

多様な土壌水分特性の推定に対する粒子フィルタの有用性

鹿児島大学 ○伊藤 真一
大阪産業大学 小田 和広
大阪大学 小泉 圭吾

1. はじめに

豪雨時の斜面崩壊発生を予測するためには、現地斜面における土壌水分特性の把握が重要である。筆者らはこれまでに、逐次型データ同化手法の一種である粒子フィルタを用いて、地質や計測される物理量の異なる様々な斜面において現地計測された土中水分量に関する時系列データに基づいて、土壌水分特性のデータ同化を行ってきた¹⁾⁶⁾。本研究では、それらの事例を取り纏めて、現地計測結果に基づく土壌水分特性の推定に対する粒子フィルタの有用性について明らかにする。

2. 解析手法

粒子フィルタ¹⁾は、システムの状態に関する確率分布を粒子と呼ばれる多数の実現値集合で近似的に表現し、ベイズの定理を応用して各粒子の時間推移を数値的に表現するデータ同化手法である。シミュレーションとしては、飽和不飽和浸透流解析を用いた。水分特性曲線モデルは van Genuchten モデル⁷⁾を、不飽和透水係数モデルは Mualem モデル⁸⁾を用いて、 θ_s , θ_r , α , n , および k_s の 5 種類の土壌水分特性パラメータを推定した。

3. 対象斜面

図-1 は本研究の対象斜面の位置とその特徴を示している。南西から、K 斜面はシラスで構成された高速道路沿いの盛土斜面であり、体積含水率を計測している。Y 斜面、O 斜面、H 斜面は、全て高速道路沿いの切土斜面であり、体積含水率を計測している。地質は、Y 斜面が風化したマサ土、O 斜面が粘土質シルト、H 斜面は固結したマサ土である。T 斜面は国道沿いの自然斜面であり、基盤は花崗岩であるが、表層土は概ね森林土壌である。物理量も土壌水分吸引水頭を計測しており、他の斜面とは異なる。A 斜面は寺院の裏の自然斜面であり、地質ははんれい岩である。A 斜面でも体積含水率の現地計測を行って

いる。このように、本研究で対象とした 6 つの斜面は、その特徴がそれぞれ異なっているため、土壌水分特性も異なることが予想される。

4. 解析結果

図-2 は K 斜面で計測された体積含水率の時系列データに基づいて推定された土壌水分特性パラメータを用いた再現解析結果を一例として示している。解析結果は計測結果と良く合致している。その他の対象斜面でも、同様に計測結果を高精度に再現することができた。

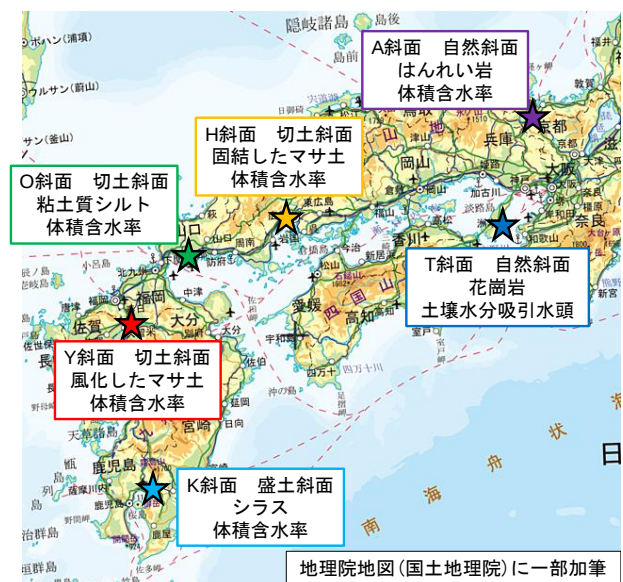


図-1 対象斜面の位置とその特徴

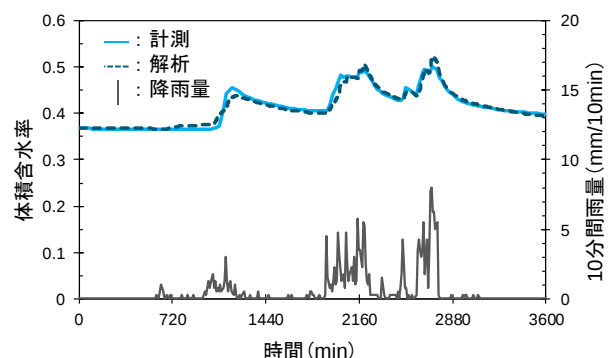


図-2 再現解析結果 (K 斜面)

表-1は各斜面で推定された土壌水分特性パラメータの値を、図-3はそれによって得られた水分特性曲線を、図-4は体積含水率と不飽和透水係数の関係を示している。これらの結果から、斜面ごとに保水性や透水性が大きく異なっていることが分かる。このように、多様な土壌水分特性を適切に推定できていることから、現地計測結果に基づく土壌水分特性を推定する問題に対して、粒子フィルタは非常に有効であることが明らかになった。また、現地計測結果からパラメータの範囲を大方推定しておくことの難しいパラメータ α と n に関しては、表-1の結果から、 $0.03 < \alpha < 0.13$, $1.3 < n < 1.6$ 程度の範囲に収まることが多いことが分かった。

5. まとめ

本研究では、6つの対象斜面においてデータ同化を行った事例を通じて、現地計測結果に基づく土壌水分特性の推定に対する粒子フィルタの有用性について検証した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 粒子フィルタは、現地計測結果に基づいて多様な土壌水分特性を適切に推定できる有用なデータ同化手法であることが分かった。
- (2) 現地計測結果から範囲を推定しておくことが難しい土壌水分特性パラメータ α と n に関しては、 $0.03 < \alpha < 0.13$, $1.3 < n < 1.6$ の範囲に収まることが多いことが分かった。

参考文献

- 1) 伊藤真一ほか：現地計測結果に基づく土壌水分特性パラメータ同定に対する粒子フィルタの適用，土木学会論文集C(地圏工学)，Vol.72, No.4, pp.354-367, 2016.
- 2) 藤本彩乃ほか：まさ土切土斜面の土壌水分特性推定における粒子フィルタの適用性，土木学会第72回年次学術講演会，pp.283-284, 2017.
- 3) 大段司ほか：粘土質シルトで構成された切土斜面における土壌水分特性のデータ同化，土木学会第72回年次学術講演会，pp.285-286, 2017.
- 4) 伊藤真一ほか：欠損を含む現地計測データに基づく土壌水分特性パラメータの逆解析—逐次型データ同化理論・粒子フィルタを用いて—，平成28年度砂防学会研究発表会，pp.B-308-309, 2016.

5) 伊藤真一ほか：京都府綾部市安国寺裏斜面における現地計測結果を用いたデータ同化，第53回地盤工学研究発表会，2018(投稿中)。

6) 藤本彩乃ほか：サクシンの現地計測結果に基づく粒子フィルタによる土壌水分特性パラメータの推定，第53回地盤工学研究発表会，2018(投稿中)。

7) van Genuchten, M.: Calculating the unsaturated hydraulic conductivity with a new closed-form analytical model, *Research Report*, No.78-WR-08, Princeton Univ., 1978.

8) Mualem, Y.: A New Model for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Porous Media, *Water Resources Research*, Vol.12, pp.513-522, 1976.

表-1 推定された土壌水分特性パラメータの値

	θ_s	θ_r	α (1/cm)	n	k_s (m/s)
Y斜面	0.535	0.115	0.060	1.355	3.5.E-04
H斜面	0.412	0.095	0.040	1.443	1.0.E-03
O斜面	0.782	0.431	0.036	1.343	2.8.E-04
K斜面	0.559	0.215	0.072	1.538	1.1.E-04
A斜面	0.843	0.523	0.079	1.397	2.3.E-04
T斜面	0.597	0.357	0.129	1.468	7.8.E-05

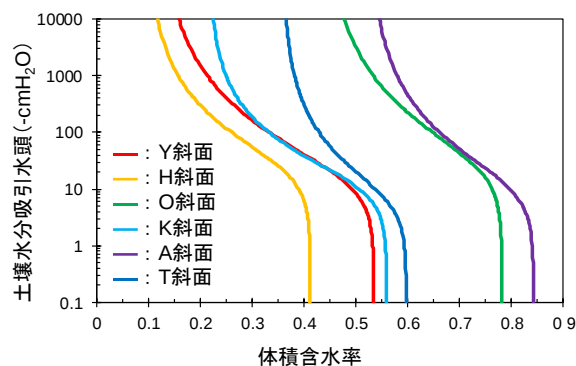


図-3 水分特性曲線

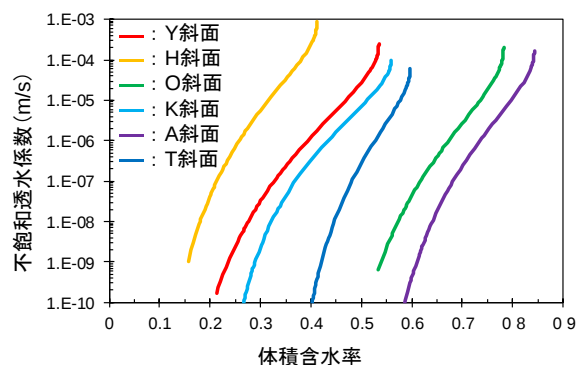


図-4 体積含水率と不飽和透水係数の関係