影響して水分特性曲線 1 本 1 本の傾きが大きくずれるためである。しかし、加圧法に比べて熱電対露点法による水分特性曲面は、サクシジョンが大きな値になった。これは、測定原理の違いや浸透ポテンシャルの影響が強いと考えられ、これからの課題である。

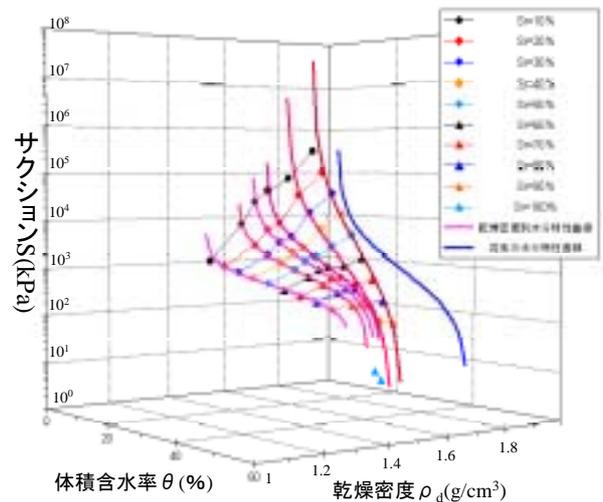


図-4 熱電対露点法の三要素による水分特性曲面

また、従来の水分特性曲線は、乾燥密度を無視して

サクシジョン～体積含水率の面に投影されたものである。このことから、一般に、中飽和領域以外にはばらつきが大きく、実験誤差として報告される原因であることが推察される。そのため、体積変化が著しい試料については密度計測が重要となる。
 <参考文献> 1) 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
 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・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
 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、投稿中、2000

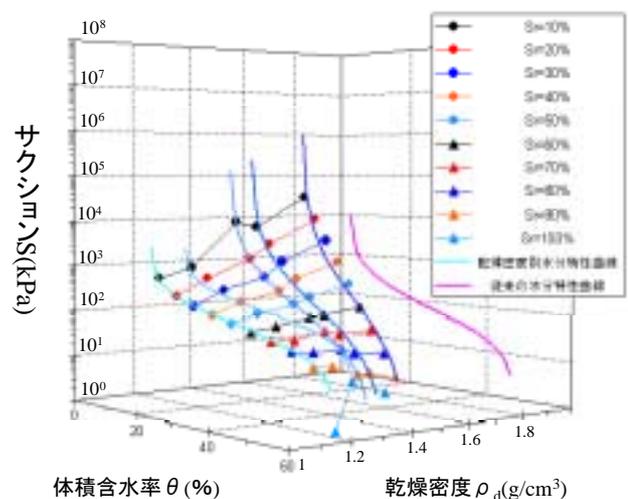


図-5 加圧法の三要素による水分特性曲面