

解釈の難しい計測事例に対するデジタルツインにおける融合粒子フィルタの有効性

大阪産業大学 正会員 小田和広

大阪産業大学 学生会員 ○太田洸稀・前田栞汰

地球観測株式会社 正会員 小泉圭吾

立命館大学 正会員 伊藤真一

1. はじめに

時として解釈が非常に困難な現地計測結果にぶち当たることがある。計測システムの不調であると判断するのは容易であるが、それは頭の働きを止めていることに他ならない。昨今、現場計測結果と数値解析を緊密に融合させて工学的問題の解決にあたるデジタルツインが提唱されているが、その根本には、現場計測結果に対する信頼性がある。つまり、解釈が難しい計測事例にどの様に対処できるかが、デジタルツインの堅牢な実行に繋がる。筆者らは、データ同化手法によって現場計測結果と数値解析を緊密に融合させるデジタルツインの開発を行ってきた。本研究では、解釈が難しい現場計測結果に対し、データ同化手法として融合粒子フィルタの適用性を検証し、さらにその結果を通じ、土壌水分特性の変化について考察する。

2. 現地計測の概要

図-1 は現地計測器機の設置状況を概略的に示している¹⁾。斜面の中腹と下部に測点を設定し、体積含水率、地下水位、地表面傾斜を計測した。体積含水率は土壌水分計によって測定し、それぞれの測点において土壌水分計を地表面から 20cm、80cm および 100cm の深度に設置した。なお、安国寺周辺の局地的な降雨量を把握するために雨量計も設置した。

3. 数値解析手法の概要

雨水浸透解²⁾には、赤井らの方法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 (式①)、また、不飽和透水係数モデル

として Mualem モデル (式②) を用いた。

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

$$k = k_s \cdot S_e^{\frac{1}{2}} \cdot \left\{ 1 - \left(1 - S_e^{\frac{n}{n-1}} \right)^{1-\frac{1}{n}} \right\}^2 \quad (2)$$

ここに、 S_e は有効飽和度、 θ_s は飽和体積含水率、 θ_r は残留体積含水率、 α と n は水分特性曲線の形状を与えるパラメータ、 k_s は飽和透水係数である。

以上、これらのデータ同化手法として、融合粒子フィルタ (MPF) を用いた。用いた粒子数は 500 である。

4. 計測結果とデータ同化結果

本研究では、下部の測点における 2019/10/1~10/26 の計測値についてデータ同化を適用した。図-2 は解析期間中の日降雨量を示している。今回着目したのはいくつかの顕著な降雨ではなく、ほとんど降雨がない 10/13 付近である。

図-3 は計測結果をデータ同化結果と併せて示している。上、中、下の順番に時間差をおいて体積含水率が急

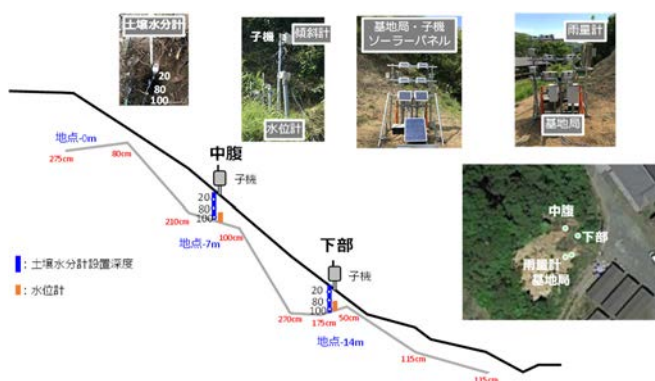


図-1 体積含水率の現地計測器機の設置状況

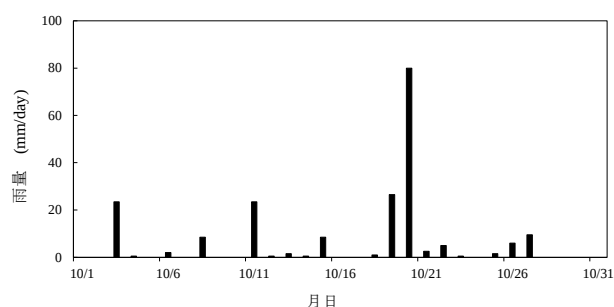


図-2 解析期間中の日降雨量

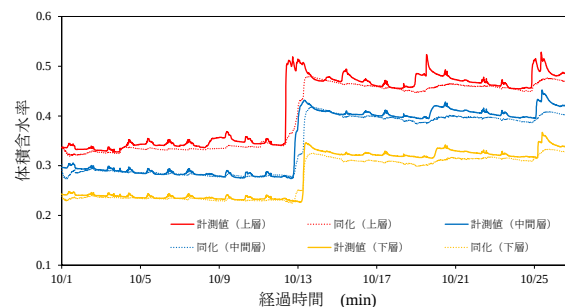


図-3 計測結果とそれらに対するデータ同化結果

キーワード デジタルツイン, 水分特性曲線, 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

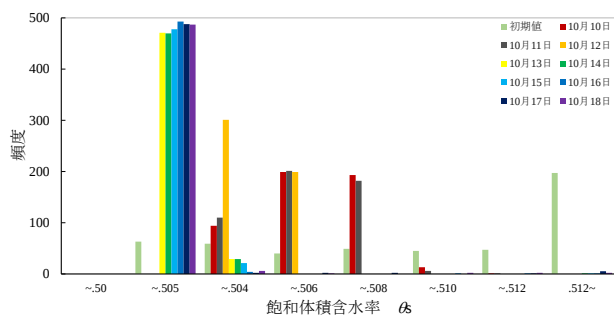


図-4 飽和体積含水率の頻度分布

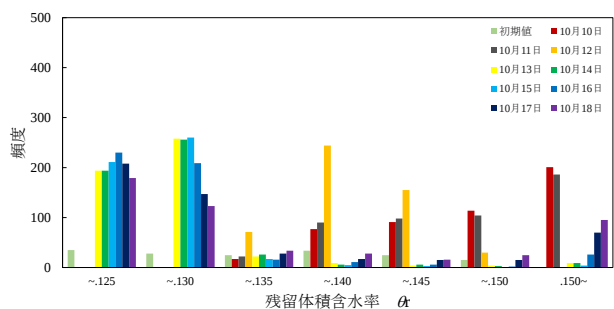


図-5 残留体積含水率の頻度分布

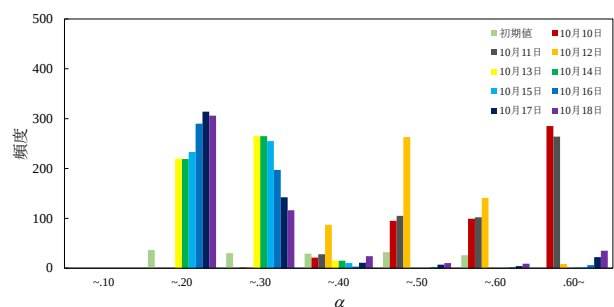


図-6 αの頻度分布

増している。これは、地表から雨水が浸透する際の典型的な挙動を示している。ほとんど降水がないにもかかわらずこのような挙動を数値解析で再現するためには、パラメータを調整するしかない。計測結果とデータ同化結果がほぼ一致することは融合粒子フィルタによって適切にパラメータが調整されたことを示している。

5. 土壌水分特性の変化

以下では、80cmの深度における同定された土壌水分特性パラメータの変化について示していく。

図-4 は飽和体積含水率 (θ_s) の頻度分布を示している。10/10~10/18の間 θ_s は0.50~0.51であり、ほとんど変化していない。物理的にみれば、 θ_s は含水率であるので短時間に变化するわけがない。図-5 は残留体積含水率 (θ_r) の頻度分布を示している。 θ_r は10/13に減少している。図-6 は α_s の頻度分布を示している。空に浸入値の逆数と相関があるといわれている α も10/13に減少している。図-7 は n の頻度分布を示している。 n も10/13に減少している。図-8 は飽和透水係数 (k_s) の頻度分布を示している。 k_s の分布はほとんど変化していない。

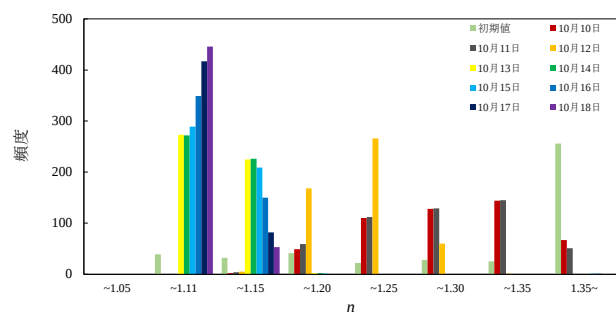


図-7 n の頻度分布

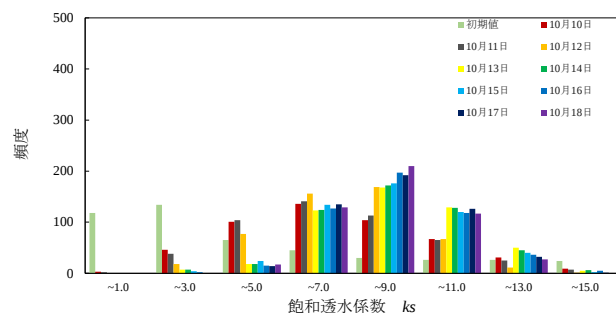


図-8 飽和透水係数の頻度分布

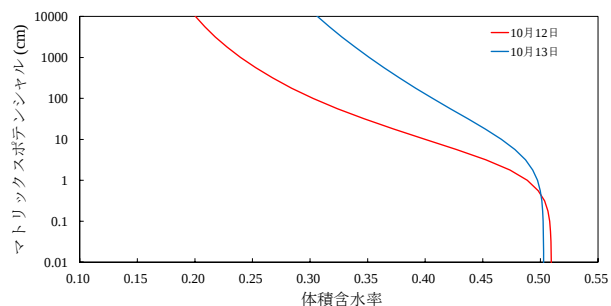


図-9 水分特性曲線

図-9 は 10/12 と 10/13 における同定された水分特性曲線を示している。10/12 に比べ 10/13 では同一のマトリックスポテンシャルにおいて高い体積含水率になっている。

6. まとめ

本研究における主な知見を如何に取り纏める。

- 1) 特異的な挙動であっても誘導粒子フィルタによるデータ同化は安定して実行できる。
- 2) データ同化結果から水分特性曲線は変化するが、飽和透水係数はほとんど変化しない。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 21K04595 の助成を受けた。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.