

公益信託 NEXCO関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金  
受託者 三菱UFJ信託銀行株式会社 宛

## 研究概要書

研究課題：データ同化手法に基づくハイブリッド型リアルタイム斜面解析手法の開発

研究代表者：大阪大学大学院工学研究科 准教授 小田 和広

共同研究者：大阪大学大学院工学研究科 助教 小泉 圭吾

### 1. はじめに

毎年、全国各地で豪雨による斜面崩壊が頻発している。斜面崩壊の発生には、土中への雨水浸透が大きく影響するため、現地斜面における土壌水分特性の把握は重要である。ところで、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。したがって、これらの現地計測データを基に、適切に土壌水分特性パラメータを同定することができれば、より現地の状態に近い雨水浸透シミュレーションが可能になると考えられる。

### 2. 研究の目的

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<sup>[1]</sup>を用いて、現時点までの現場計測結果によって解析パラメータをリアルタイムに修正することにより、近未来の斜面中の体積含水率や土壌水分吸引水頭の挙動を予測するハイブリッド型リアルタイム斜面解析手法の開発を研究目的とする。具体的には、まず、飽和不飽和浸透流解析手法に対し、粒子フィルタを適用することにより、ハイブリッド型リアルタイム斜面解析手法を提案する。次に、カラム実験に対する提案手法の適用性を検証する。最後に、実斜面に対する本解析手法の適用性を検証する。

### 3. 粒子フィルタ

図-1は粒子フィルタの基本概念を示している<sup>[1]</sup>。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。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同定することができる。なお、本研究では、水分特性曲線モデルとして、van Genuchtenモデルを用いた。

### 4. カラム実験に対する適用性の検証

図-2はカラム模型の概要を示している。対象試料には奈良県産のマサ土を用いた。高さ10cmと20cmの地点に土壌水分

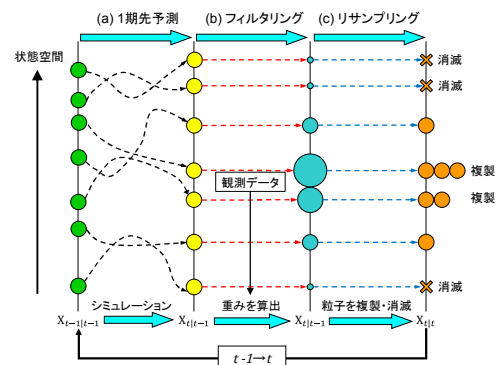


図-1 粒子フィルタの基本概念<sup>[1]</sup>

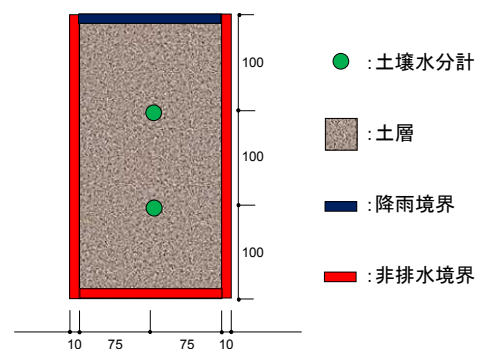


図-2 カラム模型の概要

計を埋設し、体積含水率を計測した。噴霧装置を用いて、12.5(mm/h)の降雨強度で散水を行った。図-3は体積含水率の経時変化における実験結果とその再現解析結果を示している。体積含水率が0.3程度に達した後の挙動において、実験と解析との間に多少の差があるのは、空気穴の閉塞のタイミングが遅かったため、カラム内に浸透した水分が抜けてしまったためであると考えられる。これらの点を考慮すれば、粒子フィルタを用いることで、数値解析によりカラム実験を概ね再現できることが確認された。

### 5. 実斜面での現地計測に対する適用性の検証

筆者らの研究グループでは、九州地方に位置する高速道路沿いの切土斜面において、体積含水率の現地計測を実施中である。この実測値に対して、ハイブリッド型リアルタイム斜面解析手法を適用する。本検討では、まず、発生頻度が高いが強度が弱い雨に対して解析手法を適用し、パラメータの同定を行う。その後、同定されたパラメータを用い、観測期間において最も強度が高かった降雨時における体積含水率の挙動の予測を行った。図-4は強度が弱い降雨時での体積含水率の経時変化における現地計測結果とその再現解析結果の比較を示している。ハイブリッド型リアルタイム斜面解析手法によって同定されたパラメータは、現地計測結果を精度良く再現できていることがわかる。図-5は強降雨時における体積含水率の経時変化における現地計測結果とその予測解析結果の比較を示している。図-4において同定されたパラメータを使った予測解析によって体積含水率の経時変化を精度よく再現できていることが分かる。既往の逆解析手法<sup>[2]</sup>を用いた場合は、同定されたパラメータが局所解に収束していたため、このような解析的な外挿は不可能であった。それに対して、逆解析手法として粒子フィルタを用いることで、現地の状態に近い適切なパラメータの同定が可能になっている。すなわち、開発したハイブリッド型リアルタイム斜面解析手法は、強降雨時の土壌の水分挙動を高精度で予測出来るものと考えられる。

### 6. まとめ

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、現場計測結果によって解析パラメータをリアルタイムに同定することにより、近未来の斜面中の体積含水率や土壌水分吸引水頭の挙動を予測する解析手法であるハイブリッド型リアルタイム斜面解析手法を開発した。また、それによって、未経験の降雨時における体積含水率を推定できることを明らかにした。今後は、より強い降雨に対し、斜面が崩壊に至るまでの挙動の予測への適用について検討を進めていきたい。

### 参考文献

[1] 片山徹：非線形カルマンフィルタ，朝倉書店，pp.121-160，2012

[2] 白木陽平，小田和広，小泉圭吾，徳田早映，伊藤真一，竹本将，藤原優，森下泰：Hydrusによる現地計測結果に基づく雨水浸透の逆解析，第50回地盤工学研究発表会，pp.965-966，2015。

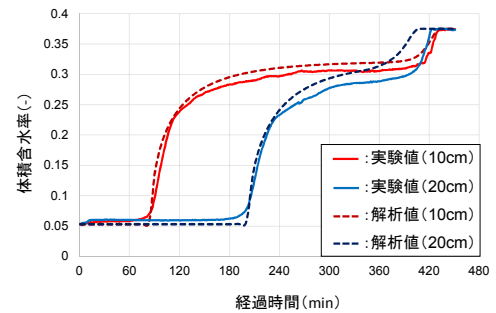


図-3 体積含水率の経時変化における実験結果と再現解析結果の比較

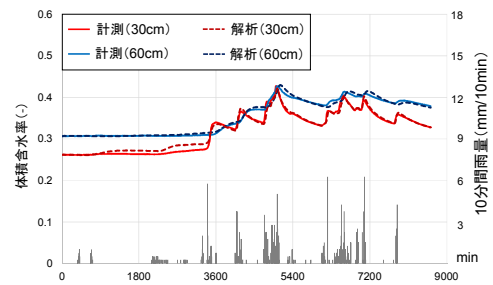


図-4 強度が弱い降雨時での体積含水率の経時変化における現地計測結果と再現解析結果の比較

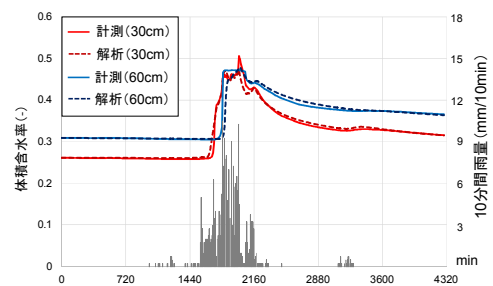


図-5 強降雨時での体積含水率の経時変化における現地計測結果と予測解析結果の比較