

マルチステップ法による不飽和浸透特性の推定方法の検討

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は、これまでに幾つかの方法が提案され、稀少ではあるが既報¹⁾のような試験結果の報告もなされている。しかしながら、現状では試験方法が複雑であったり計測が長期化するなど、一般に普及するために残された課題は非常に多い。本報では比較的簡易に短時間での計測が可能とされるマルチステップ法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する方法を試みた。そこで得られた結果とこれまでに実施した室内試験結果および推定計算結果との比較から、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

マルチステップ法試験装置の概要を図1に示す。はじめに装置の仕様について述べる。供試体の寸法は直径8.5cmφ、高さ7cmである。フィルターには厚さ2.2mm、開孔径0.45μmで透水性が大きいステンレススチール製のもの($k_s=0.01078\text{cm/min}$)を、脱気水で飽和させて使用した。

試験は、試料底面から定常状態で給水を行い飽和させた後、6.3mmφのマイクロテンシオメータを試料中心部に上面から1.5cm埋設して任意の段階で加圧を行い、時間の経過による流出量と圧力水頭の変化について計測を行っている。加圧段階とその詳細を表1に示す。計測に要した時間は7時間程度であり、従来の方法に比べ非常に短時間での計測が可能となっている。また、試験に用いた標準砂と珪砂の物理特性を表2に示す。何れも殆ど乾燥状態にあるものを密度を3通りずつ変化させて試験を行っている。

このようにして得られた計測結果について、Marquards法²⁾を用いて最適化させ、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 $\alpha, n, \theta_s, \theta_r$ 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。全計測期間にわたって比較的良く近似しており、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 $\alpha, n, \theta_s, \theta_r$ 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³⁾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。ここでは、標準砂と珪砂についてそれぞれ1パターンずつ図4-a), b)に示す。また、表3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モデルの同定結果について、各密度ごとに整理した。結果から、マルチステップ法の α は珪砂の $\gamma_d=15.7\text{kN/m}^2$ の場合を除いて0.025～0.027 cm^{-1} であり、pF値の同定結果とほぼ同様の値を示した。一方、 n ではpF値の同定結果に比べて大きめの値が得られた。したがって水分特性曲線の形状が異なるために、a)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。

b)の珪砂での結果は、マルチステップ法での推定結果がpF値を用いてVG

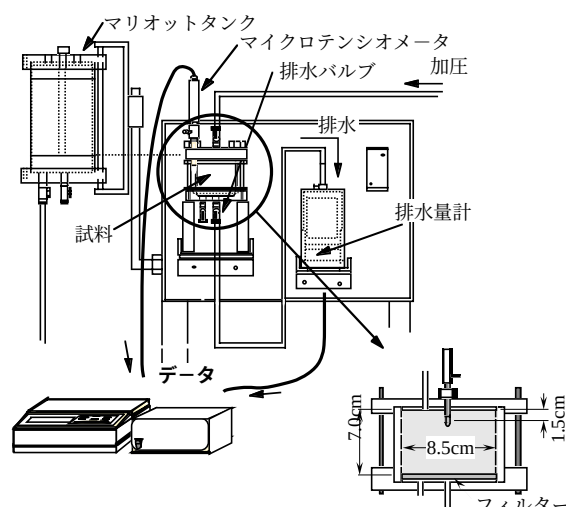


図1 試験装置の概要

表1 マルチステップ法の加圧段階の詳細

試料名	初期圧力 (cm)	最終圧力 (cm)	加圧段階 加圧幅(cm)	加圧時間/1段階 (min)	計測に 要した期間
標準砂 珪砂	10	100	8段階 10～60:10 60～100:20	10～30:40 40～100:60	約7時間

表2 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：室内試験、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

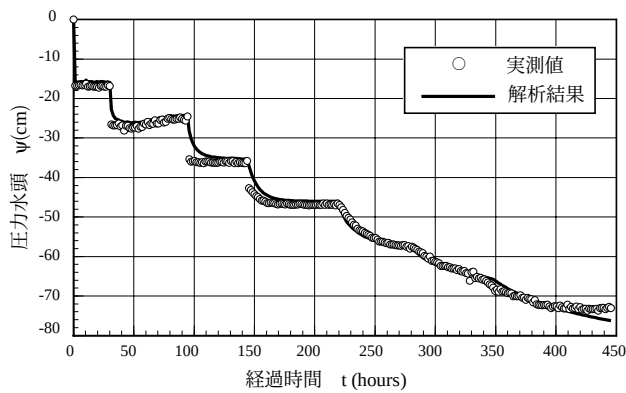


図2 圧力水頭の実測値と逆解析結果

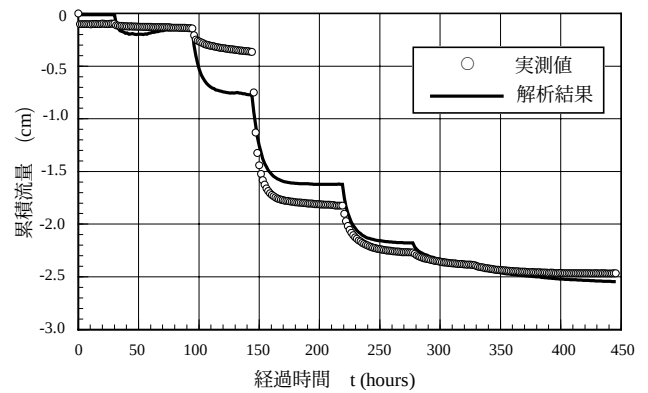


図3 流出流量の実測値と逆解析結果

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。 α が異なるために水分特性曲線はpF値の同定結果の下に位置するが、比透水係数については同定結果と非常に良く一致する傾向を示した。但し、こちらも定常法や非定常法から求めた実測値と比較すると大きく推定する傾向を見せており、水分量が小さくなるほどその差異は顕著である。マルチステップ法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、それらの値を様々変化させる必要がある。つまり、他の試験から求めたパラメータでさえ、逆解析には固定値として限定できないように思われるのである。

4 あとがき

本報では、マルチステップ法が試験装置の簡易性だけではなく計測時間の短縮化にも効果的であることを示した。また、得られた結果からも、解析に用いるパラメータを操作することにより、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。しかしながら、現状では解析時のパラメータの取り扱いに経験を要すると思われるし、テンシオメータの測定精度やフィルターの適用範囲など試験装置自体が抱えている問題点も多く、シルトやロームといった粘性土での乾燥領域までを考慮する場合には、装置の改良等についても検討する必要があるように思われる。今後とも継続して試験を行いこれらの課題点について精査していきたい。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坂田英恵君、井上正太君、高橋知君らの御尽力を得た。心から感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 不飽和地盤の透水性評価に関する研究委員会:「同委員会成果報告書」, 地盤工学会, pp.82-88, 1997
- 2) van Dam, J. C., Stricker, J. M. N. Droogers, P.: Inverse method for determining soil hydraulic functions from onestep outflow experiment, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, pp.1042-1050, 1997
- 3) 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

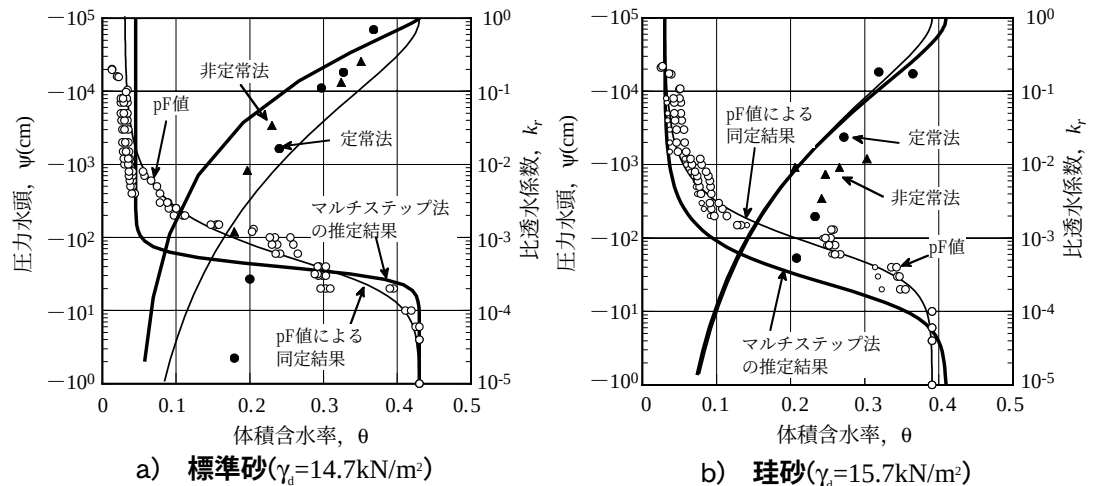


図4 不飽和浸透特性の比較

表3 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	15.7	pF試験	0.015	2.15	0.020	0.392	2.83E-02
		マルチステップ	0.025	6.76	0.010	0.395	
	15.2	pF試験	0.022	1.87	0.020	0.411	3.73E-02
		マルチステップ	0.025	6.00	0.020*	0.433	
	14.7	pF試験	0.032	1.82	0.030	0.430	4.09E-02
		マルチステップ	0.027	5.00	0.030*	0.430*	
珪砂	15.7	pF試験	0.020	1.89	0.020	0.391	1.01E-02
		マルチステップ	0.060	1.98	0.030	0.390	
	15.4	pF試験	0.026	1.81	0.050	0.403	1.23E-02
		マルチステップ	0.027	3.00	0.040	0.420	
	15.1	pF試験	0.026	1.93	0.070	0.414	1.64E-02
		マルチステップ	0.026	5.54	0.020	0.402	

※ 固定した値 (他の室内試験から求めた値)