

データ同化により推定された浸透解析モデルを用いた 地下水の消失と土壤雨量指数の関係に関する分析

鹿児島大学工学部 学生会員 ○水島隆志

鹿児島大学学術研究院理工学域工学系 正会員 伊藤真一, 酒匂一成

大阪大学大学院工学研究科 正会員 小泉圭吾

1. はじめに

豪雨時の斜面崩壊に対するソフト対策として、避難指示や通行規制などがあり、これらの警戒情報は発令基準の高度化だけでなく解除基準の高度化も求められている。警戒情報の解除基準の高度化を試みる際に、現時点における土中水分量、特に斜面内の地下水位について適切に評価することは重要である。筆者ら^{1),2)}はこれまでに、体積含水率の現地計測データに基づく浸透解析モデルのデータ同化に関する研究を行ってきた。これにより、データ同化によって推定された浸透解析モデルを用いると、不飽和状態の浸透挙動だけでなく飽和状態の地下水の上昇や下降も再現できることを明らかにしている。本研究の目的は、データ同化により推定された浸透解析モデルを用いたシミュレーションを通じて、現地斜面で一度地下水が発生した後に地下水が消失して不飽和状態に戻る条件について明らかにすることである。具体的には、まず、現地計測データに基づくデータ同化を行って浸透解析モデルを推定する。次に、浸透解析モデルに与える様々な降雨パターンを作成する。最後に、様々な降雨パターンを与えたシミュレーション結果に基づいて一度地下水が発生してから地下水が消失する際の土壤雨量指数の値について考察する。本研究において土壤雨量指数を雨量指数として用いた理由は、土壤雨量指数が全国一律の基準で土中の水分状態を簡易的に表現できる指標であるためである。

2. 現地計測に基づく浸透解析モデルのデータ同化

本研究では、伊藤ら^{1),2)}が提案した境界条件も考慮した浸透解析モデルのデータ同化手法を用いた。有限要素法により不飽和・飽和浸透流解析を行い、水分特性曲線モデルとしては van Genuchten モデルを、不飽和透水係数モデルとしては Mualem モデルを用いた。不飽和浸透特性に関する未知パラメータとして θ_s , θ_r , α , n , k_s を、モデルの境界条件に関する未知パラメータとして ω と β をデータ同化により推定した。データ同化についての詳細は参考文献^{1),2)}を参照されたい。

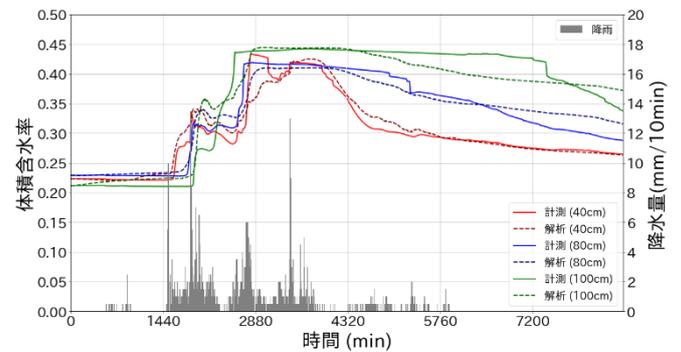


図-1 体積含水率の事後分布の経時変化

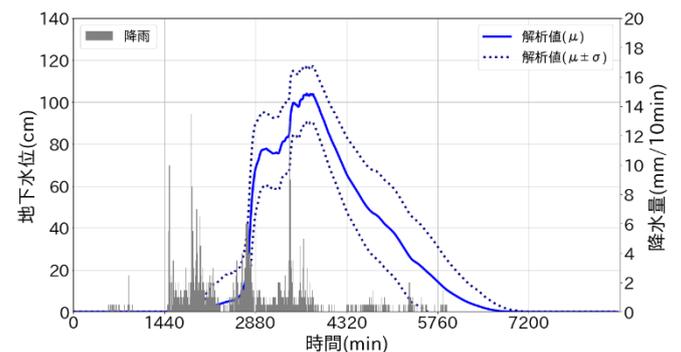


図-2 地下水位の事後分布の経時変化

データ同化に用いた現地計測データは平成 30 年 7 月豪雨時に現地計測された体積含水率の時系列データである。この時、対象斜面付近で多数の小規模な表層崩壊が発生しており、当該斜面においても表層地盤が飽和していたことが報告されている。図-1 はデータ同化によって推定された体積含水率の事後分布を、図-2 は地下水位の事後分布を示している。これらの結果から、提案されたデータ同化手法を用いて推定された浸透解析モデルは、各計測点における現地計測データを概ね再現出来ていることが分かる。加えて、体積含水率の上昇後に地下水位も変動していることが確認できる。

3. 浸透解析モデルに与える降雨パターン

前章で推定された浸透解析モデルに対して様々なパターンの降雨を与える。ここでは作成した降雨パターンについて詳述する。本研究では、期間は5日間、総雨量

は 300mm でパターンの異なる降雨イベントを 9 パターン作成した。前方集中型, 中央集中型, 後方集中型の 3 パターンを基本として, それに先行降雨を与えたものと, 降雨期間を 1 日とすることで降雨強度を増加させたものの合計 9 パターンを作成した。図-3 は時間雨量と土壤雨量指数の関係を表したスネーク曲線を示している。総雨量は全て 300mm であるが, 土壤雨量指数のピーク値は異なっていることがわかる。

4. 地下水が消失する際の土壤雨量指数

図-4 はデータ同化により推定された浸透解析モデルに対して後方集中型の降雨を与えた場合の地下水位と土壤雨量指数の関係を示している。この結果から, 土壤雨量指数の増加に伴い一旦地下水位も上昇し, 地下水位が 80cm を超えてピークに達した後に土壤雨量指数の減少に伴って地下水位も減少していることが確認できる。本研究では, 地下水が消失する際の土壤雨量指数に着目しているが, この降雨パターンでは, 約 100 時間後の土壤雨量指数が 70 程度まで減少した際に地下水は消失したことが分かる。同様の検討を他の 8 つの降雨パターンでも行い, 地下水が消失する際の土壤雨量指数について分析を行った。図-5 は 9 つの降雨パターンを, データ同化により推定された浸透解析モデルに対して与えて得られた地下水消失時における土壤雨量指数のヒストグラムを示している。本研究で用いた 9 つの降雨パターンの全てで, 地下水が消失する際の土壤雨量指数は 60 ~ 80 であることが分かる。つまり, 総雨量が 300mm の降雨の場合, どのような降雨パターンであっても土壤雨量指数が 60 を下回ると地下水が消失し, 斜面内が不飽和状態に戻ることが明らかになった。今後の課題として, 降雨パターンだけでなく, 総雨量を変化させた検討を行い, 地下水消失時における土壤雨量指数の条件を明らかにする必要がある。

5. まとめ

本研究では, データ同化により推定された浸透解析モデルを用いて, 地下水が消失する際の土壤雨量指数の値について考察した。その結果, 本研究の対象斜面では, 総雨量 300mm の降雨であれば, 降雨パターンに係わらず土壤雨量指数が 60 を下回ると地下水が消失することが明らかになった。今後は, 推定された浸透解析モデルに対して総雨量を変化させた様々な降雨を与えて, 地下水が消失する際の土壤雨量指数について更なる分析を行う予定である。

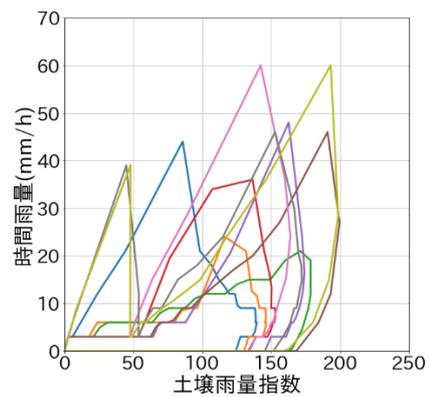


図-3 降雨イベント(9パターン)ごとのスネーク曲線

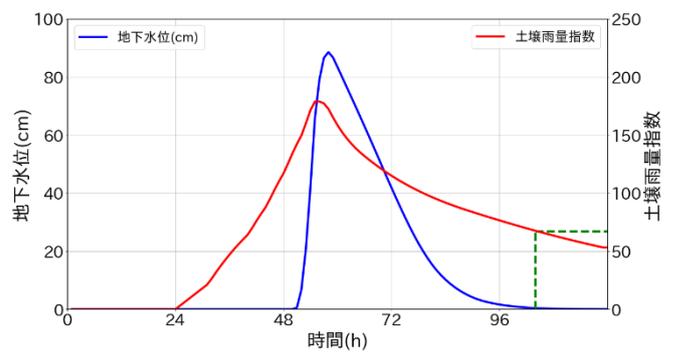


図-4 地下水位と土壤雨量指数の経時変化 (後方集中型降雨)

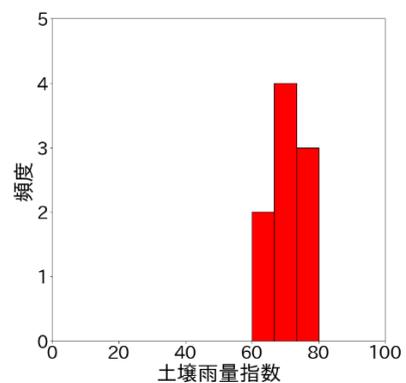


図-5 地下水消失時の土壤雨量指数のヒストグラム

謝辞: 本研究は, 科研費(若手研究, 20K14828, (代表: 伊藤真一))の支援を受けて行われました。ここに記して謝意を表します。

参考文献: 1) 伊藤真一ほか: 融合粒子フィルタを用いた境界条件を含む浸透解析モデルの推定手法の提案, 土木学会論文集 C(地盤工学), Vol.76, No.1, pp.52-66, 2020. 2) 馬場咲也子ほか: 斜面内への浸透能を考慮した浸透解析モデルのデータ同化, 第 55 回地盤工学会発表会, -22-12-1-02 -, 2020.