

令和元年6月25日現在

機関番号：34407

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01328

研究課題名（和文）データ同化手法を用いた斜面災害に対する近未来予測手法の開発

研究課題名（英文）Development of near future forecasting method for slope disasters using data assimilation technique

研究代表者

小田 和広 (Oda, Kazuhiro)

大阪産業大学・工学部・教授

研究者番号：00185597

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、データ同化手法を適用することで、現時点までの現場計測結果を再現できるように解析条件やパラメータをリアルタイムに自己修正し、そして、修正された解析条件やパラメータを使用し、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、すなわち、ハイブリッド型リアルタイム斜面解析手法の開発を行った。具体的には、まず、逐次型データ同化手法の一種である粒子フィルタを飽和・不飽和浸透解析に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開発した。実斜面における現場計測にも本解析手法を適用し、その適用性も検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国土の7割以上が山地で構成される日本では、毎年全国各地で豪雨による斜面災害が発生している。斜面災害は、土中の水分状態に依存しており、現況のそれをモニタリングする現地計測も普及している。一方、数値解析でも土中水分量の予測する不飽和浸透流解析技術は確立されている。但し、現地計測には予測ができない、数値解析には適切なパラメータや境界条件を決定するのが難しい。本研究では、数理情報技術の一つであるデータ同化手法によって両者を結びつけ、精度の高い土中の水分量の予測手法を開発した。また、それを使って、土砂災害の近未来予測手法の基礎的な研究を行った。

研究成果の概要（英文）：In this study, the authors attempted to reveal the moisture characteristics of decomposed granite soils by sequential data assimilation in which field measurements of both volumetric water content and rainfall were used. The particle filter method was applied for sequential data assimilation. In the analysis, a saturated-unsaturated seepage finite element analysis was adopted as a simulation model. Six soil moisture parameters could be identified by the particle filter method from the field measurements of volumetric water content. Moreover, the numerical simulation, in which the soil moisture parameters determined from the results of identifying by the particle filter were applied, was able to predict the soil moisture behavior in any state.

研究分野：地盤工学

キーワード：斜面災害 体積含水率 データ同化 粒子フィルタ 不飽和浸透 数値解析 現地計測 水分特性曲線

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

IPCC の第 5 次報告では、今後も地球温暖化が進むとともに、それによって降雨強度も増大すると予想されている。すなわち、今までに経験したことがなかった集中豪雨が多発するようになる。事実、一昨年、昨年と非常に強い集中豪雨が各地で生じ、多くの斜面崩壊が発生した。つまり、今後も未経験の集中豪雨による斜面崩壊は今後も増加するものと考えられる。

斜面崩壊の発生は、誘因である降雨、素因である斜面の状況の 2 つの組み合わせによって決定される。このうち、誘因である降雨については、現在、降水短時間予報や高解像度降水ナウキャストによって数時間先までの予測ができるようになっている。また、将来的にはフェーズドレイレーダーが実用化されれば、より局所的・短期的な降水予測の精度向上が図られるであろう。

一方、素因である斜面の状況、特に斜面崩壊の危険度については、それを把握する手法が十分に確立されているとは言い難い。そこで、研究申請者らのグループは、斜面崩壊の素因に着目した 3 つのテーマを設定し、研究を行ってきた。まず、A) 斜面災害を特徴毎にクラスタリングするとともに、無数の斜面の中から崩壊の危険性が高い斜面を抽出する机上判定法を提案した。次に、抽出された危険斜面に対し、B) 効率的な斜面監視モニタリングシステムの開発とその観測値の活用、C) 数値解析に基づく斜面への雨水浸透挙動の再現と変状発生メカニズムの解明を行ってきた。ところで、斜面監視モニタリングでは、観測値の解釈が重要であることは言うまでもない。斜面監視モニタリングでは、主として土壌の水分やサクションが計測されるが、それらは斜面崩壊に対する危険度とは直接的に結びつく訳ではない。また、観測値は、斜面の現在の状況を表すものであって、それ自体によって斜面崩壊の危険度の予測はできない。一方、数値解析は、予想される外力(今回の研究の場合、降雨)を設定すれば、その外力に対する斜面崩壊の危険度を予想することが可能である。しかしながら、初期条件、境界条件、各解析パラメータといった解析条件を適切に設定することが困難である。したがって、斜面監視モニタリングと数値解析を緊密に結合し、前述したような問題を解消することができれば、近年精度が向上している降水予報を適用することにより、斜面崩壊に対する危険度を高精度に評価できる解析手法が構築できる。

2. 研究の目的

本研究では、データ同化手法を適用することにより、現場モニタリング結果をできるだけ忠実に再現できるように自動的に自己修正できるハイブリッド型斜面解析手法を開発する。そして、開発したハイブリッド型斜面解析手法により、短時間先の斜面災害の危険度予測手法を提案することである。

3. 研究の方法

本研究では、主として以下の項目の実施を通じてその目的を達成する

- 1) データ同化手法を適用したハイブリッド型斜面解析手法の開発
- 2) 不飽和状態から飽和状態に至る土壌の水分挙動の変化に対するハイブリッド型斜面解析手法、特に雨水浸透挙動への適用性の検証
- 3) 実斜面における斜面監視モニタリングと降水予測に対するハイブリッド型斜面解析手法の適用性の検証と実用化に向けた課題の抽出とその解決策の考察

4. 研究成果

- 1) データ同化手法のうち、実装が容易な粒子フィルターに着目し、それを有限要素法に基づく飽和・不飽和浸透流解析手法に適用した。粒子フィルターには種々のアルゴリズムがあるが、代表的なアルゴリズムである SIS, SIR および MPF のそれぞれを適用した(図-1)。その結果、雨水浸透問題に対しては、SIR と MPF が有効であることが分かった。そして、両者を適用したハイブリッド型斜面解析手法をそれぞれ開発した。

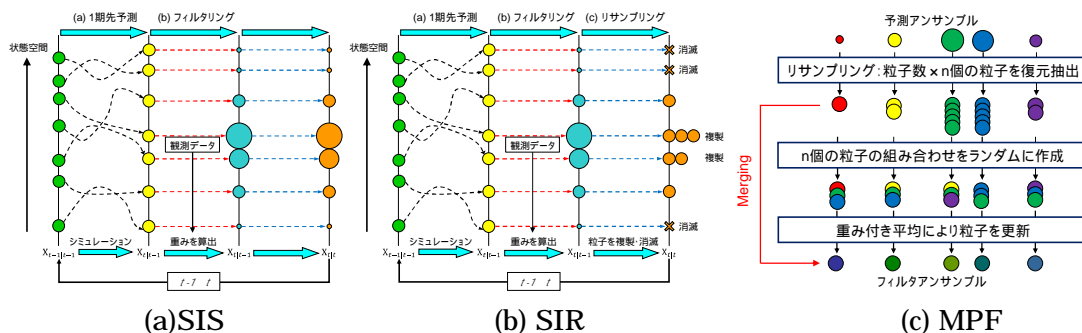


図-1 研究に使用した粒子フィルターのアルゴリズム

- 2) ハイブリッド型斜面解析手法によって、不飽和土の雨水浸透挙動を支配する水分特性曲線 (van Genuchten モデル) と不飽和透水係数 (Mualem モデル) のパラメータの決定ができる

ことが分かった。すなわち、図-2 はデータ同化に用いた体積含水率の経時変化とそれに基づき、ハイブリッド型斜面解析手法によってデータ同化を行い同定されたパラメータを使った数値シミュレーション結果を併せて示している。

- 3) 図-3 は同定されたパラメータを用いデータ同化に使用しなかった降雨時の体積含水率の経時変化を再現した結果である。再現結果は、実測値とほぼ一致していることから、同定されたパラメータによって、任意の降雨による土中の水分量を推定できることが分かる。つまり、ハイブリッド型斜面解析手法によって任意降雨時の土中の水分量を予測する頃ができる。
- 4) 土質の異なる複数の地点において、斜面監視モニタリングによって体積含水率の現地計測を行った。その結果、本研究で使用した斜面監視モニタリングシステムの堅牢性を確認することができた。
- 5) 土質の異なる複数の地点において行われた現地計測結果に対してもハイブリッド型斜面解析手法によってパラメータの同定が可能であることが分かった。
- 6) 体積含水率だけでなくテンシオメータで計測されたサクションを用いてもハイブリッド型斜面解析手法によってパラメータの同定が可能であることが分かった。
- 7) 複数のデータ同化を通じて得られた知見に基づき、ハイブリッド型斜面解析手法の運用マニュアルを作成した。
- 8) 過去の降雨時における数値シミュレーションによって得られた体積含水率の履歴を基準としてハイブリッド型斜面解析手法による斜面災害に対する近未来予測手法を提案するとともにその適用を通じ、効果と課題を整理した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 12 件)

Keiji Sakuradani, Keigo Koizumi, Kazuhiro Oda, Satoshi Tayama, Development of a slope disaster monitoring system for expressway operation and maintenance control, Journal of GeoEngineering, 査読有り, 13(4), 2018, 189-195.

Keigo Koizumi, Keiji Sakuradani, Kazuhiro Oda, Mitsuru Komatsu, Shinichi Ito, Relationship between initial quasi-saturated volumetric water content and rainfall-induced slope deformation based on a model slope experiment, Journal of GeoEngineering, 査読有り, 13(4), 2018, 179-187.

伊藤真一, 小田和広, 小泉圭吾, 酒匂一成, 安国寺裏斜面におけるデータ同化結果を活用した斜面崩壊に対する危険基準の提案, Kansai Geo-Symposium 2018 発表論文集, 査読有り, 2018, 206-211.

伊藤真一, 小田和広, 小泉圭吾, 櫻谷慶治, 酒匂一哉, 融合粒子フィルタによって推定された浸透解析モデルの有用性の確率的検証, 第 9 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 査読有り, 2018.

伊藤真一, 小田和広, 櫻谷慶治, 藤本彩乃, 横川京香, 粒子フィルタに基づくヒステリシスを考慮した土壌水分特性のデータ同化, 地盤と建設, 査読有り, 35(1), 2017, 177-184.

伊藤真一, 小田和広, 小泉圭吾, 藤本彩乃, 越村謙正, 現地計測に基づく浸透解析モデルのデータ同化に対する融合粒子フィルタの有用性の検証, 土木学会論文集, 査読有り, A2 73(2) 2017, 45-54.

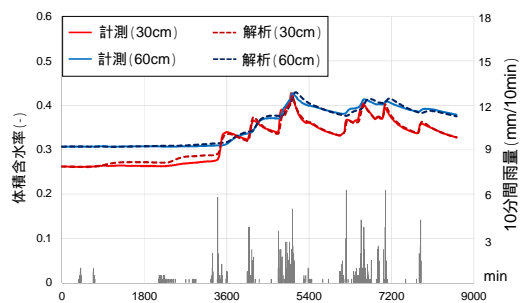


図-2 同定されたパラメータを用いた再現解析結果

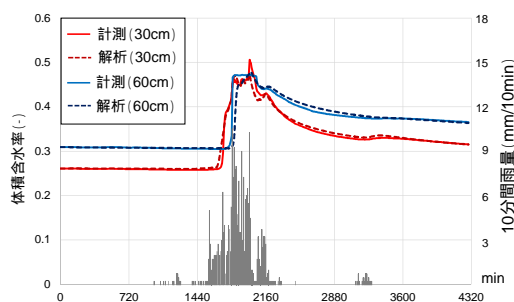


図-3 同定されたパラメータを用いた別降雨に対する再現解析結果

藤本彩乃,小田和広,伊藤真一,越村謙正,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,土木学会論文集,査読有り,A2 73(2),2017,105-113.
藤本彩乃,小田和広,伊藤真一,越村謙正,小泉圭吾,融合粒子フィルタによる土壌水分特性のデータ同化過程における粒子の挙動,Kansai Geo-Symposium 2017 発表論文集,査読有り,2017,200-206.
伊藤真一,小田和広,小泉圭吾,櫻谷慶治,体積含水率の現地計測結果に基づく浸透解析モデルのデータ同化,地盤工学会誌,査読有り,65(10),2017,10-13.
伊藤真一,小田和広,小泉圭吾,臼木陽平,粒子フィルタによる土壌水分特性パラメータの同定に対するリソソフィカの影響,土木学会論文集,査読有り,A2 第72(2),2017,63-74.
伊藤真一,小田和広,小泉圭吾,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 第72(4),査読有り,2016,354-367.
伊藤真一,小田和広,小泉圭吾,現地計測に基づく土壌水分特性パラメータの逆解析における粒子フィルタの有用性,Kansai Geo-Symposium 2016 発表論文集,査読有り,2016,253-258.

〔学会発表〕(計 12 件)

伊藤真一,小田和広,小泉圭吾,融合粒子フィルタによる土壌水分特性と体積含水率の事後分布推定,土木学会第73回年次学術講演会,2018年
藤本彩乃,櫻谷慶治,小泉圭吾,横川京香,小田和広,伊藤真一,粒子フィルタを用いた土壌水分特性推定における適切な観測ノイズの考察,土木学会第73回年次学術講演会,2018.
藤本彩乃,伊藤真一,小田和広,横川京香,鳥居宣之,藤本将光,小山倫史,サクシヨ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.
伊藤真一,小田和広,小泉圭吾,横川京香,鏡原聖史,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.
伊藤真一,小田和広,小泉圭吾,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,平成30年度砂防学会研究発表会概要集,2018.
伊藤真一,小田和広,小泉圭吾,藤本彩乃,櫻谷慶治,様々な降雨時の現地計測結果に基づく浸透解析モデルの確率論的更新,土木学会第72回年次学術講演会,2017.
大段恵司,小田和広,伊藤真一,小泉圭吾,藤本彩乃,粘土質シルトで構成される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,2017.
藤本彩乃,伊藤真一,小田和広,小泉圭吾,櫻谷慶治,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,2017.
藤本彩乃,伊藤真一,小田和広,小泉圭吾,櫻谷慶治,粒子フィルタによる土壌水分特性パラメータの推定における観測ノイズの影響,第52回地盤工学研究発表会,2017.
伊藤真一,小田和広,小泉圭吾,櫻谷慶治,粒子フィルタを用いた浸透解析モデルの推定におけるヒステリシスの影響,平成29年度砂防学会研究発表会概要集,2017.
伊藤真一,臼木陽平,小田和広,小泉圭吾,櫻谷慶治,竹本将,越村謙正,藤本彩乃,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.
伊藤真一,小田和広,小泉圭吾,臼木陽平,越村謙正,藤本彩乃,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,平成28年度砂防学会研究発表会概要集,2016.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名:小泉圭吾

ローマ字氏名:Keigo Koizumi

所属研究機関名:大阪大学

部局名:大学院工学研究科

職名：助教

研究者番号（8桁）：10362667

(2)研究協力者

研究協力者氏名：伊藤真一

ローマ字氏名：Shin-ichi Ito

研究協力者氏名：櫻谷慶治

ローマ字氏名：Keiji Sakuradani

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。