

粘性土の浸透特性の計測法に関する研究

岡山大学工学部 正会員 西垣 誠
大成建設㈱ 正会員 多田 博光
岡山大学大学院 学生会員 吉岡 進

1. はじめに

飽和-不飽和領域を対象とした浸透解析を行う場合、入力データとしての飽和-不飽和浸透特性は、間隙比の変化について考慮されていなかった。しかし、間隙比の変化と共に土中の保水の仕方が異なることはメニスカスの原理から明らかである¹⁾。そこで、本研究ではベントナイトと標準砂の混合土を用いてその間隙比の変化を考慮した飽和-不飽和浸透特性を算定するために透水試験及びpF試験を行った。

2. 試料の物理特性

今回実験に用いた試料は、豊浦標準砂とNa型ベントナイト(クニゲルV₁)による混合土(重量混合比85:15)である。これらの各試料の比重及び粒径加積曲線をFig. 1に示す。

3. 飽和透水試験

飽和-不飽和浸透特性の定式化をpF試験によって得られた水分特性曲線から、既往のvan Genuchten モデルにより行う方法があるが、Muallem理論に基づいて不飽和透水係数を推定するときには、飽和透水係数の値が必要となる。本研究で用いたベントナイト混合土のような浸潤に伴い変形する膨潤性粘土の飽和透水係数を測定する場合、従来からの透水試験法では十分であると言いがたい。したがって、本研究では従来からの透水試験装置に改良を加え透水試験を行った。

(A)実験装置；本実験で用いた加圧型透水試験装置をFig. 2に示す。この装置は、従来の透水試験法に次のような改良を加えた。(1)透水試験と圧密試験を併用して行い、高水頭差をかけたことによる体積変化に対しては、圧密応力の回復過程において間隙比の変化が微小であることを利用し、この間に透水係数を測定する。(2)加圧装置を用いて動水勾配を大きく、すなわち測定流量を大きくして、流量を流量計及び重量計測によって測定する。(3)試験中にも加圧することにより飽和度を高めることができ、またBoyleの法則及びHenryの法則により飽和度の確認ができる。(4)マリオットサイフォンを使用することにより上流側の水頭を自由に変えることができ、低動水勾配での実験が可能になった。

上流側流量は微量流量計(測定可能範囲0.25~5.00 cc/hour)及び目視により、下流側流量は上皿電子天秤(秤量範囲6100 g, 読み取り限度0.01 g)により測定する。

(B)実験結果及び考察；Fig. 3に得られた間隙比と飽和透水係数の関係を示す。このようにeとlogk_sの間には線形関係があり、最小二乗法により定式化を行うと次式ようになる。

$$\log k_s(e) = 7.48e - 11.6 \quad (1)$$

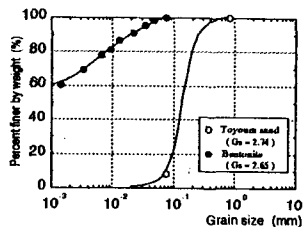


Fig.1 粒径加積曲線

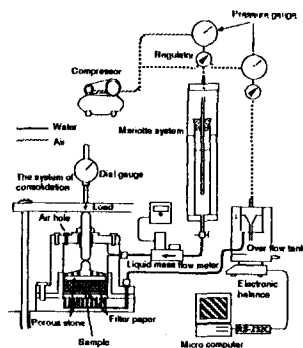


Fig.2 加圧型透水試験装置

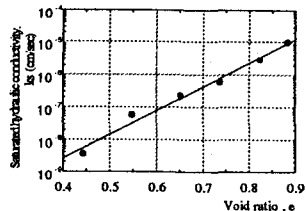


Fig.3 間隙比と飽和透水係数

4. 遠心法によるpF試験

本研究では、間隙比の変化に伴う保水特性の変化を把握するためにpF試験のうち遠心法を採用し、従来の水分特性曲線(pF曲線)に間隙比の変化を考慮し、得られた実験データから既往のvan Genuchtenモデル²⁾により定式化を行った。

(A)pF試験結果及び考察; Fig. 4 にpF試験結果を示す。この試験結果より、同じpF値であっても、間隙比が大きくなればなるほど水の保水性すなわち体積含水率は小さくなるといえる。

(B)van Genuchten モデルによる定式化; 得られた実験結果より、既往のvan Genuchten モデルを用いて間隙比の変化を考慮した、不飽和水分特性の定式化を試みた。いま、Fig. 4 において示したpF試験結果とvan Genuchten モデルをマッチングさせpF曲線の形状を支配するパラメータ($\theta_s, \phi, \alpha, \lambda$)を間隙比の関数として規定する。飽和体積含水率は、 $\theta_s = n \cdot e / (1 + e)$ (n : 間隙率, e : 間隙比)で与えられる。また、最小容水量 θ_r に関しては、推定した曲線の形状より $\theta_r = 0.05$ とした。 α, λ は、van Genuchten モデルによる水分特性曲線の同定; 非線形最小二乗法を用い、各間隙比($e = 0.59, 0.702, 0.823, 1.093$)における $\theta - \phi$ の実験データより逆解析を行い同定した。Fig. 5 に上記の各間隙比における同定結果を示す。Fig. 6, 7に $\alpha - e$ 関係及び $\lambda - e$ 関係を示す。これらにより間隙比が変化する場合の $Se - \phi - e$ 関係が次式のように得られる。

$$Se = (1 + |\alpha(e) \cdot \phi|^{1/m(e)})^{-m(e)} \quad (2)$$

ここに、 $\alpha(e) = 6.42 \times 10^{-2} \cdot e^{1.1-0.8}$ (cm^{-1})

$$\lambda(e) = 0.189 / (e - 0.470) + 1.207$$

$$m(e) = 1 - 1 / \lambda(e) \text{ である。}$$

また、van Genuchten は、不飽和透水係数を推定する式を提案している。この式に、 $\alpha(e), \lambda(e), \theta_s, \theta_r$ 及び飽和透水試験で求めた式(1)を代入すると次式が得られる。

$$k = ks(e) Se^{1/2} \{1 - (1 - Se^{1/m(e)})^{m(e)}\}^2 \quad (3)$$

ここで、 $Se = (\theta - 0.05) / (\theta_s - 0.05)$,

$$\lambda(e) = 0.189 / (e - 0.470) + 1.207, \quad m(e) = 1 - 1 / \lambda(e)$$

$$\log ks(e) = 7.48e - 11.6 \text{ である。}$$

5. おわりに

飽和透水試験結果とpF試験結果から不飽和水分特性を推定するために、逆解析の過程においてvan Genuchten モデルの未知パラメータを間隙比の関数とすることにより間隙比の変化を考慮した飽和-不飽和浸透特性の定式化を行うことができた。したがって、間隙比及び体積含水率が既知であれば、それに対応した負の圧力水頭及び不飽和透水係数が算定できるという結論に達した。

参考文献 1)大西有三他:空隙率の変化を考慮した不飽和水分特性に関する一・二の考察, 第22回土質工学発表会, pp. 1557~1560, 1987 2)M. Tn. van Genuchten: A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Science Society of America Proceedings, Vol. 44, 1980

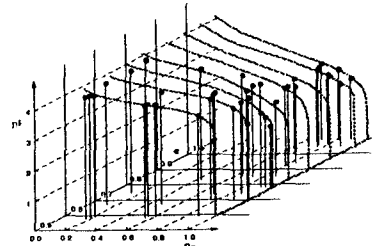


Fig. 4 p F試験結果 ($Se - \phi - e$)

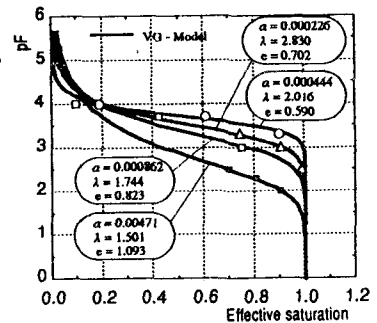


Fig. 5 同定結果 ($Se - \phi - e$)

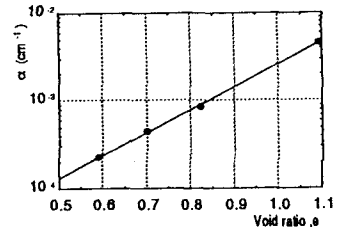


Fig. 6 α と間隙比

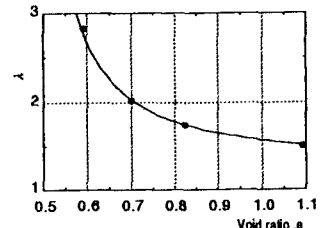


Fig. 7 λ と間隙比