

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—

大阪大学大学院 ○伊藤 真一・小田 和広・小泉 圭吾
 大阪大学大学院 白木 陽平・越村 謙正・藤本 彩乃

1. はじめに

斜面崩壊の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。近年のモニタリング技術の発展により、体積含水率や土壌水分吸引水頭などの現地計測が普及している。これに伴い、現地計測に基づく土壌水分特性パラメータの逆解析が注目されている¹⁾。ただし、現地計測にはデータ欠損が発生する場合がある。そのため、欠損を含む現地計測データを用いた場合でも精度良くパラメータを同定できる逆解析手法が求められる。また、現地計測データは常に計測され蓄積されていく。このため、同定されたパラメータも新たな計測データが得られるたびに逐次修正されるのが望ましい。本研究では、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、欠損を含む現地計測結果に基づく土壌水分特性パラメータの同定と更新を試みる。

2. 粒子フィルタ

粒子フィルタ²⁾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。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。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、各粒子に与えられた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、適切な土壌水分特性パラメータを同定する。

現地計測データに欠損が発生している場合は、フィルタリングとリサンプリングは行わず、1期先予測のみを行う。つまり、データが欠損している時刻では、システムの状態(例えば、体積含水率や土壌水分吸引水頭の値)は浸透流解析により変化するが、粒子数の増減に関する計算ステップは行わない。

3. 対象斜面の概要と現地計測データ

対象斜面は、九州地方に位置する高速道路沿いの盛土斜面である。降雨量は10分間隔で計測しているが、体積含水率の計測間隔は20分である。また、体積含水率の現地計測データは稀に欠損が生じている期間がある。したがって、対象斜面で計測される体積含水率のデータ数は降雨量のデータの半数以下である。本研究では、3つの降雨イベントを解析対象として用いた。表-1は各降雨の特徴を示している。1つ目の降雨は降雨①(長雨)と呼び、2つ目の降雨は降雨②(集中)、3つ目の降雨を降雨③(交互)と呼ぶ。

4. 粒子フィルタによるパラメータの同定

図-1は本研究で用いた1次元解析モデルを示している。深度30cmを境界として上層と下層の2層に分割したため、5種類、合計10個のパラメータ(上層と下層の $\theta_s, \theta_r, \alpha, n, k_s$)を同定することとした。

まず、降雨①(長雨)の現地計測結果に基づいて、粒子フィルタによる逆解析を行った。次に、同定されたパラメータを用いて、各降雨イベントに対する

表-1 3つの降雨の特徴と各データの個数

	降雨期間	総雨量	最大3時間雨量	降雨の特徴	降雨量のデータ数	体積含水率のデータ数
降雨①(長雨)	3日	154 (mm)	24.5 (mm/3h)	長雨型	433	214
降雨②(集中)	2.5日	199 (mm)	72.75 (mm/3h)	集中豪雨型	361	178
降雨③(交互)	6日	140 (mm)	20.5 (mm/3h)	降雨→無降雨→降雨(交互)	865	430

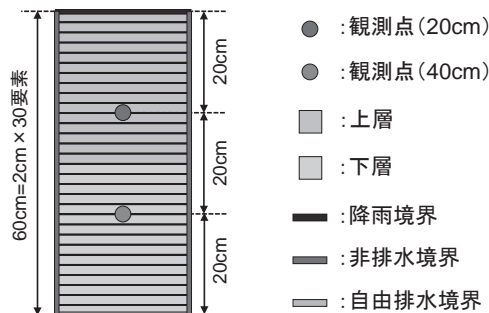


図-1 1次元解析モデル

再現解析を行った。図-2から図-4は、降雨①(長雨)、降雨②(集中)、降雨③(交互)に対する再現解析結果をそれぞれ示している。これらの図より、同定されたパラメータを用いた再現解析では、現地計測結果を概ね再現できている。したがって、逆解析手法として粒子フィルタを用いると、欠損を含む現地計測結果を基にパラメータを同定した場合であっても、十分に適切なパラメータを同定できるといえる。

5. パラメータの更新が再現性に与える影響の考察

ここでは、浸透流解析とバイズ更新を逐次繰り返す粒子フィルタの特長を生かして、パラメータを更新した。具体的には、前章の逆解析により算出された粒子の重みを初期値として降雨②(集中)に対する逆解析を行った。さらに、その結果も初期値として降雨③(交互)に対する逆解析も行った。表-2は更新されたパラメータの値を示している。更新を行うたびに、パラメータの値が若干変化している。それぞれのパラメータの組み合わせを用いて、3つの降雨イベントに対する再現解析を実施し、解析値と計測値の残差平方和を用いて解析精度を比較した。表-3は各パラメータの組み合わせを用いて算出された残差平方和の値を示している。この結果から、パラメータを更新するたびに、算出される残差平方和の値が小さくなっている。これは、降雨形態の異なる3つの降雨イベントの全てで該当している。このことから、様々な降雨イベントを学習させていくことで、同定されたパラメータを、より現地の状態に近い適切なものへと更新できることが明らかとなった。

6. まとめ

本研究では、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同定と更新を行うために、逐次型データ同化手法の一種である粒子フィルタを適用した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 逆解析手法として粒子フィルタを用いることで、データ欠損を含む現地計測結果を基に逆解析を行った場合であっても、適切なパラメータを同定できることがわかった。
- 2) 降雨形態の異なる様々な種類の降雨イベントを学習させていくことで、より現地の状態に近いパラメータへと更新できることがわかった。

参考文献

- 1)伊藤真一他：粒子フィルタを用いた現地計測に基づく土壌水分特性パラメータの同定, 第51回地盤工学研究発表会, 2016.

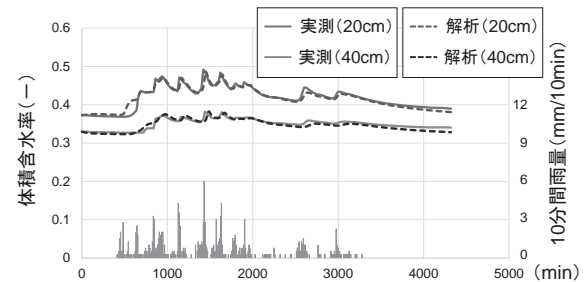


図-2 降雨①(長雨)に対する再現解析結果

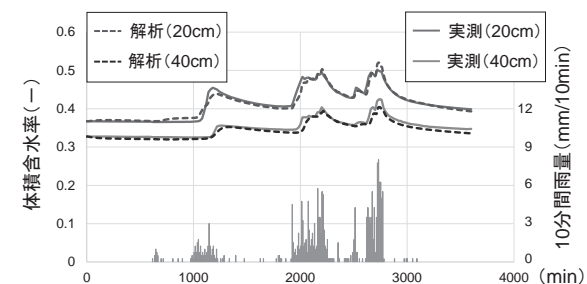


図-3 降雨②(集中)に対する再現解析結果

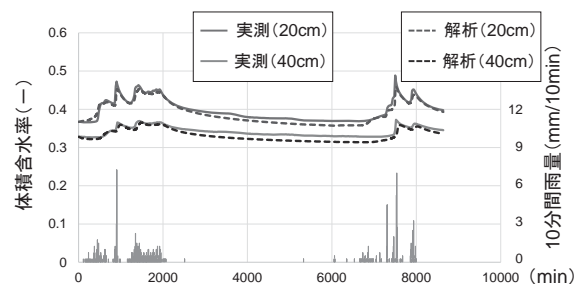


図-4 降雨③(交互)に対する再現解析結果

表-2 更新されたパラメータの値

		θ_s (-)	θ_r (-)	α (1/cm)	n (-)	ks (cm/min)
降雨①のみ (更新前)	上層	0.556	0.214	0.075	1.537	0.661
	下層	0.425	0.251	0.107	1.558	0.683
降雨①と 降雨②	上層	0.558	0.214	0.074	1.536	0.672
	下層	0.427	0.252	0.105	1.557	0.676
降雨①～ 降雨③	上層	0.559	0.215	0.072	1.538	0.681
	下層	0.429	0.255	0.098	1.562	0.664

表-3 算出された残差平方和の値

		残差平方和					
		降雨①(長雨)		降雨②(集中)		降雨③(交互)	
		20cm	40cm	20cm	40cm	20cm	40cm
逆解析	降雨①のみ (更新前)	0.0159	0.0092	0.0105	0.0125	0.0401	0.0574
	降雨①と 降雨②	0.0157	0.0075	0.0104	0.0096	0.0401	0.0453
	降雨①～ 降雨③	0.0146	0.0064	0.0101	0.0061	0.0372	0.0294