

## 土壌水分計設置直後の降雨時における体積含水率に対するデータ同化

大阪産業大学 学生会員 ○臼杵武蔵  
 大阪産業大学 正会員 小田和広  
 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

土壌水分計を土中に設置する際、掘削等の効果によって地盤は何らかの影響を受ける。そのため、土壌水分計が“地盤に馴染む”までしばらく放置することになる。ただし、“地盤に馴染む”ことについての客観的な判断方法は無い。また、リアルタイムにその判断を行うことが現地計測の有効利用のためには必要である。

本研究では、判断方法の開発のための手始めとして、計測値から推定される土壌水分特性の変動について考察する。すなわち、土壌水分計設置直後のいわゆる“地盤に馴染んでない”状態における体積含水率の経時変化に対しデータ同化を適用し、土壌水分特性の挙動について明らかにする。

### 2. 解析手法

雨水浸透解析には、赤井らの方法<sup>1)</sup>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<sup>1)</sup>、また、不飽和透水係数モデルとして Mualem モデル<sup>1)</sup>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、 $\theta_s$ ：飽和体積含水率、 $\theta_r$ ：残留体積含水率、 $k_s$ ：飽和透水係数、 $\alpha$ 、 $n$ ：パラメータ、 $k$ ：透水係数、 $\psi$ ：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)<sup>1)</sup>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<sup>1)</sup>。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5%と20%の

2 ケースの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<sup>2)</sup>。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。解析期間は土壌水分計再設置直後の 2019/05/09~05/27 とした。この間、5/20 に 8mm, 5/21 に 23.5mm の降雨があった。

### 4. 体積含水率のデータ同化結果

図-2 は観測ノイズの標準偏差が 5%におけるデータ同化結果を示している。上層のデータ同化結果は 5/18 付近で減少勾配が一度増加している。その後、5/21 の降雨時には体積含水率は急増している。降雨終了後ではデータ同化の方が体積含水率の低下が急である。中間

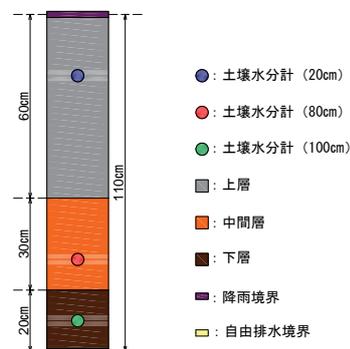


図-1 解析モデル

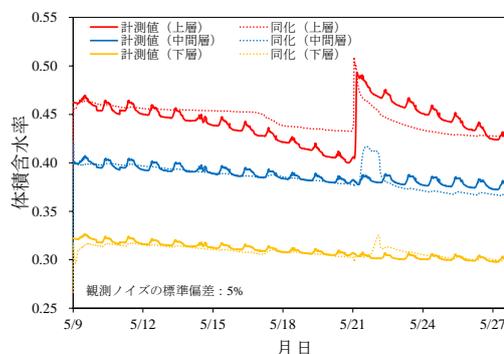


図-2 体積含水率の経時変化に対するデータ同化結果（観測ノイズの標準偏差：5%）

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

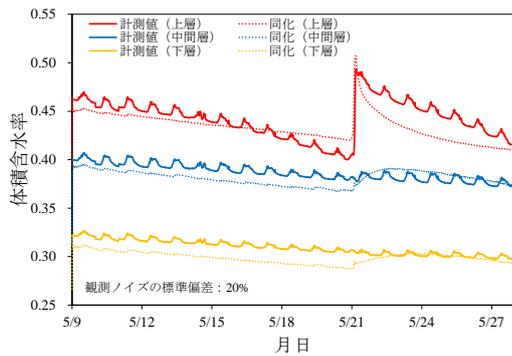


図-3 体積含水率の経時変化に対するデータ同化結果 (観測ノイズの標準偏差: 20%)

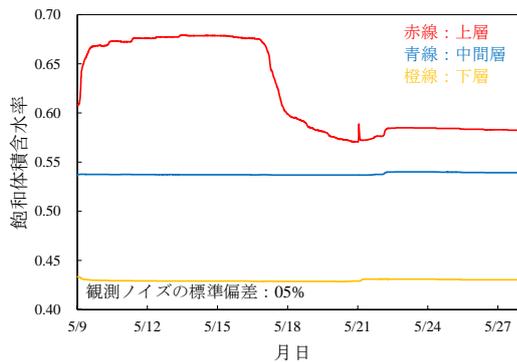


図-4 同定された飽和体積含水率 ( $\theta_s$ ) の経時変化 (観測ノイズの標準偏差: 5%)

層と下層では5/21~5/22において雨水の浸透によると考えられる体積含水率の増加を除けば、データ同化結果は計測値とほぼ一致している。

図-3は観測ノイズの標準偏差が20%におけるデータ同化結果を示している。上層のデータ同化結果は5/21の降雨時には急増し、降雨終了後ではデータ同化の方が体積含水率の低下が急である。中間層と下層のデータ同化結果では、5/21~5/22において雨水の浸透の影響と考えられる多少の増加が認められる。

以上のように、観測ノイズの標準偏差の大きさに関わらず概ねデータ同化は可能である。

### 5. 土壌水分特性の同定結果

図-4は観測ノイズの標準偏差が5%における同定された飽和体積含水率 ( $\theta_s$ ) の経時変化を示している。上層では、5/18頃の無降雨にも関わらず $\theta_s$ は急減している。5/20からの降雨時と降雨終了後ではほとんど変化していない。なお、 $\theta_s$ の減少はパラメータとしての変化であり、実際に土の空隙が減少している訳ではない。中間層と下層の $\theta_s$ にはほとんど変動が認められない。

図-5は観測ノイズの標準偏差が20%における $\theta_s$ の経時変化を示している。いずれの層も変化はない。

図-6は観測ノイズの標準偏差が5%における同定さ

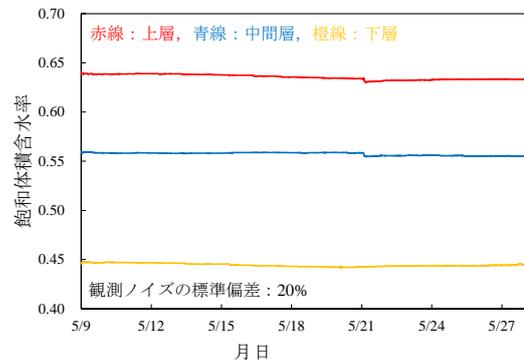


図-5 同定された飽和体積含水率 ( $\theta_s$ ) の経時変化 (観測ノイズの標準偏差: 20%)

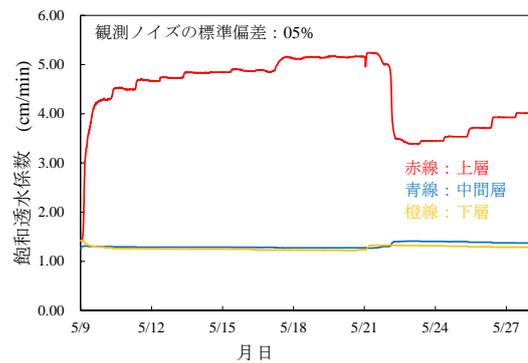


図-6 同定された飽和透水係数 ( $k_s$ ) の経時変化 (観測ノイズの標準偏差: 5%)

れた飽和透水係数 ( $k_s$ ) の経時変化を示している。上層では、5/21の降雨時には急減し、降雨終了後は徐々に増加している。中間層と下層のデータ同化結果では、ほとんど変化がない。

以上のように、観測ノイズの標準偏差が大きなデータ同化では、土壌水分特性の変化は認められないが、それを小さくすると変化が顕著に表れる。

### 6. まとめ

本研究では、土壌水分計設置直後の計測値に対するデータ同化を行った。結果、①観測ノイズの標準偏差の大小に関わらずデータ同化は可能である。②観測ノイズの標準偏差を大きくすれば、降雨時における土壌水分特性の変動は認められない。③観測ノイズの標準変化を小さくすれば、降雨時において土壌水分特性の変化が顕著になる。

### 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.