

データ同化によって推定された浸透解析モデルを用いた地下水発生確率の算出

鹿児島大学 正会員 ○伊藤 真一 正会員 酒匂 一成
 大阪産業大学 正会員 小田 和広
 大阪大学 正会員 小泉 圭吾 学生会員 西村 美紀

1. はじめに

豪雨時の斜面崩壊の発生には土中の水分量や間隙水圧が大きく影響し、解析的にそれらを算出するためには水分特性曲線や飽和透水係数を高精度に推定しておく必要がある。筆者らはこれまでに、現地計測データを用いて水分特性曲線と飽和透水係数の推定(データ同化)を行ってきた¹⁾。既往の研究では、1次元解析モデルを仮定してモデル底面の境界条件を自由排水境界とすることで、不飽和状態における浸透挙動の再現を試みてきたが、平成30年7月豪雨時には現地斜面においても地下水(正の間隙水圧)が発生し、土中水分量を適切に再現できなかった。そこで筆者らは、1次元解析モデルの底面の境界条件に関するパラメータとして浸透係数 β を導入したデータ同化手法を提案し、数値実験と現地計測データを用いたデータ同化を行って不飽和浸透から地下水の上昇・下降までの土中の水分状態を再現できることを示し、提案手法の有用性を明らかにした²⁾。本研究では、そのような地下水の上昇・下降までを再現できる浸透解析モデルに対して様々な降雨を与えて、各時刻における地下水発生確率の算出を試みる。さらに、対象斜面において地下水発生に影響の大きい降雨の特徴についても考察する。

2. 解析手法

飽和不飽和浸透流解析における水分特性曲線モデルとしては式(1)に示す van Genuchten モデル、不飽和透水係数モデルとしては式(2)に示す Mualem モデルを用いた。

$$S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) = \left\{ 1 + (-\alpha \psi)^n \right\}^{-m} \quad (1) \quad k = k_s \times S_e^{0.5} \left\{ 1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right\}^2 \quad (2)$$

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, α , n : 水分特性曲線の形状に関するパラメータ, ψ : 間隙水圧, k_s : 飽和透水係数, $m=1-1/n$ である。データ同化手法としては、融合粒子フィルタ (Merging Particle Filter) を用いた。

自由排水境界は、境界上の節点と境界の下に位置する仮想節点の圧力勾配が0であり、位置水頭の差によって排水を行う境界条件である。このことから、境界から流出する流速 v_{out} は式(3)のようになる。筆者らが提案した境界条件は、式(4)に示すように、式(3)の右辺に浸透係数 β を乗じた境界条件である。

$$v_{out} = k \cdot \Delta L \quad (3) \quad v_{out} = \beta \cdot k \cdot \Delta L \quad (4)$$

ここに、 ΔL は仮想節点の高さ、浸透係数 β は $0 \leq \beta \leq 1$ である。 $\beta=1$ の場合、底面の境界条件は自由排水境界と一致し、 $\beta=0$ の場合、底面の境界条件は非排水境界と一致する。

3. データ同化結果

本研究の対象斜面は高速道路沿いの盛土斜面である。対象斜面には複数地点で土壌水分計が設置されており、体積含水率がリアルタイムに計測されている。本研究では、2018年7月4日から7月8日までの4日間で計測されたデータを用いてデータ同化を実施した。図-1はデータ同化による体積含水率の事後分布を示している。事後分布の平均値 μ は計測データを概ね再現できており、そのバラツキも小さい。図-2はデータ同化時におけるモデル底面の地下水の発生確率の経時変化を示している。10分間雨量のピークの直後に地下水が上昇していることが確認できる。以上の結果より、提案手法を用いると、体積含水率の計測データを良好に再現でき、なおかつ、地下水の上昇・下降も表現できることが明らかになった。

キーワード データ同化, 地下水, 境界条件

連絡先 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 TEL: 099-285-8482

4. 地下水発生確率の算出

アメダス雨量計で計測された降雨量のデータから、2011年から2018年に豪雨災害を引き起こした17個の降雨イベントを抽出した。図-3は縦軸に60分間積算雨量、横軸に土壌雨量指数をとった場合の各降雨イベントのスネーク曲線を示している。推定された浸透解析モデルに対して、これらの17個の降雨イベントをそれぞれ与えて、各時刻における地下水発生確率を算出した。図-4はスネーク曲線上における地下水の発生確率を示している。まず、土壌雨量指数が100よりも小さい領域では地下水が発生していない。これは、モデル底面付近まで雨水が浸透して地下水を発生させるためには、土壌雨量指数100程度の降雨が必要であることを示していると考えられる。次に、60分間積算雨量が30(mm/h)以下の場合には地下水発生確率が低い。この傾向は、土壌雨量指数が高い場合も同様である。したがって、対象斜面における地下水の発生には、土壌雨量指数よりも60分間積算雨量の影響が大きいことが分かった。また、降雨が弱まってくる時点(スネーク曲線のピークから下がってくる時点)に着目すると、60分間積算雨量や土壌雨量指数の値が大きい場合であっても地下水発生確率は大幅に減少している。このことから、60分間積算雨量よりも短時間の降雨(例えば、現地計測している10分間降雨量)が地下水発生には重要であることが分かった。

5. まとめ

本研究では、データ同化によって推定された浸透解析モデルに対して様々な降雨を与えて、各時刻の地下水発生確率を算出し、地下水発生に影響の大きい降雨の特徴について考察した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 本研究の対象斜面では、モデル底面まで雨水が浸透して地下水を発生させるためには土壌雨量指数が100程度の降雨が必要であることが分かった。
- (2) 対象斜面における地下水の発生に対して、60分間積算雨量などの短時間雨量の影響が大きいことが分かった。

参考文献：1) 伊藤真一ほか：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A2(応用力学)，Vol.73，No.2，pp.I_45-I_54，2017。 2) 伊藤真一ほか：境界条件を含む浸透解析モデルのデータ同化方法の提案，第54回地盤工学研究発表会，投稿中，2019。

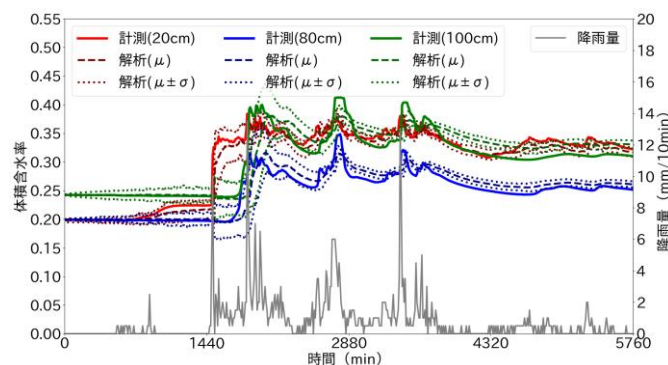


図-1 体積含水率の事後分布

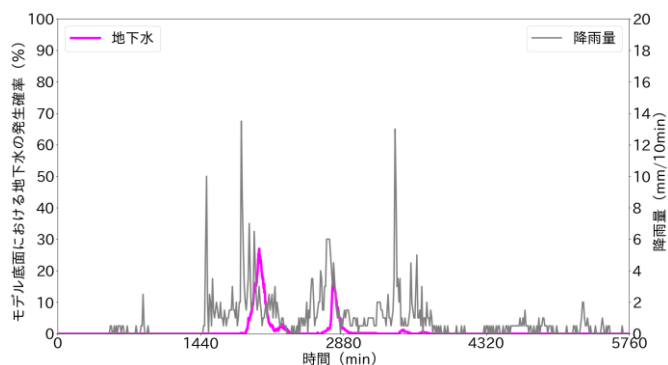


図-2 モデル底面の地下水発生確率の経時変化

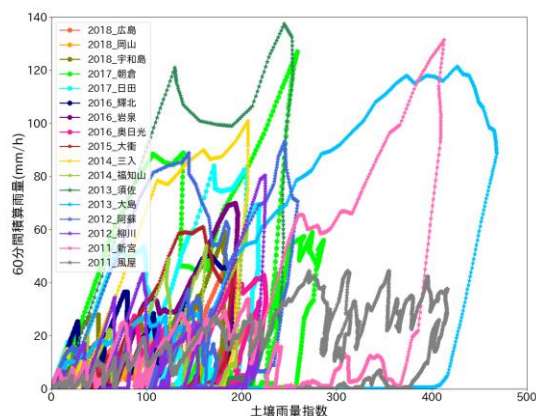


図-3 スネーク曲線

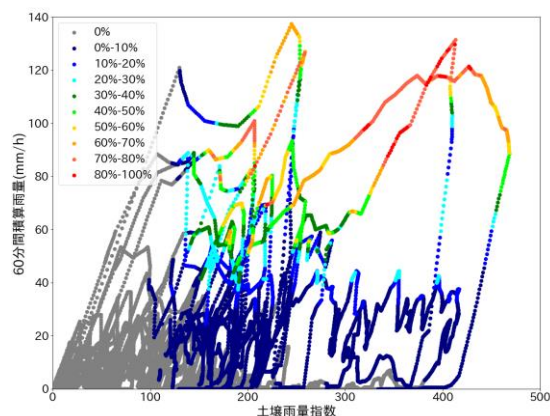


図-4 スネーク曲線上における地下水の発生確率