

まさ土切土斜面の土壤水分特性推定における粒子フィルタの適用性

大阪大学 大学院工学研究科 学生会員 ○藤本 彩乃・伊藤 真一
 大阪大学 大学院工学研究科 正会員 小田 和広・小泉 圭吾
 西日本高速道路株式会社 正会員 櫻谷 慶治

1. はじめに

地盤への雨水浸透の問題では、不飽和状態の土中水の挙動を支配する土壤水分特性が重要な役割を果たす。著者らはこれまでに、逐次型データ同化手法の一種である粒子フィルタ(PF)¹⁾を用いて、体積含水率の現地計測結果に基づく土壤水分特性パラメータの推定を試みてきた。そして、PFによりそれらを推定することができ、推定されたパラメータを用いた浸透流解析によって、解析的外挿、すなわち、推定に使用した降雨よりも強い降雨時における雨水浸透挙動の再現が可能であることなどを明らかにしてきた²⁾。また、PFを用いて土壤水分特性パラメータを効率的に推定する手法についても提案している³⁾。本研究では、これまでにデータ同化を実施していない斜面において計測されたデータに対し、提案した推定手法を適用し、その妥当性を検証する。

2. 粒子フィルタ

粒子フィルタは、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、3つの計算ステップ(1期先予測、フィルタリング、リサンプリング)を繰り返して、各粒子の時間推移を評価するデータ同化手法である。まず、1期先予測では時刻 $t-1$ から t までの飽和不飽和浸透流解析を行う。本研究では、水分特性曲線モデルとして、以下に示す van Genuchten モデルを用いた。

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

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

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、 k_s ：飽和透水係数、 α 、 n ：パラメータ、 k ：透水係数、 ψ_m ：土壤水分吸引水頭、 l ：パラメータ、 $m=1-1/n$ である。次に、フィルタリングを行い、ベイズの定理を用いて各粒子に与えられる重みを算

出する。最後に、リサンプリングを行って各粒子の重みを基に粒子の複製・消滅を行う。この3つの計算ステップを繰り返すことで、現地計測結果との適合度が高いパラメータを推定することができる。

3. 同定するパラメータと絞り込み手順

本研究において使用した現地計測結果は、中国地方の高速道路沿いのまさ土の切土斜面におけるものである⁴⁾。対象斜面では、深度 50cm に土壤水分計を設置しており、体積含水率を 10 分間隔で計測している。図-1 にデータ同化に用いた現地計測結果を示す。降雨の強弱に伴って、体積含水率が急激に上昇、下降を繰り返していることが分かる。

本研究では θ_s 、 θ_r 、 α 、 n および k_s という 5 つのパラメータの推定を行う。初期に与えるパラメータの範囲の設定について、 θ_s については、観測された体積含水率の最大値よりも大きな値を変動幅の最小値とし、 θ_r については、観測された体積含水率の最小値よりも小さな値を変動幅の最大値と設定する。 α 、 n 、 k_s

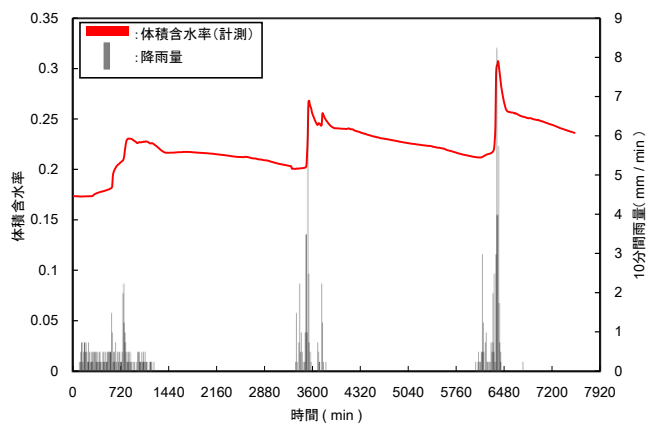


図-1 データ同化に用いた現地計測結果

表-1 初期の各パラメータの範囲

	θ_s	θ_r	α (1/cm)	n	k_s (cm/min)
min	0.35	0.00	0.01	1.30	0.01
max	0.50	0.12	0.20	3.00	10.00

キーワード データ同化、土壤水分特性、まさ土、切土斜面、数値解析

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科 地球総合工学専攻 TEL 06-6879-7626

は文献⁵⁾を参照して設定する。表-1は、初期のパラメータの範囲を示している。この範囲内で一様乱数により4500個の粒子を作成する。データ同化を行った後の絞り込み手順³⁾に関しては、データ同化により得られた粒子の分布から、パラメータの重み付き平均と標準偏差を算出する。そして、算出された重み付き平均から、 $\pm 1\sigma$ の範囲を次のデータ同化を行う際のパラメータの範囲として設定し、データ同化を行う。これらを繰り返すことで、パラメータを絞り込んでいく。

4. 粒子フィルタの適用性

上述したパラメータの推定手法を用いて、合計4度のデータ同化を行った。表-2は、4度目のデータ同化を行った際のパラメータの範囲と、4度目のデータ同化において最も多く複製された粒子の各パラメータの値（以下、代表値）を示している。また、図-2は代表値を用いた現地計測結果に対する再現解析結果を示している。代表値を用いたシミュレーションでは現地計測結果を精度良く再現できていることが分かる。

次に、データ同化に用いた降雨イベントとは異なる降雨イベントに対する再現解析を通じて、推定されたパラメータの妥当性の検証を行う。図-3は、その降雨イベントに対する再現解析結果と現地計測結果を示している。解析結果は、体積含水率の最大値に若干の誤差があるものの、体積含水率の上昇するタイミングなどに関しては、現地計測結果を概ねよく予測することができている。以上の結果より、提案した手法を用いると、現地計測結果を精度良く再現できるパラメータの推定が可能であることが確認できた。

5. まとめ

本研究では、筆者らが提案したPFによるパラメータの推定方法をまさ土の切土斜面において適用した。その結果、提案した方法に基づいて推定されたパラメータを用いると、現地計測結果を精度良く再現することができた。このことから、筆者らが提案したされたPFによるパラメータの推定方法の妥当性が確認された。

参考文献

- 1) 樋口知之ほか：データ同化入門一次世代のシミュレーション技術一，pp.101-115，朝倉書店，2013。
- 2) 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。
- 3) 藤本彩乃ほか：粒子フィルタによる土壌水分特性パラメータの実用的な推定方法に関する研究，第20回応用力学シンポジウム，2017（投稿中）
- 4) 櫻谷慶治ほか：NEXCO 自社回線を活用した現地モニタリングシステムの開発，第71回土木学会年次学術講演会，VI-591, pp.1181-1182, 2016
- 5) 北村良介ほか：不飽和地盤の挙動と評価，pp.35-45，地盤工学会，2004。

表-2 データ同化後の各パラメータの範囲と代表値

	θ_s	θ_r	α (1/cm)	n	ks (cm/min)
min	0.4033	0.0594	0.0247	1.3583	3.7450
max	0.4507	0.0990	0.0570	1.5135	6.7421
代表値	0.4120	0.0950	0.0403	1.4434	6.2878

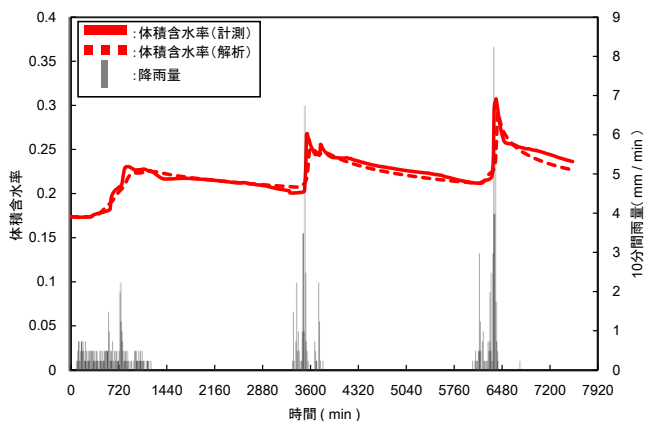


図-2 代表値による再現解析結果

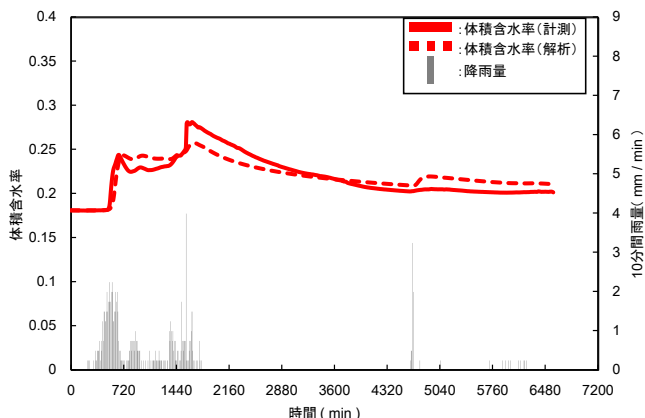


図-3 別の降雨イベントにおける
現地計測結果と雨水浸透解析結果