

Cone Permeameter を用いた不飽和浸透特性の試験方法の検討

サンコーコンサルタント（株） 正会員 谷中 仁志
東洋大学工学部環境建設学科 正会員 石田 哲朗
大起理化工業（株） 関口 浩昭

1 はじめに

不飽和土の透水試験方法が現状で有する問題点として、試験方法が複雑であることや計測時間の長期化が挙げられる。また、原位置試験の重要性が叫ばれる割には、試験条件の困難さや計測手法の大規模化から室内試験に頼る部分が大きく、原位置での計測手法の立ち後れも課題の一つと考えられる。そこで、今回原位置で簡易に精度良く不飽和浸透特性を得ることを目的として Cone Permeameter を用いた試験方法について検討を行った。本報では、原位置試験に用いる前段階として、室内での計測結果から逆解析により必要なパラメータを求めて不飽和浸透特性を推定した結果と、これまでに実施した室内試験結果および推定結果との比較から、本試験方法の適合性について検討を行う。

2 試験および解析の概要

試験装置の概要について述べる。Cone Permeameter はステンレス製のパイプでできており、装置の長さは $L=1.2\text{m}$ 程度である。貫入部分は直径 $30\text{cm}\phi$ で、先端がペン先のような形状をしている。先端から 40mm からは、直径 1mm の多数の小孔で構成される $h=40\text{mm}$ 程度の注水部がある。また、注水部上端から上方にそれぞれ、 30mm 、 65mm の部分には $h=10\text{mm}$ のテンションリングが位置しており、サクションを計測している。試験前には、予め脱気水でテンションリングを十分に飽和させている。本報では、原位置で用いる前段階として、室内で任意の密度状態に突固めたポリ容器に、試験装置を先端から約 30cm 貫入した。試験装置の貫入状況を写真1に、先端の貫入部分を図1に示す。装置内部にあるファイバースコープにより水位が一定に制御されることから定常状態での給水が行われ、注水後の土中での圧力水頭と流出量の経時変化について計測を行っている。計測に要した時間は2時間弱であり、従来の方法に比べ非常に短時間での計測となっている。また、試験に用いた標準砂と珪砂の物理特性を表1に示す。何れも殆ど乾燥状態にあるものをそれぞれ、 $\gamma_d=14.7\text{kN/m}^3$ 、 15.1kN/m^3 の密度状態に締固めて試験を行った。

このようにして得られた計測結果を最適化し、不飽和透水係数と水分特性曲線の関数のパラメータである $\alpha, n, \theta_r, \theta_s$ を逆解析により求める。これらのパラメータは条件に応じて幾つかのパラメータを固定させて計算することが可能であり、逆解析結果を踏まえて他の室内試験から得られたパラメータを用いて様々なパターンで計算させている。ここで、飽和透水係数 k_s は定水位透水試験より求めた。

3 結果と考察

圧力水頭および累積流量の経時変化について、計測した値に適合するように逆解析したものを図2～図3に示す。部分的に実測値と解析結果に差異が認められるものの概ね近似しており、この結果から van Genuchten の不飽和浸透特性モデル（以下、VGモデルと記す）のパラメータである $\alpha, n, \theta_r, \theta_s$ が得られる。これらを用いて算出した不飽和浸透特性と既報¹⁾で示した室内での不飽和透水試験やpF値からVGモデルを用いて不飽和浸透特性を同定した結果についてまとめた。標準砂と珪砂での結果について、それぞれ図4-a),b)に示す。また、表2に逆解析により最適化させて最終的に得たパラメータと pF 値を用いた VG モデルの同定結果を整理

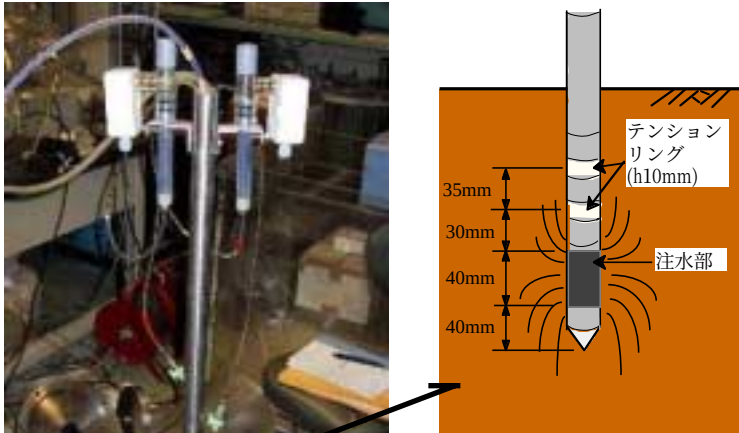


図1 装置の貫入部分



写真1 試験装置の貫入状況

表1 土質材料の物理特性

物理特性	標準砂	珪砂
土粒子の密度 G_s	2.632	2.629
自然含水比 w_n (%)	0.3	0.1
均等係数 U_c	2.09	5.24
曲率係数 U_c'	1.08	1.92
細粒分含有率 (%)	4.0	9.7

Key Words：Cone Permeameter、不飽和透水試験、不飽和浸透特性、逆解析法

〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100 東洋大学工学部環境建設学科 Telephone / Telefax：0492-39-1409

した。なお、凡例および表中のCPTは、今回のCone Permeameterでの試験結果を示す。パラメータの α はCPTとpF値の同定結果がほぼ同様の値を示すものの、 n についてはpF値の同定結果に比べてCPTでの値が大きいことがわかる。したがって水分特性曲線の形状が異なるために、特にb)のように同じ水分量で比較した場合に比透水係数を大きく推定する傾向を見せている。

a)の標準砂での結果は、CPTの推定結果がpF値を用いてVGモデルにより同定した結果に最も良く近似したケースである。 θ_s が0.07程度も異なるために飽和に近い水分領域では水分特性曲線、比透水係数ともに両者の差異が大きいものの、 θ が0.4以下では、特に比透水係数について同定結果と非常に良く一致する傾向を示した。CPTから得られた実測値を逆解析し最適なパラメータを得るためには、同定結果の値に限定せず、それらを様々変化させる必要があることがわかる。また、定常法や非定常法から求めた実測値と比較すると、 θ が0.2以上の広い水分領域で比較的良く近似することがわかる。但し、水分量がそれ以下の領域では他の逆解析手法での試験結果²⁾と同様に大きめに推定する傾向にあり、逆解析での一般的な傾向と推察できる。

4 あとがき

本報では、Cone Permeameterを用いて不飽和浸透特性の試験を行い、簡易に短時間での計測が可能であることを示した。また、得られた結果から、解析に用いるパラメータを操作することで不飽和透水係数を精度良く推定でき得ることを確認した。本報は、室内で砂質土を突固めて試験を行った結果についてまとめたものであり、本来の目的である原位置への適用に関しては、試験を通じて給水システムや貫入部分に生じる間隙等の諸問題について検討中である。今後、本試験方法を原位置での簡易試験法として確立できるよう精査していきたい。最後に、本研究の実験にあたっては、東洋大学の卒論生である金崎陽一君、加藤寛之君らの御協力を得た。心から感謝の意を表する次第である。

参考文献

1) 谷中仁志, 石田哲朗: FDRを用いた不飽和透水試験方法の検討, 土木学会第54回年次学術講演概要集, III-A287, pp.574-575, 1999
2) Tetsuro Ishida, Hitoshi Taninaka, Yukihiko Nakagawa : Examination of the inverse methods for hydraulic properties on unsaturated sandy soil , PROCEEDINGS OF THE ASIAN CONFERENCE ON UNSATURATED SOILS, pp.393 - 398, 2000.

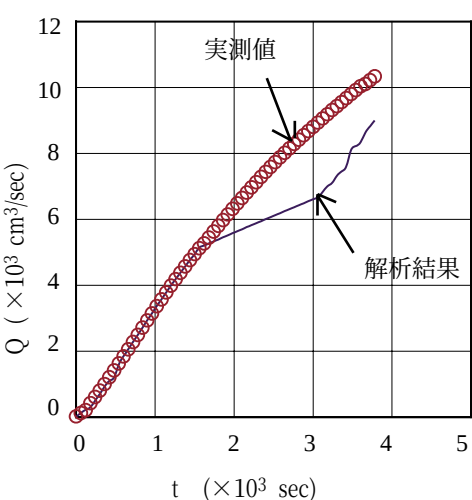


図2 累積流量の経時変化

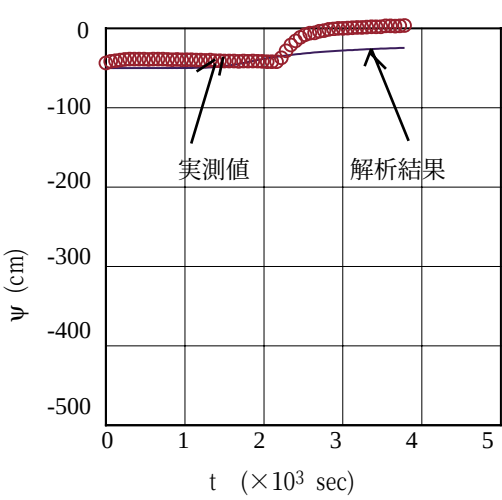
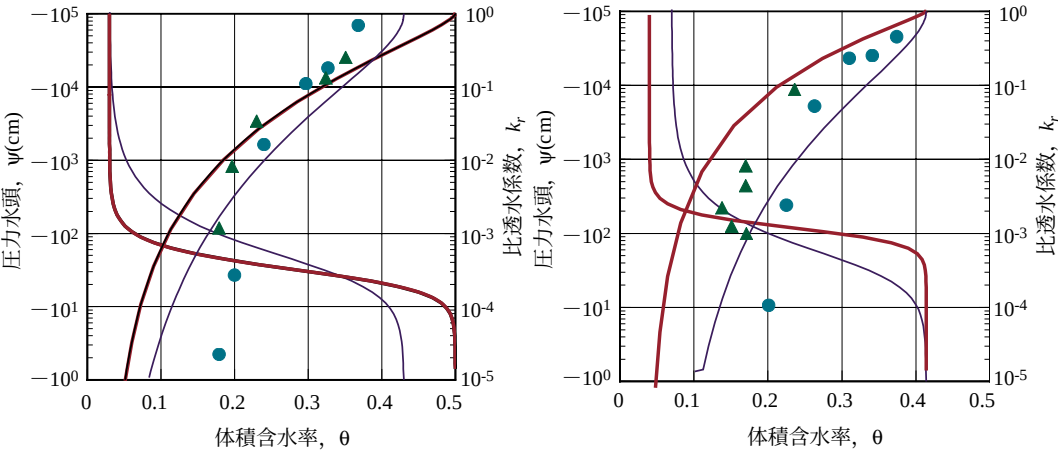


図3 圧力水頭の経時変化



a) 標準砂($\gamma_d=14.7\text{kN/m}^2$) b) 珪砂($\gamma_d=15.1\text{kN/m}^2$)

図4 不飽和浸透特性の比較

表2 VGモデルに用いるパラメータ

試料	γ_d (kN/m^2)	試験名	α	n	θ_r	θ_s	k_s (cm/sec)
標準砂	14.7	pF試験	0.0318	1.824	0.030	0.431	4.09E-02
		CPT	0.0360*	3.039	0.030	0.500*	
珪砂	15.1	pF試験	0.0260	1.930	0.070	0.414	1.64E-02
		CPT	0.0119*	4.283	0.040*	0.414	

凡例

