

チービシ砂を用いた水分特性曲線のモデル化の提案およびその検証

琉球大学大学院 学生会員 ○梶田 一希
琉球大学 正会員 原 久夫
琉球大学 非会員 河野 真志

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¹⁾を実験から定めた。提案モデルによる水分特性曲線の計算結果と実験結果の比較検証を行った。

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¹⁾を用いた。本実験において、豊浦砂は0.425mmでふるいにかけ、チービシ砂は2mmのふるいにかけ粒径を調整した。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 $\Delta S_r/\Delta\varphi(=\alpha)$ を求める。図1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、二次関数が $\varphi_p \leq \varphi \leq 0$ の領域で $\alpha(\varphi_0)=0$ となる点である限界ポテンシャル $(\varphi_0, 0)$ 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

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

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

表-1 水分特性曲線特性値一覧

			係数A (%/kPa ²)	$\varphi \sim \alpha$ 関係のピーク座標		係数B (%/kPa)	係数C (kPa) ⁻²
				φ_p (kPa)	α_p (%/kPa)		
豊浦砂	排水	変動幅	-2.39～-1.70	-4.0～-3.8	22～26	22～26	0.27～0.44
		平均値	-1.99	-3.9	23.67	23.67	0.33
		変動係数	-0.18	-0.03	0.09	0.09	0.28
	吸水	変動幅	-10.67～-4.53	-2.4～-1.5	24	24	0.11～0.16
		平均値	-7.07	-1.97	24	24	0.14
		変動係数	-0.45	-0.23	0	0	0.18
チービシ砂	排水	変動幅	-9.72～-9.35	1.47	20.2～21	20.2～21	0.10～0.12
		平均値	-9.52	1.47	20.57	20.57	0.11
		変動係数	-0.02	0	0.02	0.02	0.09
	吸水	変動幅	-44.44～-37.50	-0.80～-0.75	24～25	24～25	0.11～0.12
		平均値	-40.34	-0.78	24.67	24.67	0.11
		変動係数	-0.09	-0.04	0.02	0.02	0.07

となる。また途中の飽和度は(2)式で表される。

$$S_r = \begin{cases} S_{i0} - \int_{\varphi_0}^{\varphi} \left(\frac{\Delta S_r}{\Delta \varphi} \right) d\varphi & (\varphi_0 \leq \varphi \leq 0) \\ S_{i0} - \int_{\varphi_p}^{\varphi} \left(\frac{\Delta S_r}{\Delta \varphi} \right) d\varphi & (\varphi_p \leq \varphi \leq \varphi_0) \\ S_{i0} - I_2 - \int_{\varphi_e}^{\varphi} \left(\frac{\Delta S_r}{\Delta \varphi} \right) d\varphi & (\varphi_e \leq \varphi \leq \varphi_p) \end{cases} \quad (2)$$

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

$$S_r(\varphi = \varphi_0) = S_{i0} \quad (3)$$

$$S_r(\varphi = \varphi_p) = S_{i0} - I_2 \quad (4)$$

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

$$S_{re} = S_r(\varphi = \varphi_e) = S_{i0} - I_2 - I_1 \quad (6)$$

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

とした。これにより係数 B, C 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、排水過程では式 (8) によって

$$S_r = S_{i0} - \int_{\varphi}^0 \left(\frac{\Delta S_r}{\Delta \varphi} \right)_{\text{吸水時}} d\varphi \quad (8)$$

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。

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

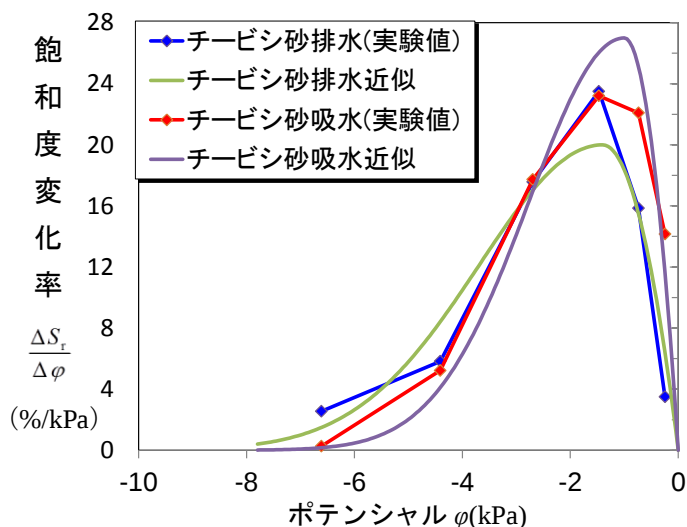


図-1 飽和度変化率とポテンシャルの関係

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

豊浦砂、チービス砂の実験値から得た各パラメータは、表-1 に示し、計算結果においては図 1, 2 に示す。

4. 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、実験値と比較を行った。

表-1 より、係数 A 、係数 C は他のパラメータに比べ変動係数が大きい。さらに、係数 A では排水過程よりも吸水過程の方がばらつく傾向にある。

図 2 において、チービス砂および豊浦砂共に計算結果が実験値をよく表している。しかし、図 1 より、排水過程の頂点座標は実験値より小さく、吸水過程では大きくなっている。これにより、水分特性曲線の排水過程は実験値に比べ少し小さく、吸水過程では実験値の最終飽和度より大きくなっている。

参考文献

- 1) 梶田一希，原久夫：チービス砂を用いた水分特性曲線の定式化に関する研究，平成 24 年度土木学会全国大会第 67 回 年次学術講演会プログラム，III-356，2012

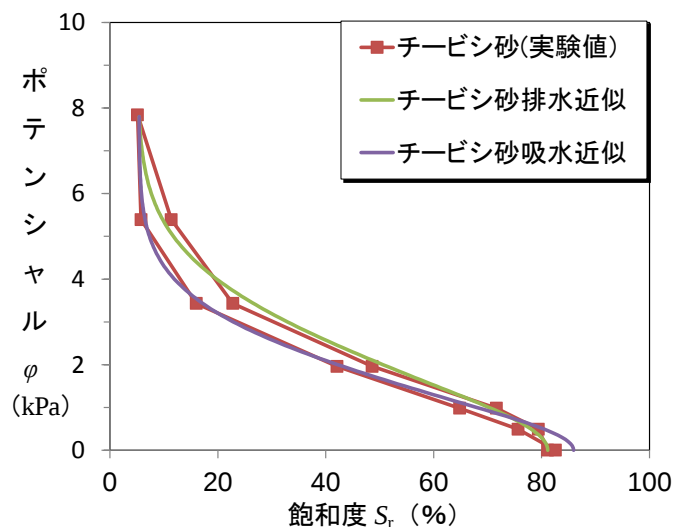


図-2 水分特性曲線