

高飽和時における砂の不飽和透水係数に関する考察

中部大学工学部 正会員 杉井 俊夫

中部大学工学部 正会員 山田 公夫

中部大学工学部 学生員○奥村 恭

1. はじめに

浸透特性に関するモデルは、様々なものが提案されており、解析上扱い易く、かつ良好な結果が得られるということから、浸透流解析では、van Genuchten-Mualem モデル¹⁾(以下 VGM-model)が広く使われている²⁾。そこで著者らは、水分分布近似法³⁾を用いて三河珪砂における不飽和浸透特性を算出し、VGM-model との比較検討を行ってきた。本報告は、実験値と VGM-model との比較について検討したものである。

2. 試験装置

供試体容器として、アクリル製円柱(内径 10cm、高さ 15cm)を使用し、上部からテンシオメーター、ADR (Amplitude-Domain-Reflectometry) が差し込めるようになっており、供試体上端のサクションと体積含水率が計測できるようになっている。また、供試体内から排水される排水量はロードセルにより計測される仕組みとなっている。

3. 試験試料

図-1 に使用した試料、三河珪砂 5 号～8 号の粒径加積曲線を示す。三河珪砂 6 号～7 号は、類似した粒度をもち、均等係数は、2.292～1.765 で粒径範囲が狭い試料である。

4. VGM-model との比較

図-2 に ADR とテンシオメーターによって計測した供試体上端の体積含水率とサクションの関係を表す水分特性曲線を示す。この結果から式(1)の van Genuchten モデルによりパラメータを推定し、式(2)の Mualem モデルから、不飽和透水係数を推定した。その推定した不飽和透水係数と水分分布近似法から得られた三河珪砂の不飽和透水係数の結果とを図-4, 5, 6, 7 に示す。

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left\{ 1 + \left| \alpha h_p \right|^n \right\}^{-m} \quad (1)$$

$$k(\theta) = k_s \cdot Se^{1/2} \left\{ 1 - \left(1 - Se^{1/m} \right)^m \right\}^2 \quad (2)$$

ここに、 Se : 有効飽和度 θ_r : 最小含水量 $n(m=1-1/n)$ 、 α : パラメータ θ_s : 飽和体積含水率 h_p : 圧力水頭(cmH₂O)

$k(\theta)$: 不飽和透水係数(cm/sec) k_s : 飽和透水係数(cm/sec)

三河珪砂における不飽和透水係数結果について、同時に記載した VGM-model との比較を行った。

三河珪砂による不飽和透水係数は、高飽和領域において、すべての不飽和透水係数が急激に低下する傾向を示していることがわかる。別途に測られる飽和時の透水係数が正しく測定されないことが影響する場合もあり、今回、図-3 に示した Kozeny の $e^3/(1+e)$ の関数を用いて飽和透水係数を不飽和測定時の密度と同一にしている。著者らは、高飽和時の透水性の急激な低下について次のように考察した。

土の透水現象は、間隙水中の連続している部分を流れるため、粒径が大きいと、大きな間隙と小さな間隙の差が激しく、わずかに飽和度が低下しても、間隙水が不連続となりやすく、透水性の低下が大きい。一方、粒径が小さいと間隙の大きさが均質に近く、メニスカス水の分布が均質で飽和度の低下に対しても間隙水の不連続性が生じにくいことに起因するものと考ええる。また、VGM-model では、そうした大きな粒径試料の高飽和時における間隙水の不連続性を考慮しておらず限界があるものと推察される。このことは、特に高飽和時を利用する工学分野においては、特に注意する必要がある。

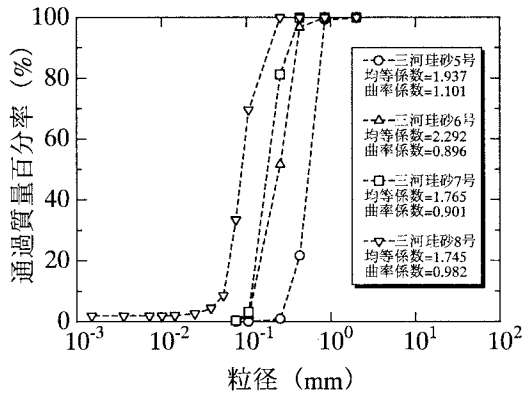


図-1 粒径加積曲線

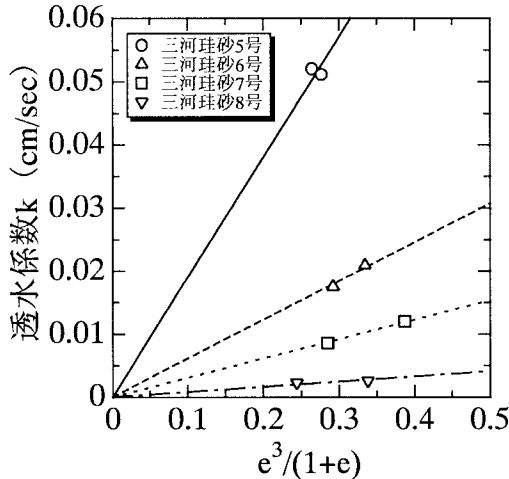


図-3 透水係数と間隙比関数

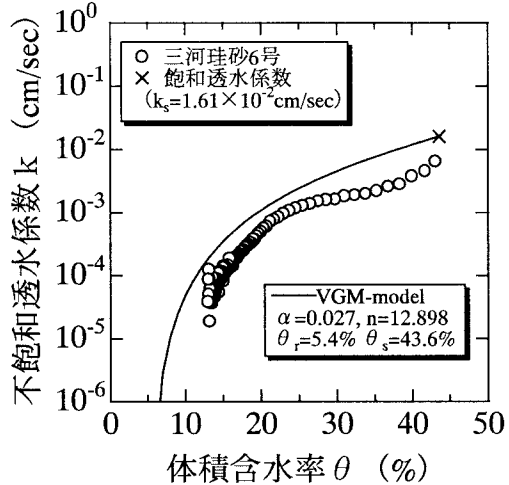


図-5 不飽和透水係数 ($\rho_a = 1.50 \text{ g/cm}^3$)

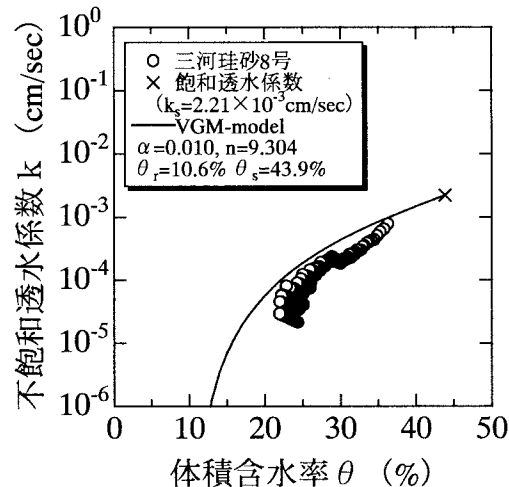


図-7 不飽和透水係数 ($\rho_a = 1.50 \text{ g/cm}^3$)

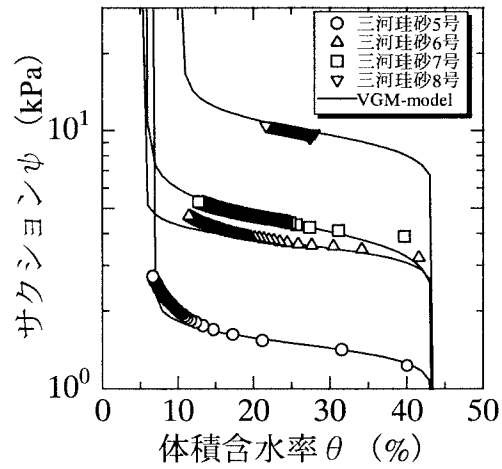


図-2 水分特性曲線

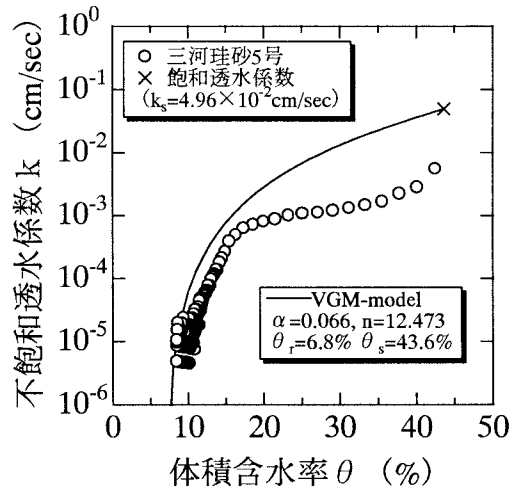


図-4 不飽和透水係数 ($\rho_a = 1.50 \text{ g/cm}^3$)

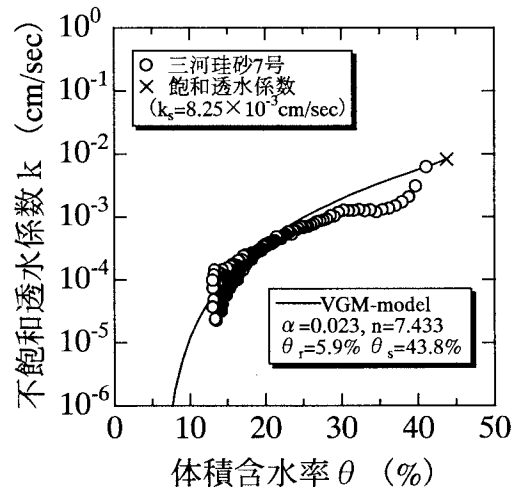


図-6 不飽和透水係数 ($\rho_a = 1.50 \text{ g/cm}^3$)

【参考文献】

- 1) M. TH. VAN GENUCHTEN: A closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Sci Am. J. 44 pp. 892-893, 1980.
- 2) 不飽和地盤の透水性評価に関する研究委員会: 不飽和地盤の透水性評価手法ワークショップ 97' (地盤工学会), pp21-22, 平成 9 年 12 月
- 3) 杉井俊夫・山田公夫・植村真美・奥村恭・佐宗隆幸: 水分分布を近似した非定常法による不飽和透水試験, 第 12 回地盤工学シンポジウム論文集, 地盤工学会中部支部, pp7-10, 2000, 8