

間隙比を考慮した水分特性曲線モデル

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

本研究において、定常法により間隙比を考慮して、長良川シルト(土粒子の比重 2.67、粒径 0.075~1mm)について保水性実験を行った。この実験データから、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⁾を使い間隙比別に水分特性曲線を求め、また水分特性曲線を飽和度別に整理することにより飽和度、サクシオン、間隙比における水分特性曲線群の式を導き出した。また、間隙比の違いによる VG モデルのパラメータへの影響を考える。

2.定常法による水分特性曲線

1) 熱電対露点法²⁾

土の保水性試験には、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)は、浸透ポテンシャル分を差し引く必要があることから、式(1)より試料の飽和浸透ポテンシャル、式(2)より含水比を考慮した浸透ポテンシャルを求めた³⁾。

$$f_{os} = -0.36c \quad (1) \quad f_o = f_{os} \left(\frac{w_s}{w} \right) \quad (2)$$

ここに、 ϕ_{os} : 飽和浸透ポテンシャル(kPa)、 χ : 土中水の電気伝導度(mS/m)
 ϕ_o : 浸透ポテンシャル(kPa)、 ω_s : 飽和時の含水比(%)
 ω : 含水比(%)

また、熱電対露点法やサイクロメータ法は、これまで間隙比(乾燥密度)の測定が行われていなかった。そこで本研究では、間隙比を測定するために、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新たに行っている。

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。試験後の密度は、1)と同様にパラフィンを用いて計測した。

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である式(3)を用いて間隙比 0.65~0.7、0.75~0.8、0.8~0.85、0.85~0.9 の 4 本を求めた(図 - 1)。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。

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

ここに、Se : 有効飽和度、S : サクシオン(kPa)、A、B : 推定されるパラメータ

3.三要素による水分特性曲線⁴⁾

水分特性関数モデルによって求められた、水分特性曲線上の点を抽出し、飽和度をパラメータとして間隙

キーワード 水分特性曲線,飽和度,サクシオン,間隙比

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)

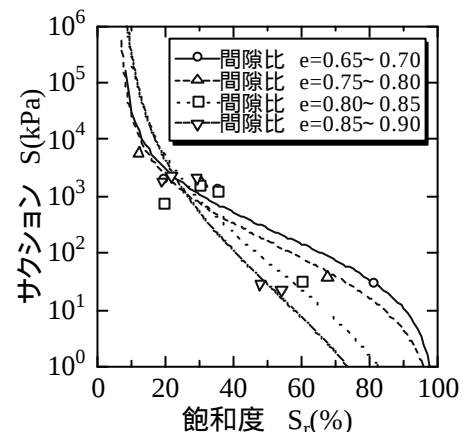


図 - 1 間隙比別水分特性曲線

比とサクシヨンの関係を図 - 2 に示した。図 - 2 よりサクシヨンは飽和度ごとに、間隙比に対して比例することから、式(4)によって回帰すると、パラメータ a,b は、表 - 1 のよう

$$\log S = a + b \cdot e \quad (4)$$

ここに、a、b：最小二乗法におけるパラメータ e：間隙比

に求められ、式(4)による直線は、ほぼ一点 (e=0.50、S=10^{3.09}kPa) で交わる。式(4)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 に式(4)の傾き b と飽和度の関係を示した。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(4)に代入し、サクシヨン、飽和度、間隙比の式

(5)で表すことができる。式(5)を用いての三要素におけ

$$\log S = 3.09 + \left(-4.909 + \left(\frac{1}{0.236} \right) \ln \left(\frac{100 - S_r}{S_r} \right) \right) (e - 0.50) \quad (5)$$

サクシヨ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。また、図 - 2 における交点(0.50,10^{3.09})は、間隙比が収縮限界時の間隙比(0.57)、サクシヨンが永久しおれ点(10^{3.19}kPa)の値に近いことから、最小間隙比であり、表面保水と間隙保水がそれぞれ卓越する境界でもあると考えられ、この交点が、収縮限界と何らかのサクシヨン値であるならば、これを使って様々な水分特性曲線を描くことに利用できると考えられる。

4.間隙比の違いによる VG モデルのパラメータ

間隙比の違いによる VG モデルのパラメータ α(式(6))を

$$\alpha = \frac{1}{h_p} \left(2^{\frac{1}{m}} - 1 \right)^{1-m} \quad m = 1 - \frac{1}{n} \quad (6)$$

ここに、0 < m < 1、n > 1

考えるために、間隙比とパラメータ α との関係を図 - 5 に示し、最小二乗法で回帰を行った。実験値、計算値とも間隙比が 0.05 ずつ大きくなると空気侵入値の逆数に相当する α は 1 オーダーずつ大きくなる。このことは、試料が粗になるにつれて空気侵入値は低くなることと一致する。また、回帰曲線の関数は、図 - 5 中に示すように実験値、計算値ともほぼ同じ係数を持つ関数が得られた。

<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、土壤の物理性第 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、土壤の物理性第 62 号、pp53~61、1991
- 4) 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、pp1271~1272、2000

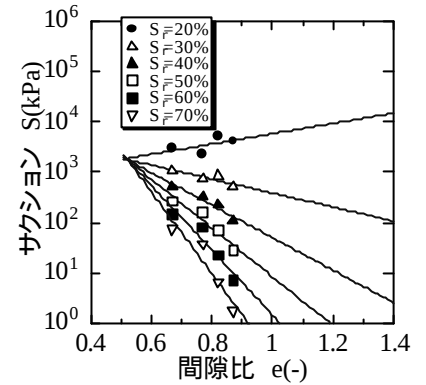


図 - 2 間隙比とサクシヨン

表 - 1 最小二乗法におけるパラメータ

S _r (%)	20	30	40	50	60	70
a	2.742	3.974	4.924	5.769	6.596	7.486
b	1.098	-1.402	-3.304	-4.983	-6.623	-8.382
r	0.56	0.87	0.96	0.95	0.95	0.94

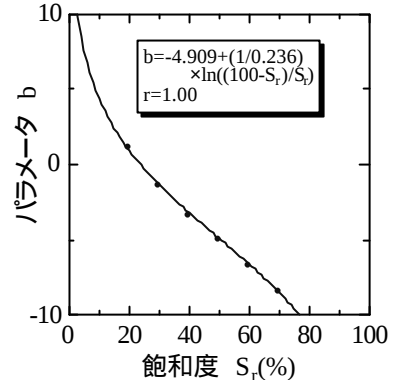


図 - 3 飽和度とパラメータ b

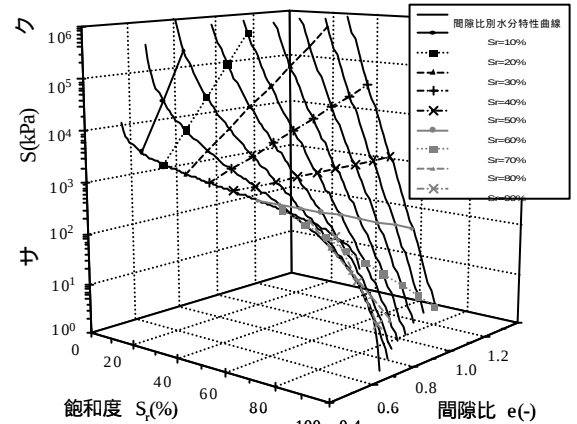


図 - 4 三要素による水分特性曲線群

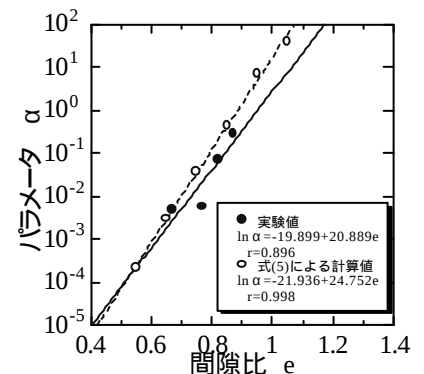


図 - 5 体積比とパラメータ α