

不飽和浸透挙動に対する数値力学モデルの改良(その1)

立命館大学 COE 推進機構 正会員 酒匂 一成
 鹿児島大学大学院 学生会員 中野裕二郎
 鹿児島大学工学部 正会員 北村 良介

1. はじめに

Kitamura ら¹⁾は、不飽和土中の浸透挙動をモデル化するための数値力学モデル（以降、間隙モデルと称す）を提案し、土粒子の大きさに確率的考察を加えることにより水分特性曲線や飽和度-不飽和・飽和透水係数の関係を誘導している。中野ら²⁾は、モデルの妥当性の検討を行うため保水性試験の結果と計算結果の比較を行い、間隙モデルの改良の必要性について述べている。本論文では、間隙モデルの改良手法について述べ、より実用的なモデルの開発を目指している。

表-1. 入力パラメータ

試料	輝北：極軟質シラス
土粒子の密度 (g/cm^3)	2.628
水の表面張力 (N/m) (水温15 時)	$73.48 \cdot 10^{-3}$
水の粘性係数 ($Pa \cdot s$) (水温15 時)	$1.138 \cdot 10^{-3}$
分割数	360
円管の傾き のp.d.fの最低高さ c_e	0.159
間隙比	1.71
管径Dの自然対数 $\ln D$ の平均 \bar{v}	-7.72
管径Dの自然対数 $\ln D$ の標準偏差 v	2.9

2. 間隙モデルの改良

表-1 は、間隙モデルに用いる入力パラメータを示している。図-1 は水分特性曲線を表しており、試験結果と計算結果の比較を行っている。図より、間隙モデル改良前の計算結果は試験結果と同様な傾向を示しているが、同じ飽和度において計算結果のサクシオンが試験結果のものより小さくなっている。

図-2 は、不飽和土中の空気と間隙水の概念図を示している。図のように間隙水は、吸着水と自由水に分けられると考えられ、自由水の一部がサクシオンに起因していると言える。間隙モデルが試験結果と合わないことの原因として、間隙モデルでは全ての

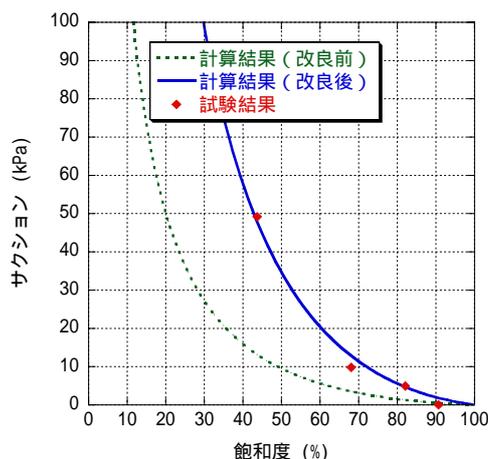


図-1. 水分特性曲線

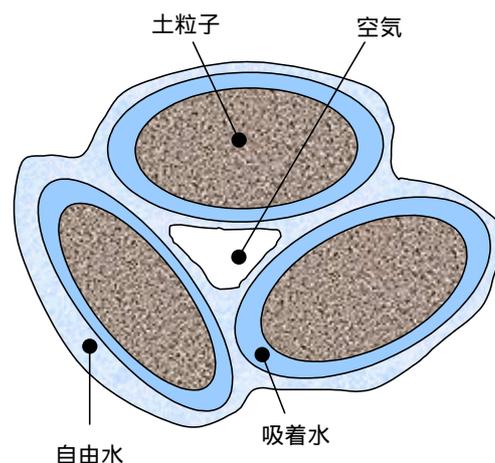


図-2. 不飽和土中の間隙水と空気概念図

間隙水がサクシオンに貢献しているとしていることが挙げられる。そこで、サクシオンに貢献する間隙水の割合について検討する必要がある。今回、間隙径分布に着目して、モデルの改良を行った。図-3 は、粒径加積曲線と間隙径分布を示している。粒径加積曲線の場合には横軸を粒径(mm)、縦軸を通過質量百分率(%)とし、間隙径分布の場合には横軸を管径(mm)、縦軸を累積間隙体積百分率(%)とする。丸のプロットは粒径加積曲線の実測値、破線は粒径加積曲線の回帰曲線、実線は間隙モデルから求められた間隙径分布である。三角のプロットは図-1 に示す水分特性曲線の試験結果から間隙モデルを用いて逆算することによって推定した間隙径分布を表している。神谷の論文³⁾によると排水過程での間隙径分布は、粒度分布を水平方向に平行移動したような分布形を示す傾向がある。図-1 の間隙モデルから求められた間隙径分布（図-3 の実線）は、粒度分布（図-3 の破線）と平行となる。この間隙径分布を水平方向に平行移動させることで水分特性曲線の計算結果から推定した間隙径分布（図-3 の三角のプロット）を通る曲線（図-3

不飽和土，水分特性曲線，数値力学モデル

〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 TEL:099-285-8473, FAX:099-258-1738

の一点破線)を求める。図-3の一点破線を用いて計算を行うと図-1に示される間隙モデル改良後の結果が得られ、試験結果をうまく表現することができる。

より実務的なモデルを目指すために間隙径分布の平行移動量と間隙比や粒径加積曲線等の土質パラメータとの関連性について検討を行った。まず、平行移動後の間隙分布(図-3の一点破線)の平均(累積間隙体積百分率50%)が間隙モデルから得られた間隙径分布(図-3の実線)における何%の累積間隙体積百分率に対応するか検討し、得られた値を平行移動指数 $I_{pt}(\%)$ と定義する。今回のケースでは、平行移動後の間隙径分布(図-3の一点破線)の平均が、間隙モデルから得られた間隙径分布(図-3の実線)の累積間隙体積百分率32.6%に対応し、平行移動指数 I_{pt} は32.6%となる。平行移動指数 I_{pt} が50%よりも小さくなる場合、自由水の一部がサクシオンに貢献しているということを示している。

平行移動指数 I_{pt} は、地盤材料の分類、間隙比および粒径加積曲線等の土質パラメータによって異なることが考えられる。そこで、鹿児島県国分市入戸、鹿児島県日置郡伊集院町および鹿児島県曾於郡輝北町で採取された試料を用いて計算を行い、表-2に土質パラメータと平行移動指数を示す。また、図-5に均等係数-平行移動指数の関係を示す。図-5は均等係数の軸を対数で表示したものであり、均等係数が大きくなるにつれ平行移動指数が大きくなる傾向がわかり、均等係数の対数と平行移動指数との間に線形関係が見られた。

4. まとめ

本論文では、間隙モデルの改良手法について述べた。また、より実務的なモデルを目指すため間隙径分布の平行移動量と土質パラメータとの関連性について検討を行い、対数をとった均等係数と平行移動指数の間に線形関係を見ることができた。今後、より多くのデータを用いて数値計算を行い、簡単な土質パラメータから不飽和土中の浸透特性を表現できる数値力学モデルの開発を行いたい。

本研究に対して科研費(基盤B, No.13450196)の援助をいただいた。ここに、謝意を表します。

【参考文献】

- 1) Kitamura, R, Fukuhara, S, Uemura, K, Kisanuki, G, and Seyama, M.: A numerical model for seepage through unsaturated soil, Soils and Foundations, Vol.38, No.4, pp.261-265, 1998.
- 2) 中野裕二郎, 酒匂一成, 北村良介: シラスの保水性に関する一考察, 第39回地盤工学研究発表会, (投稿中), 2004.
- 3) 神谷浩二: 砂質土の間隙径分布の評価とその利用, 岐阜大学博士論文, pp34-41, 1999.

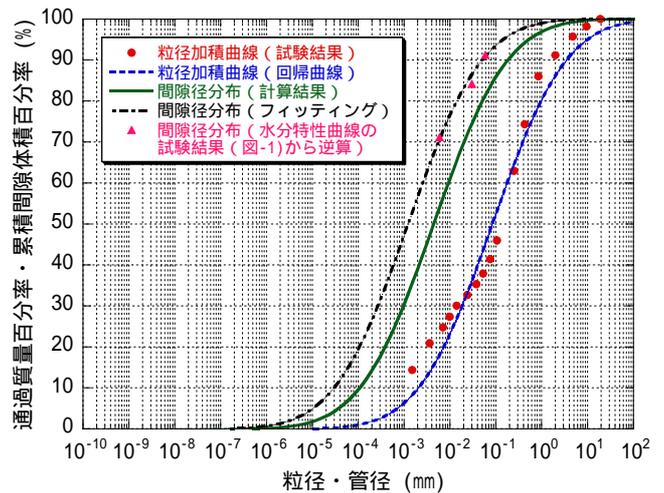


図-3. 粒径加積曲線, 間隙径分布

表-2. 土質パラメータと平行移動指数 I_{pt}

場所	地盤材料の分類名	土粒子の密度 (g/cm ³)	間隙比	均等係数	平行移動指数 $I_{pt}(\%)$
入戸	極軟質シラス SV-G	2.52	1.93	26.34	15.1
	軟質シラス SV-G	2.55	1.26	50.15	29.3
	中硬質シラス SV-G	2.51	1.37	35.40	22.3
伊集院	極軟質シラス SV	2.62	1.69	94.17	39.0
	軟質シラス SV-G	2.44	1.24	59.75	28.1
	中硬質シラス SV-G	2.42	1.27	55.92	28.8
輝北	赤水ヤ VS	2.73	5.66	14.49	-
	極軟質シラス SV-G	2.63	1.71	85.83	32.6
	軟質シラス SV-G	2.54	1.75	59.01	37.4
	中硬質シラス SVG	2.46	1.46	33.47	18.3

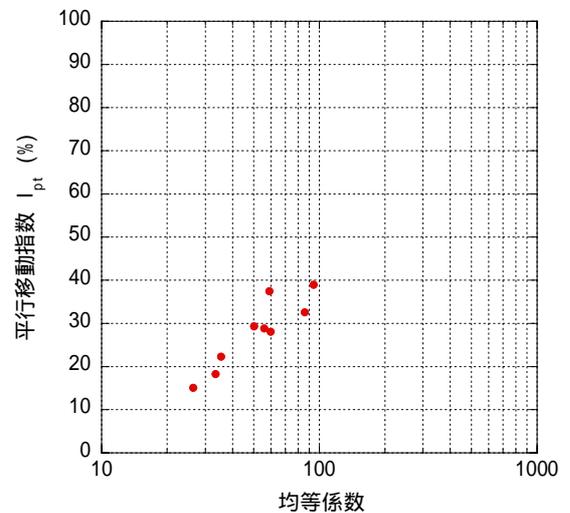


図-4. 均等係数-平行移動指数 I_{pt} の関係