

チービシ砂を用いた水分特性曲線の定式化に関する研究

琉球大学大学院 学生会員 ○榊田 一希
 琉球大学 正会員 原 久夫

1. はじめに

不飽和地盤は、豪雨などを起因とした地下水位上昇による浸透問題や強度低下問題をかかえている。これらの問題を解決するためには、土の保水性や浸透特性の評価が重要であり、保水性試験によって得られる水分特性曲線をもって評価することができる。著書らは、水分特性曲線の勾配とポテンシャルの関係を実験から定めた。しかし、これまでの研究では、初期飽和度や最終飽和度の値が実験値と一致せず、水分特性曲線の形状に大きな影響を与えていた。そのため今回は実験から初期飽和度を求め、さらに飽和度の変動量も求めることでより実験を再現できるようこころみた。これらの計算結果を実験値と比較し検証を行った。

2. 実験方法

本実験で用いた試料は、豊浦砂ならびに沖縄県の海砂であるチービシ砂を用いた。本実験において、豊浦砂は0.425mmでふるいにかかけ、チービシ砂は2mmのふるいにかかけ粒径を調整した。豊浦砂およびチービシ砂の物理特性は表1に示す。供試体は、上記の試料を自由落下させ作成した。保水性試験はJGS(-0151)に従って行い、各段階の飽和度は、最終時の含水比と排吸水量から逆算して求めた。

3. 飽和度変化率とポテンシャルの関係式

水分特性曲線から飽和度変化率 $\Delta S_r/\Delta\varphi$ を求める。図1, 2のように飽和度変化率とポテンシャル φ の関係を表す。得られた曲線の近似曲線を次の仮定をもとに定める。飽和度変化率 $\Delta S_r/\Delta\varphi$ とポテンシャル φ のグラフから曲線の頂点座標 (φ_p, α_p) と限界ポテンシャル $(\varphi_0, 0)$ を得る。区間を $-\infty \leq \varphi \leq \varphi_p$, $\varphi_p \leq \varphi \leq \varphi_0$, $\varphi_0 \leq \varphi \leq 0$ の3区間に分ける。排水過程について

$$\left(\frac{\Delta S_r}{\Delta\varphi}\right) = \begin{cases} 0 & (\varphi_0 \leq \varphi \leq 0) \\ A\varphi^2 + B\varphi + C & (\varphi_p \leq \varphi \leq \varphi_0) \\ D \exp[-E(x-x_p)^2] & (\varphi_e \leq \varphi \leq \varphi_p) \end{cases} \quad (1)$$

表1 物理特性値

試料名	チービシ砂	豊浦砂
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.78	2.63
最小密度 ρ_{dmin} (g/cm ³)	1.06	1.33
最大密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.28	1.62
曲率係数 U_c'	0.96	0.98
均等係数 U_c	3.10	1.43
透水係数 k (cm/s)	7.0×10^{-2}	1.7×10^{-2}
実験時の間隙比 e	1.61	0.87

をそれぞれ用いた。二次関数の境界条件は $(\varphi_0, 0)$, (φ_p, α_p) を通り、 $\frac{d}{d\varphi}\left(\frac{\Delta S_r}{\Delta\varphi}\right) = 0$, $(\varphi = \varphi_p)$ である。これにより係数 A, B, C が求められ二次関数が決定される。次に指数関数の境界条件は (φ_p, α_p) を通り、 $-\infty \leq \varphi \leq 0$ 領域の積分値は実験時の初期飽和度 S_{r0} と排水時最終飽和度 S_{re} の差となる。また途中の飽和度は(2)式で表される。

$$S_r = \begin{cases} S_{r0} - \int_{\varphi_0}^0 \left(\frac{\Delta S_r}{\Delta\varphi}\right) d\varphi & (\varphi_0 \leq \varphi \leq 0) \\ S_{r0} - \int_{\varphi_p}^{\varphi_0} \left(\frac{\Delta S_r}{\Delta\varphi}\right) d\varphi & (\varphi_p \leq \varphi \leq \varphi_0) \\ S_{r0} - I_2 - \int_{\varphi_e}^{\varphi_p} \left(\frac{\Delta S_r}{\Delta\varphi}\right) d\varphi & (\varphi_e \leq \varphi \leq \varphi_p) \end{cases} \quad (2)$$

(2)式より、 $\varphi \leq \varphi_0$, φ_p , φ_e における飽和度を求めることができる。

$$S_r(\varphi = \varphi_0) = S_{r0} \quad (3)$$

$$S_r(\varphi = \varphi_p) = S_{r0} - I_2 \quad (4)$$

$$I_2 = \int_{\varphi_p}^{\varphi_0} \left(\frac{\Delta S_r}{\Delta\varphi}\right)_{排水時} d\varphi \quad (5)$$

$$S_{re} = S_r(\varphi = \varphi_e) = S_{r0} - I_2 - I_1 \quad (6)$$

$$I_1 = \int_{\varphi_e}^{\varphi_p} \left(\frac{\Delta S_r}{\Delta\varphi}\right)_{排水時} d\varphi \quad (7)$$

とした。これにより係数 D, E が求められ関数が導出される。吸水過程の飽和度変化率 $\Delta S_r/\Delta\varphi$ もまた同様にして、吸水時の頂点座標 (φ_p, α_p) から導出する。

これらの関数を用い、排水過程では

$$S_r = S_{r0} - \int_{\varphi}^0 \left(\frac{\Delta S_r}{\Delta\varphi}\right)_{吸水時} d\varphi \quad (8)$$

によって水分特性曲線を求める。吸水過程では、排水過程の終了段階($\varphi=\varphi_e$)での飽和度を吸水過程の初期飽和度(S_{re})とし、(10)式によって水分特性曲線を求めた。

$$S_{re} = \int_{\varphi_e}^0 \left(\frac{\Delta S_r}{\Delta \varphi} \right)_{排水時} d\varphi \quad (9)$$

$$S_r = S_{re} + \int_{\varphi_e}^{\varphi} \left(\frac{\Delta S_r}{\Delta \varphi} \right)_{吸水時} d\varphi \quad (10)$$

4. 結果

チービシ砂では、初期値や排水終了段階の値がほぼ一致している。実験結果の水分特性曲線のヒステリシスもよく表されていて、水分特性曲線の形状をよく表すことができている。豊浦砂では、排水過程において実験値をよく表すことができている。しかし、吸水過程が実験値に比べやや上方に位置する結果となった。これにより、ヒステリシスが小さくなっている。

5. まとめ

今回は、水分特性曲線の実験値から飽和度変化率とポテンシャルの関係を求め、その曲線の近似曲線を用いて水分特性曲線の関数を導出し、実験値との比較を行った。チービシ砂、豊浦砂は共に初期飽和度・最終飽和度が実験値に近い値になった。チービシ砂では計算結果が実験値をよく表している。豊浦砂では排水過程においては計算結果が実験結果をよく表しているが、吸水過程における曲線が計算結果では実験値に比べやや上方に位置する結果となった。そのため、実験値に比べ計算値ではヒステリシスが小さくなった。

参考文献

- 1) 榊田一希, 原久夫: チービシ砂を見落ち板水分特性曲線の定式化に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-110, 567-568, 2012.3.

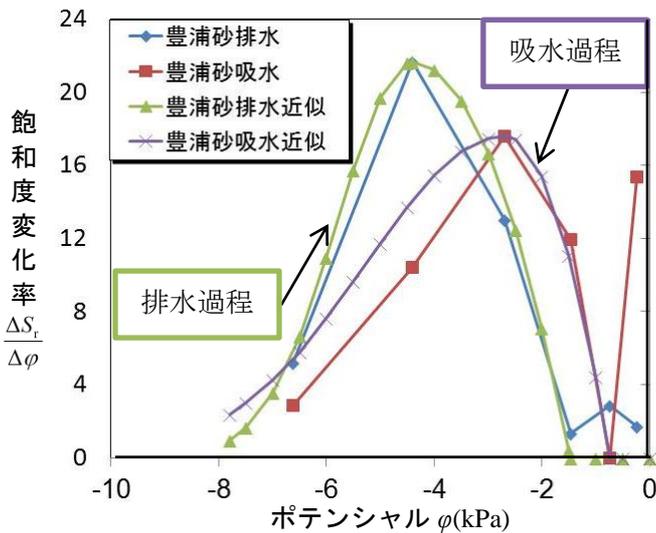


図1 チービシ砂 飽和度変化率とポテンシャルの関係

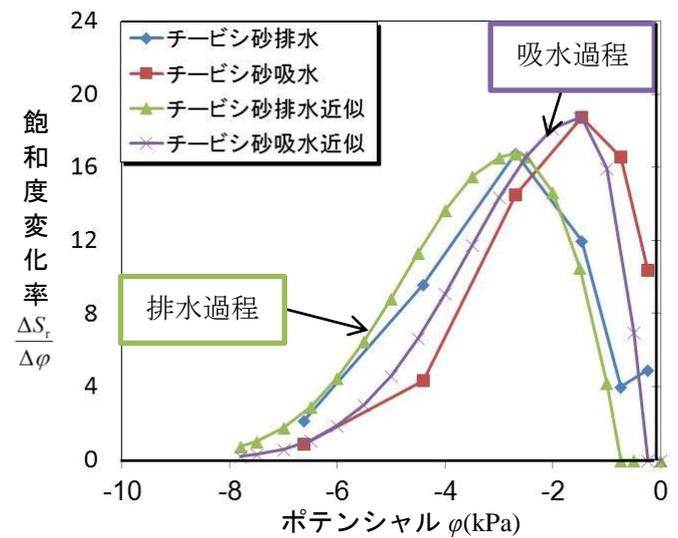


図2 豊浦砂 飽和度変化とポテンシャルの関係

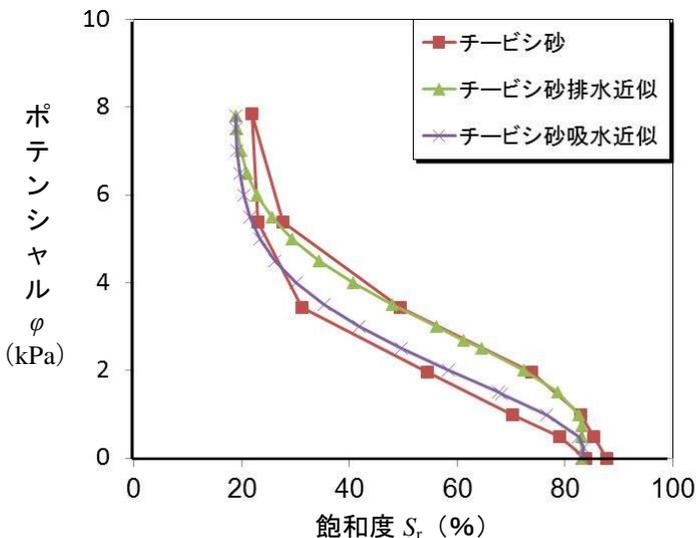


図3 チービシ砂 水分特性曲線

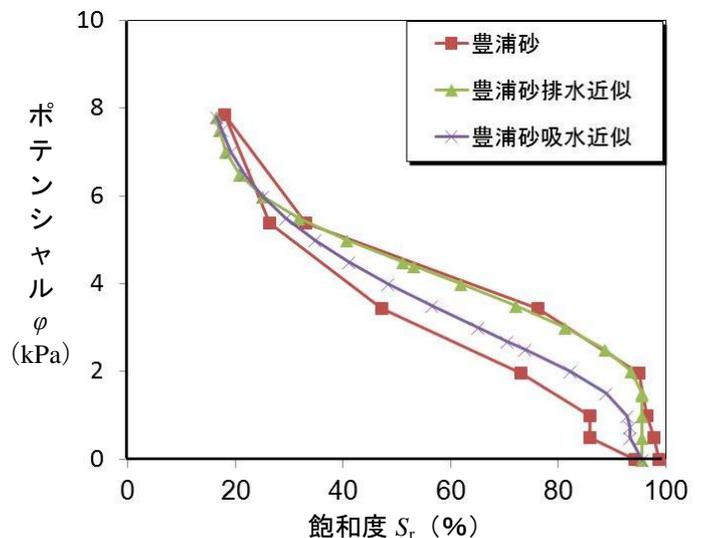


図4 豊浦砂 水分特性曲線