

浸潤試験による水分分布推定による不飽和透水特性の評価

中部大学工学部 正会員 杉井 俊夫 中部大学大学院 学生員○山田 雄太
東海旅客鉄道(株) 非会員 佐々 郁也

1. はじめに

著者らは円筒管を用いた浸透試験より直接的に飽和透水係数、また逆解析を用いて水分特性曲線・不飽和透水係数を推定できる方法¹⁾を提案してきたが、逆解析ソフト及び、逆解析の知識が必要であった。そこで原位置での不飽和透水特性(透水性と保水性)の推定を行うことを目標に、地中に埋設したテンシオメータによって測られる1点の水圧と時間ごとに浸透流入量から水分分布の推定から、水分保持曲線および不飽和透水係数の推定を行った。

2. 試験装置の概要

透水試験装置は図1に示すように圧力水頭を一定に保ったまま水の浸透をさせることができるマリOTTタンク方式を使用、水を土壤に一樣に放出することできるように樹脂製有孔板を設置した。本試験装置は、定水位浸潤現象が行えるようになっている点、地表面からの浸透量を計測できる点、地盤内の圧力水頭をも計測できる点などの特徴を有する。

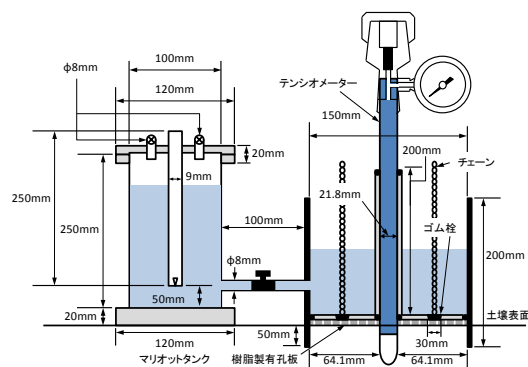


図1 原位置透水試験装置

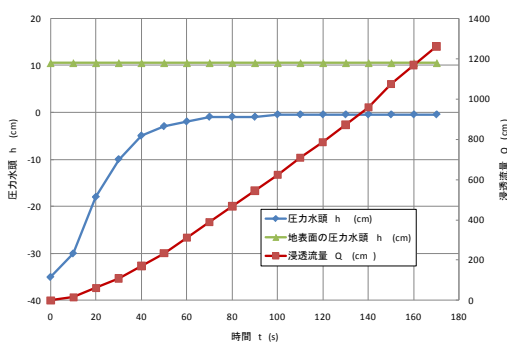


図2 観測量

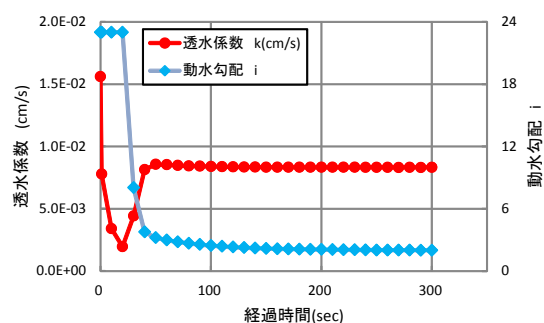


図3 飽和透水係数の算出

3. 飽和透水係数

累積流量と圧力

水頭の経時変化を図2に示す。圧力水頭が変化していく段階では浸透量も曲線を描きながら徐々に増すが、圧力水頭が一定になる約150秒以降では浸透量も直線的に増えていくことがわかる。また、定水位10cmと深さ5cmでの圧力水頭の関係から動水勾配を算出することができ、動水勾配と単位断面積あたりの流量から透水係数を求めたのが図3である。これより、動水勾配が一定となったとき(約150秒以降)の透水係数が飽和透水係数 $8.3 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ であると判断でき、飽和透水係数 $8.25 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ と一致して飽和透水係数を得ることができた。

4. 水分分布の推定法

水分特性曲線を求めるために、まず時間的に変化する深さ方向の水分分布を推定することとした。深さ5cmの圧力水頭と浸透流量から水分分布を推定するために、形成される水分分布を飽和となる面「飽和線深さ」 H_s と「浸潤前線(フロント)深さ」 H_f とした台形断面として考えた(図4)。また、飽和線の深さ H_s は、式(4.3)で回帰できることを著者らは数値実験で求めている。浸透流量を台形断面の面積と置くと、求める飽和線の深さ H_s との関係から浸潤前線の深さ H_f を推定可能である(式(3))。

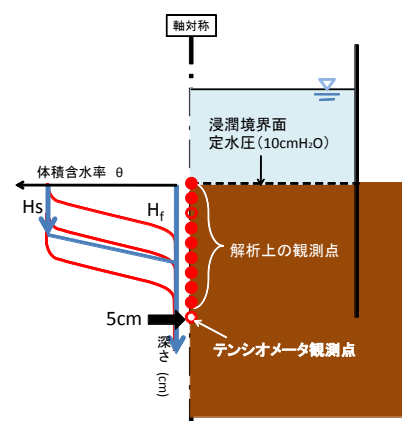


図4 解析理論図

キーワード 不飽和透水係数 水分保持曲線 非定常法 原位置試験

連絡先 〒487-8501 愛知県春日井市松本町1200 TEL0568-51-1111

$$H_s = s\sqrt{t} \quad (1) \quad A = \frac{(H_s + H_f)}{2}(\theta_s - \theta_r) = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (2) \quad H_f = \frac{8Q}{(\theta_s - \theta_r)\pi D^2} - H_s \quad (3)$$

ここに、 H_s : 飽和前線深さ (cm)、 H_f : 湿潤前線深さ (cm)、 t : 時間 (sec)、 A : 台形断面積 (cm²)、 θ_s : 飽和体積含水率 (-)、 θ_r : 残留体積含水率 (-)、 Q : 浸透流量 (cm³)、 D : 透水管直径 (cm)、 s : 比例定数である。

水分分布をフィッティングし易い式(4)で示すロジスティック曲線³⁾で表現することを考えた。中間水分量 θ_m の深さ z_m においては、式(4)の関係から式(5)が得られる。また、水分分布の勾配が一定であることを得ており、式(4)を z に対して微分し、水分分布の勾配(式(6))を得る。 z_m における水分分布の勾配(式(7))が、ほぼ一定となる台形勾配に等しいとおくことで b を得る。また、 b を得ることで式(5)より a を得ることができ、水分分布曲線(式(4))が決定される。

5. 不飽和透水特性の推定

水分分布が推定されたことで、水分量のデータが非定常で得られる。このテンシオメータでの観測点深さでの非定常水分量と間隙水圧の関係をプロットしたものが水分特性曲線となる。

そこで、別途加圧試験で得られた浸潤過程の実験データと今回の

結果を図6に示した。5 cmと示しているのは、テンシオメータ 5 cmを z として式(4)に代入した場合の結果であるが若干、圧力水頭が低い結果となっている。また、 $z=2$ cmとした場合の結果を示している。テンシオメータの位置であるが、5 cmと浅いところでテンシオカップ自体の長さが 5 cmあるため、若干の差が出ているものとする。深くなることでその差は減少するものとする。また、図7は水分特性曲線と飽和透水係数を用いて vanGenuchten-Mualem モデルを適用した結果と水分分布近似法で求めた結果との比較であり、いずれもよい一致をしているといえる。

$$\theta = \frac{\theta_s - \theta_i}{1 + \exp(a + bz)} + \theta_r \quad (4)$$

$$a + bz_m = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = - \frac{(\theta_s - \theta_i)b \exp(a + bz)}{\{1 + \exp(a + bz)\}^2} \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial z} \right|_{z_m} = - \frac{(\theta_s - \theta_i)b}{4} \quad (7)$$

ここに、 θ : 体積含水率 (-)、 θ_s : 飽和体積含水率 (-)、 θ_i : 初期体積含水率 (-)、 θ_r : 残留体積含水率 (-)、 z : 深さ (m)、 a, b : フィッティングパラメーター

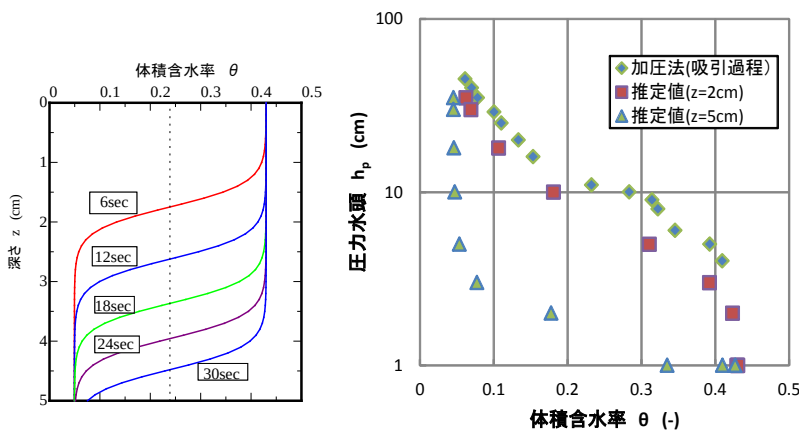


図5 水分分布曲線モデルの推定

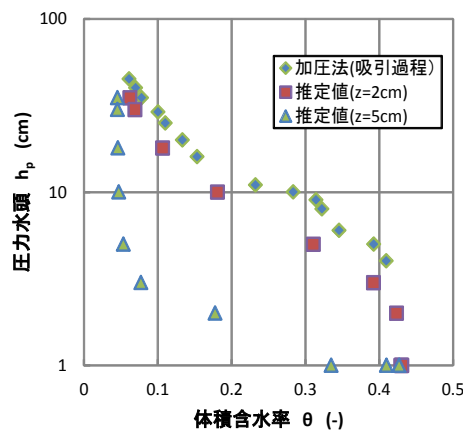


図6 水分保持曲線

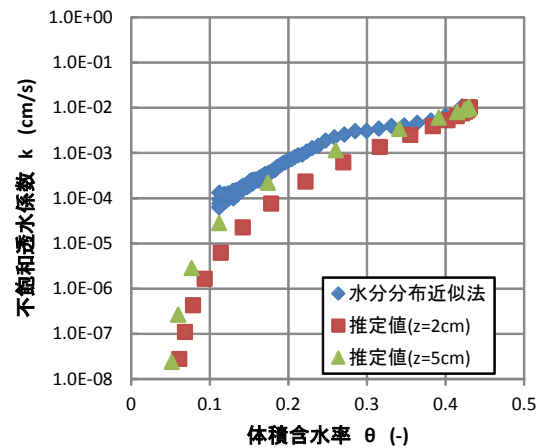


図7 不飽和透水係数

6. おわりに

2の観測量から水分分布を推定することで不飽和透水特性が推定できることを得た。これにより、原位置でサクションと浸透量の代わりに時間雨量などを利用することでモニタリングからの不飽和透水特性の評価に適用できると考えられ、検討していく予定である。本研究は、科学研究費(基盤(B))および中部大学特別研究費Aの補助を受けた。関係者各位に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 杉井・佐々：原位置不飽和透水試験装置の開発，平成21年度土木学会中部支部研究発表会講演集，pp.243～244，2010。
- 2) 水分分布の推定を利用した不飽和透水特性の評価、地盤工学研究発表会、印刷中、2011。
- 3) T. Sugii: Modeling of soil moisture profile during infiltration into vadose zone, Proc. of 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Millpress, pp.2449～2452, 2005.