

綾部市安国寺の裏山斜面における現地計測に対するデータ同化によって同定された 土壌水分特性パラメータに関する考察

大阪産業大学 正会員 小田和広
大阪産業大学 学生会員 ○亀井佑真
大阪大学 正会員 小泉圭吾
鹿児島大学 正会員 伊藤真一

1. はじめに

筆者らは、土中の体積含水率の現地計測に対しデータ同化を適用し土壌水分特性パラメータを同定する。そして、同定したパラメータを使い、降水予報を外力として土中の水分量を予測し、それによって斜面崩壊に対する危険度をリアルタイムに評価するシステムの開発を行っている。このシステムの実用化において、実際に長期間にわたる現地計測結果に対しデータ同化を行い、その適用性や問題点を明らかにしておくことは非常に重要である。本研究では、約2ヶ月半の期間の体積含水率の現地計測に対してデータ同化を行い、データ同化結果、特に、土壌水分特性パラメータの変化に対して考察する。

2. 解析手法

斜面への雨水浸透挙動を再現するためには、赤井らの方法¹⁾に基づく飽和不飽和浸透流解析を用いた。水分特性曲線モデルとして、van Genuchten モデル¹⁾、また、不飽和透水係数モデルとして Mualem モデル¹⁾を用いた。それぞれを式(1)および(2)に示す。

$$S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) = \left\{ 1 + (-\alpha \psi)^n \right\}^{-1/n} \quad (1)$$

$$k = k_s \times S_e^{0.5} \left\{ 1 - (1 - S_e^{n/n-1})^{1-1/n} \right\}^2 \quad (2)$$

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、 k_s ：飽和透水係数、 α 、 n ：パラメータ、 k ：透水係数、 ψ ：土壌水分吸引水頭である。

データ同化手法として、融合粒子フィルタ (MPF)¹⁾を用いる。MPF では、まず、粒子と呼ばれる多数のシミュレーションモデル、具体的には異なる解析パラメータを持つ解析モデルが準備される。当然、各粒子の解析結果は異なる。その様な状況下で、計測値が適用されると、まず、計測値と解析結果の差の確率分布（本研究では正規分布）によって各粒子の計測値に対する適合度を評価する。そして、各粒子が持つ適合度に応じて、全ての粒子の解析パラメータが適合度の高い粒子の解析パラメータに近づくように自動的に更新される¹⁾。なお、本研究では、相対誤差を用いて適合度を評価するこ

ととした。その際、計測値と解析結果の差の確率分布である正規分布の形状を決定する標準偏差を 10% としてデータ同化解析を行う。

3. 解析対象

解析対象斜面は、京都府綾部市安国寺裏山斜面の測線①である²⁾。深度 20cm、80cm および 100cm に土壌水分計を設置し、体積含水率を 10 分間隔で計測している。図-1 は解析モデルを示している。雨水浸透は鉛直下方向のみに起こるので一次元のモデルとした。解析期間は 2020/05/13~07/30 であり、土壌水分計設置から約 1 年後である。

4. データ同化結果

図-2 は体積含水率の経時変化の実測値とデータ同化結果を併せて示している。体積含水率の急激な上昇がいくつか起こっているが、これは降雨によるものである。一方、体積含水率の減少はゆっくりである。つまり、

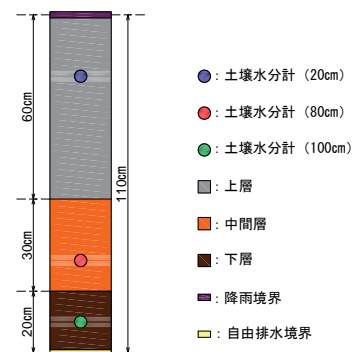


図-1 解析モデル

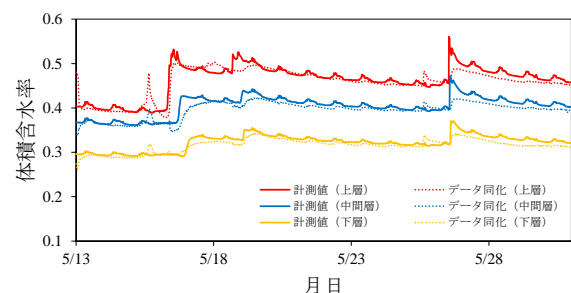


図-2(a) 体積含水率の経時変化 (5/13~5/31)

キーワード データ同化, 雨水浸透, 体積含水率, 数値解析, 現場計測

連絡先 〒574-8530 大阪府大東市中垣内3丁目1-1 大阪産業大学工学部都市創造工学科 TEL 072-875-3001

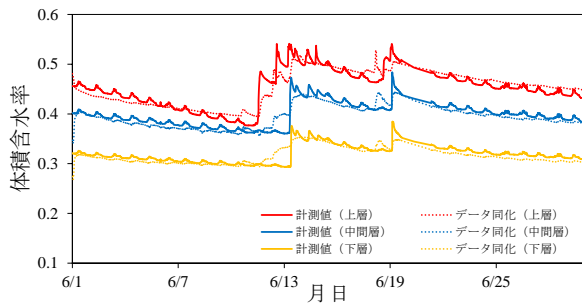


図-2 (b) 体積含水率の経時変化 (6/1~6/30)

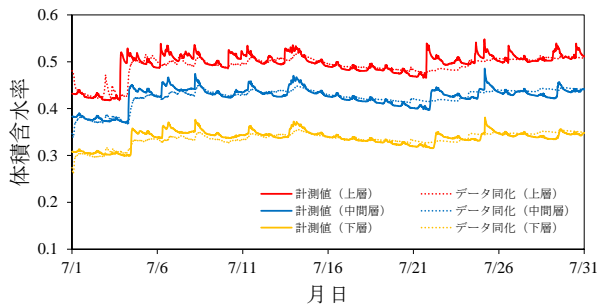


図-2 (c) 体積含水率の経時変化 (6/1~6/30)

この斜面の土は水を含みやすいが排水し難い。細かくみればデータ同化結果は現地計測結果を完全にフォローできている訳ではないが、先に指摘した体積含水率の急激な上昇とその後のゆっくりとした減少の挙動を再現できている。

5. 土壌水分特性パラメータの頻度分布

図-3 は飽和体積含水率 θ_s の頻度分布の変化をしている。5月末では0.51~0.52にある最頻値が、6月末には0.54~0.55, 7月末には0.55~0.56にまで変化している。図-4 は正規化パラメータ α の頻度分布の変化を示している。最頻値は、5月末では0.50~0.75, 6月末にも0.50~0.75, 7月末には0.75~1.25に変化している。図-5 は飽和透水係数 k_s の頻度分布の変化を示している。 k_s は、5月末には15.0~20.0cm/min, 6月末には10.0~15.0cm/min, 7月末にも10.0~15.0cm/minに変化している。このような土壌水分特性パラメータの頻度分布の変化が起こる理由の一つとして、気温の変化があげられる。これは、気温の上昇に伴い、地表面からの水分の蒸発の影響があげられる。5月中旬と7月末の日射量が大きく異なることから、土中の水の状態に与える蒸発の影響はかなり大きいと考えられる。しかし、本研究で使用した飽和不飽和浸透流解析には蒸発の影響を考慮していない。このため、パラメータを変化させることで、解析結果を計測結果に合うようにアジャストしようとしたものと考えられる。なお、本件獣ではデータ同化のアルゴリズムとしてMPFを持ちいたことにより、パラメータの頻度分布の変化を考慮出来ている。

6. まとめ

本研究において得られた主な知見は、自然現象を完全にフォロー出来ていないシミュレーションモデルを

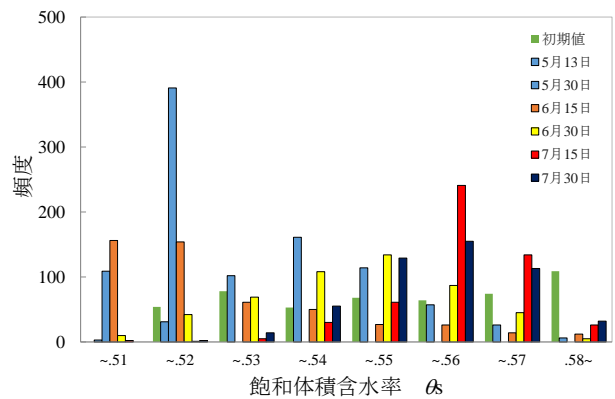


図-3 同定された飽和体積含水率 (θ_s) の頻度分布

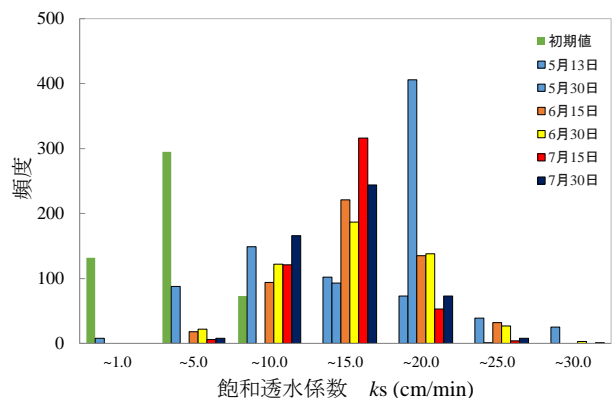


図-4 同定された α の頻度分布

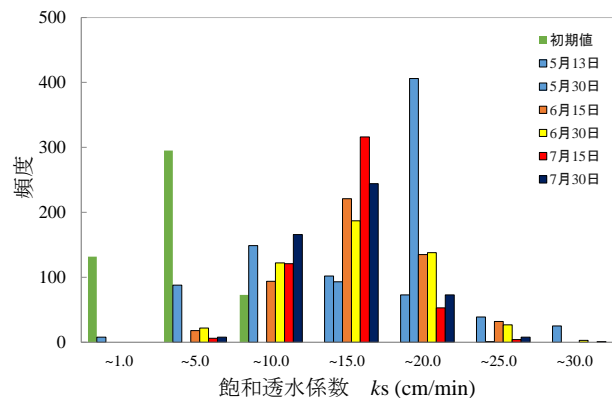


図-5 同定された飽和透水係数 k_s の頻度分布

用いる場合、パラメータを変化させることによりシミュレーションは計測値をフォローしようとする。そのような点を考慮してデータ同化アルゴリズムを選ぶ必要がある。

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, Vol.76, No.1, pp.52-66, 2020.
- 2) 小泉圭吾ほか：京都府綾部市安国寺測線①をモデル斜面とした動態観測手法の現状報告，Kansai Geo-Symposium 2020 発表論文集, pp. 239-244, 2020.