

シラス地盤における現地計測データに基づく不飽和浸透特性の推定

鹿児島大学工学部 学生会員 ○森田司, 水島隆志, 笹田泰成
 鹿児島大学学術研究院理工学域工学系 正会員 伊藤真一, 酒匂一成

1. はじめに

鹿児島県に広く分布するシラスは、多孔質であるため土粒子密度が小さく、流水による侵食を受けやすいという特徴がある。それに加えて、鹿児島県は降雨量が多いため、シラス地盤における斜面崩壊がたびたび発生している。豪雨時の斜面崩壊の発生には、土中の水分状態が大きく影響するため、シラス地盤における不飽和浸透特性の推定は重要である。伊藤ら¹⁾はこれまでに体積含水率の現地計測データに基づく不飽和浸透特性のデータ同化に関する研究を行ってきた。これにより、データ同化を行って推定された不飽和浸透特性を用いると現地計測データを良好に再現・予測できることを明らかにしている。本研究では、不攪乱状態のシラスの不飽和浸透特性を推定することを目的として、シラス地盤における現地計測を行い、それによって得られた体積含水率の計測データに基づく不飽和浸透特性のデータ同化を試みる。

2. 解析手法

数値解析シミュレーションとして不飽和・飽和浸透流解析を行った。解析モデルは一次元の浸透解析モデルを用いて、支配方程式として Richards 式、水分特性曲線モデルとしては式(1)に示す van Genuchten モデル、不飽和透水係数モデルとしては式(2)に示す Mualem モデルを用いた。

$$S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) = \left\{ 1 + (-\alpha \psi)^n \right\}^{-m} \quad (1)$$

$$k = k_s \times S_e^{0.5} \left\{ 1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right\}^2 \quad (2)$$

ここに、 S_e :有効飽和度、 θ_s :飽和体積含水率、 θ_r :残留体積含水率、 α 、 n :水分特性曲線の形状に関するパラメータ、 ψ :間隙水圧、 k :不飽和透水係数、 k_s :飽和透水係数、 $m=1-1/n$ である。また、境界条件としては、解析モデルの降雨境界に斜面への雨水の浸透能を考慮するためのパラメータとして浸透能 ω を導入した。降雨強度と浸透能の関係式として式(3)が提案されている²⁾。

$$IR = \omega \tanh(R / \omega) \quad (3)$$

ここに、 IR は浸透能、 ω は降雨強度を十分に大きくした場合の浸透能、 R は降雨強度である。上述の不飽和浸透特性に関する 5 種類の未知パラメータ (θ_s , θ_r , α , n , k) に加えて ω もデータ同化によって推定する。データ同化手法としては融合粒子フィルタ (Merging Particle Filter, 以下 MPF) を用いた。MPF の詳細については既往の研究¹⁾を参照されたい。

3. シラス地盤における現地計測データ

本研究では、鹿児島県鹿児島市東俣町の土取場(写真-1)に雨量計とプロファイル土壌水分計を設置して現地計測を行なった。プロファイル土壌水分計の設置に関しては、簡易貫入試験機とオーガを用いて掘削を行い、その穴にプロファイル土壌水分計を設置した後に、0.075mm のふるいを通した現地土で隙間を埋めて、水を流し込み締め固めた。体積含水率は深度 10cm から 40cm までを 10cm 間隔で計測した。降雨量と体積含水率の計測間隔は 10 分であり、現地計測を行った期間は令和 3 年 6 月 2 日から 7 月 28 日



写真-1 対象斜面の様子

までである。図-1 は本研究で分析に用いた現地計測データ(6月3日から6月8日)を示している。深度40cmで計測された体積含水率は他の深度で計測された体積含水率よりも著しく低く、降雨に対してほとんど反応していないことがわかる。これは、土壤水分計と孔壁の間に隙間があったことが原因だと考えられる。土壤水分計の設置方法に関しては今後も改良が必要であるが、本研究では、深度10cm, 20cm, 30cmで計測された体積含水率のデータを用いてこれ以降の分析を行うこととした。

4. 解析結果と考察

図-2 は本研究で用いた1次元解析モデルを示している。深度15cmと25cmを境界として3層に分割し、モデル上面の境界条件は降雨境界、モデル底面の境界条件は自由排水境界を設定した。降雨境界には上述した浸透能 ω を導入し浸透量を調節した。データ同化に関しては、粒子数は500個であり、一様乱数により初期粒子を作成した。観測ノイズは、3次元正規分布を仮定し、平均は各時刻の体積含水率の計測値、標準偏差は各深度の現地計測データの変動幅の60%、共分散は0とした。

図-3 はデータ同化によって得られた深度20cmの体積含水率の事後分布の経時変化を示している。実線は計測データ、破線は体積含水率の事後分布の平均値 μ 、点線は平均値から $\pm\sigma$ の範囲を示している。計測データと比較して若干の誤差はあるものの解析結果は体積含水率の変化傾向を概ね再現できていることがわかる。図-4 はデータ同化によって推定された水分特性曲線の事後分布を示している。この様に、現地計測に基づいてデータ同化を行うことで現地計測データを再現可能な水分特性曲線を推定することができた。今後は、この水分特性曲線と保水性試験によって得られる水分特性曲線との関係について分析する予定である。

5. まとめ

本研究では、不攪乱状態でのシラスの不飽和浸透特性の推定を目的として、シラス地盤における現地計測を行い、それによって得られた体積含水率の計測データに基づく不飽和浸透特性のデータ同化を試みた。その結果、現地計測データを良好に再現できる不飽和浸透特性を推定できることが分かった。今後の展開としては、本研究でデータ同化により推定した不飽和浸透特性と同じ現場で採取した土試料を用いた保水性試験によって推定される不飽和浸透特性を比較し、それらの差異の有無や程度について分析する予定である。

参考文献

- 1) 伊藤真一ほか: 土質の異なる斜面における現地計測に基づく不飽和浸透特性のデータ同化, 地盤工学シンポジウム, 2020.
- 2) 宮田秀介ほか: 森林斜面におけるホートン型表面流の発生に影響を与える要因—地質および降雨特性の異なる3サイトにおける観測結果の解析—, 日林誌, Vol.91, pp.398-407, 2009.

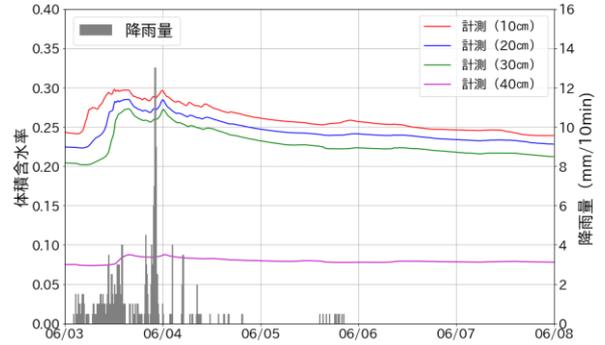


図-1 現地計測データ

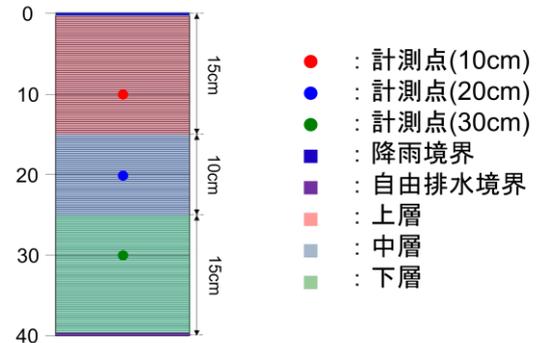


図-2 1次元解析モデル

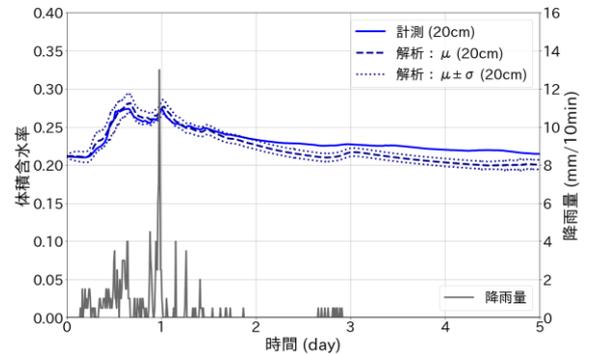


図-3 データ同化結果

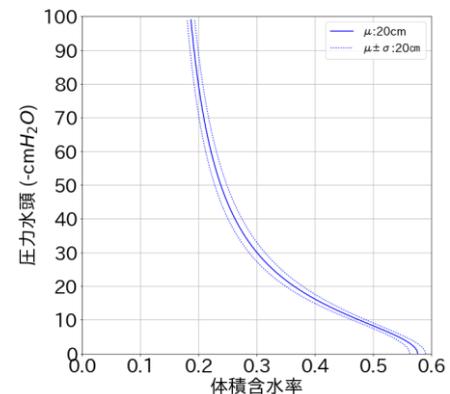


図-4 水分特性曲線の事後分布