

修正サクシオンによる古典的水分特性曲線モデルの拡張

名古屋工業大学 ○京川 裕之, 菊本 統, 中井 照夫, 立松 和憲, 小池 真奈

1. はじめに

不飽和土の変形・破壊挙動や浸透現象の統一的な予測には, その水分特性曲線に及ぼす, サクシオンならびに他の影響因子を適切に考慮する必要がある. しかしながら, van Genuchten¹⁾の式や Fledlund&Xing²⁾のモデルなどの既報の水分特性曲線モデルは, サクシオン s と飽和度 S_r の一義的な関係を表し, 密度や粒度などの種々の要因が水分保持特性に及ぼす影響を考慮できない. そこで本研究では, 修正サクシオンを用いて古典的な水分特性曲線モデルを発展型モデルに簡単に拡張する方法を提案する.

2. 修正サクシオンによる古典的水分特性曲線モデルの拡張

修正サクシオンによる拡張の一例として van Genuchten による式(1)を用いる.

$$S_r = S_r^{\min} + (S_r^{\max} - S_r^{\min}) \left\{ 1 + (\alpha s)^n \right\}^{-m} = S_r(s) \quad (1)$$

$S_r^{\max}$, $S_r^{\min}$ は飽和度の上・下限値, α , n , m は材料定数である. 言うまでもなく, 式(1)はサクシオン s を唯一の独立変数とする関数として飽和度 S_r を与えている. このような古典的モデルの簡潔さはそのままに, サクシオン以外の影響も考慮した発展型モデルに拡張するため, 通常サクシオン s を修正サクシオン s^* に置き換える. 既往の実験では, 間隙比が小さく, 細粒分含有率が高いほど同一サクシオン下における飽和度は大きい(同一の飽和度ではサクシオンを小さめに見積もる)ことが指摘されているので, 密度と粒度の影響を考慮した修正サクシオンとして次式を考える.

$$s^* = s \left(\frac{e}{e_{\text{ref}}} \right)^{\xi_e} \exp \left(\frac{F_c^{1/2} - F_{c_{\text{ref}}}^{1/2}}{\xi_g} \right) \quad (2)$$

修正サクシオン s^* は通常サクシオン s , 間隙比 e および細粒分含有率 F_c に従属する変数である. e_{ref} および $F_{c_{\text{ref}}}$ は間隙比と細粒分含有率の基準値であり, $e = e_{\text{ref}}$ かつ $F_c = F_{c_{\text{ref}}}$ のとき $s^* = s$ を満たす. ξ_e , ξ_g は密度および粒度の影響を表す材料パラメータである. s^* を式(1)の s に代入すると密度と粒度の影響を考慮した水分特性曲線モデルが与えられる.

$$S_r = S_r(s^*) = S_r(s^*(s, e, F_c)), \quad dS_r = \frac{dS_r}{ds^*} ds^* = \frac{dS_r}{ds} \left(\frac{\partial s^*}{\partial s} ds + \frac{\partial s^*}{\partial e} de + \frac{\partial s^*}{\partial F_c} dF_c \right) \quad (3)$$

式(3)のように, 修正サクシオンはあらゆる古典的モデルに簡単に適用でき, 密度や粒度だけでなく, その後の変化の影響も考慮した水分特性曲線を規定できる.

3. 密度と粒度が異なる土の水分特性曲線と提案モデルによる解析の比較

Bruand et al.³⁾ はパリ盆地から採取した 219 の土試料を粒度(細粒分含有率 F_c)と密度(間隙比 e)について分類し, 各分類の平均的な水分特性曲線を計測した. 粒度の分類と分類ごとに平均化した粒

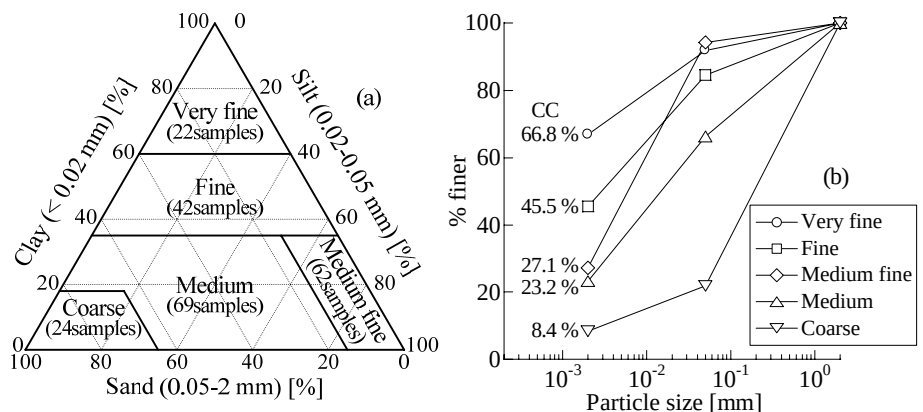


Fig.1 土試料の分類と平均的な粒度分布

キーワード 不飽和土, 水分特性曲線, 密度, 粒度, 修正サクシオン

連絡先 〒466-0063 愛知県名古屋市中区御器所町 名古屋工業大学 TEL 052-735-7157

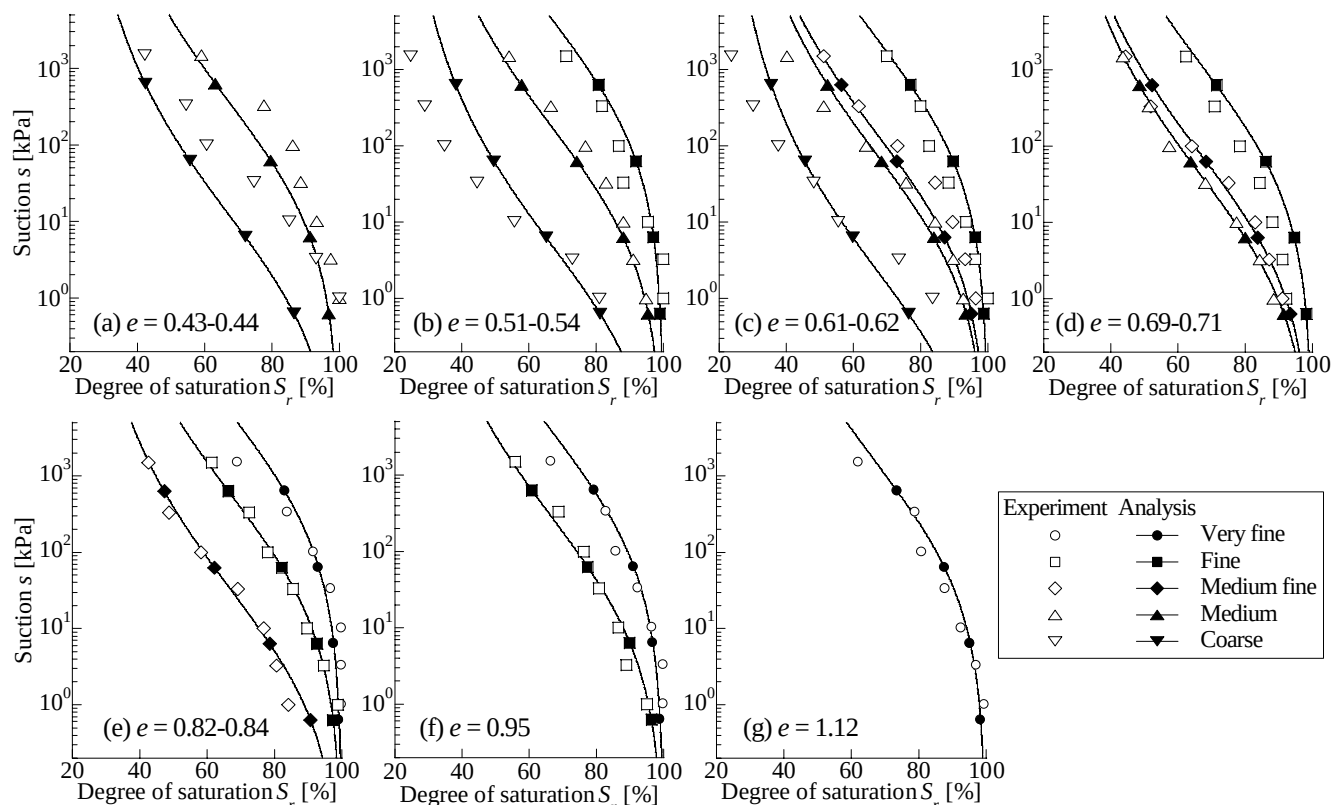


Fig.2 粒度と密度が異なる土の水分特性曲線と提案モデルによる解析値の比較

径加積曲線を Fig.1 に示す. ここでは, Bruand et al.の実験に対して提案モデルを適用し, その妥当性を検証する. まず, $F_c = 45.5\%$, $e = 0.61$ を基準状態 ($s^* = s$ を満足する) とし, 基準状態の土試料に対する実測値をもとに van Genuchten の式の材料定数を $\alpha = 0.02$, $n = 0.5$, $m = 0.45$, $S_r^{\max} = 100\%$, $S_r^{\min} = 20\%$ と決定した. 次に, 一連の実験結果を用いて, 密度と粒度の影響を表す材料パラメータ $\xi_e = 5$, $\xi_g = 0.55$ を得た. 粒度と密度に関して計 18 種にカテゴライズされた土試料の水分特性曲線と提案モデルによる解析結果の比較を Fig.2 に示す. 図より, 提案モデルは広範に密度と粒度が異なる土の水分特性曲線を一組の材料パラメータで統一的に記述することがわかる. 無論, Fig.3 に示すように修正サクシオンについて整理すると, 粒度と密度によらず水分特性曲線は唯一に定まる.

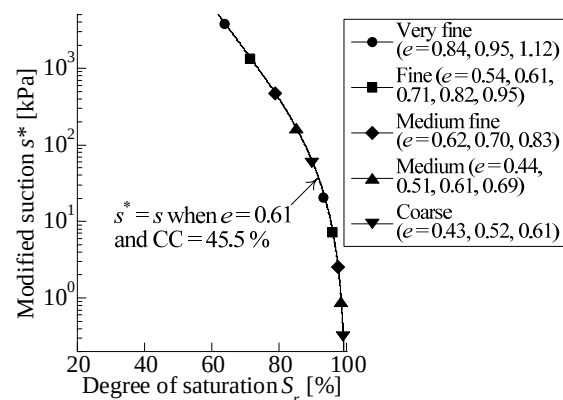


Fig.3 修正サクシオンと飽和度の関係

5. まとめ

本稿では, 修正サクシオンによる古典的水分特性曲線モデルの拡張方法について説明するとともに, 拡張したモデルが密度や粒度が異なる土の水分特性曲線を統一的に記述することを示した. なお, 修正サクシオンをさらに拡張すれば温度の影響も考慮できる⁴⁾. また, 著者らが提案する水分履歴変数 I_w を併用すれば, 乾湿繰返し時のヒステリシス現象も簡単に記述できる.

参考文献

- 1) van Genuchten, M.Th.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 892-898, 1980.
- 2) Fredlund, D.G. and Xing, A.: Equation for the soil-water characteristic curve, *Can. Geotech. J.* 31(3), 521-532, 1994.
- 3) Bruand et al. : Use of class pedotransfer functions based on texture and bulk density of clods to generate water retention curves, *Soil Use and Management* 19, 232-242, 2003.
- 4) 菊本ら: サクシオン履歴・間隙比・温度の影響を考慮した水分特性曲線モデル, *応用力学論文集* 12, 343-352, 2009.