

雨水浸透モデルのデータ同化精度に対する同化間隔を短縮することの効果

大阪産業大学 学生会員 ○河原慎治

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

西日本高速道路(株) 正会員 堤 浩志

1. はじめに

現在、産業分野では IoT によるモニタリングデータとシミュレーションをリアルタイムに関連付け、問題を逐次解決していくサイバー・フィジカルシステムが世界的に注目を浴びている。この考えを斜面防災に適用すれば、斜面の動態モニタリング結果によってそれを再現できるシミュレーションモデルを同定し、同定されたモデルによって数時間先の斜面崩壊に対する危険度を評価することが相当する。筆者らはそのような考えに基づき、データ同化手法の一つである粒子フィルタによる雨水浸透モデルの同定とそれによる斜面崩壊の危険度の予測に関する研究を行っている(例えば¹⁾。

一般的には、モニタリング間隔を短縮し、頻繁にデータ同化を行えば、予測精度の高いモデルを同定できると考えられる。その一方、モニタリングのために消費される電力や計測データの送信コストが増大する。したがって、目的を満たす適切なモニタリング間隔を客観的に決定することは重要である。本研究では、データ同化結果に及ぼすデータ同化間隔の影響について考察する²⁾。

2. 解析手法

雨水浸透解析には、赤井らの方法³⁾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⁴⁾、また、不飽和透水係数モデルとして Mualem モデル⁵⁾を用いた。それぞれを式(1)および(2)に示す。

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

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

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)⁶⁾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(いわゆる誤差)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⁷⁾。なお、本研究では、相対誤差を用いて適合度を評価する。

3. 解析対象

解析対象斜面は、九州地方の高速道路沿いの切土斜面である³⁾。深度30cm、70cmおよび100cmに土壌水分計を設置しており、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²⁾。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。

図-2は解析対象期間における降雨を示している。2018/6/21から7/12の23日間を解析期間とする。6/29に137mm/day、6/30に75mm/day、7/3に82mm/day、7/5に113mm/day、そして7/6に解析対象期間における最大の338mm/day、12mm/10minの非常に強い降雨があった。

4. 解析ケース

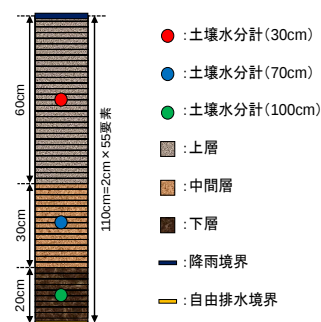


図-1 解析モデル

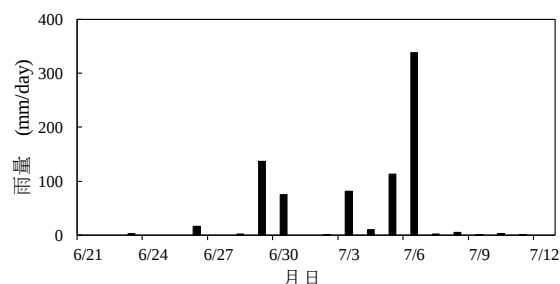


図-2 解析期間中の降雨

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

表-1 解析ケース

データ同化間隔	解析ケース
1min	2018_Normal_05%_001
2min	2018_Normal_05%_002
5min	2018_Normal_05%_005
10min	2018_Normal_05%_010

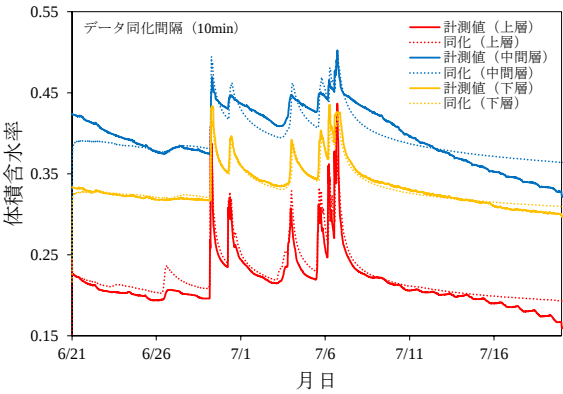


図-3 体積含水率の経時変化における計測値と解析値の比較 (2018_Normal_05%_010)

表-1 は解析ケースを示している. 現場では 10 分毎しか計測が行われていないため, 線形補間行い仮想の計測値を決定した. そして, それらを使ってデータ同化を行った

4. データ同化の精度に及ぼす同化間隔の影響

図-3 は 2018_Normal_05%_010 における体積含水率の経時変化における計測値とデータ同化結果の比較を示している. 上層と下層については, データ同化結果は計測値とほぼ一致している. 中間層については, 体積含水率のピーク挙動のタイミングはほぼ一致しているが, ピークの際の値はデータ同化の方が計測値よりもやや大きい. また, ピーク後, データ同化結果は体積含水率が急激に減少するのに対し, 計測値はその減少が比較して遅い.

図-4 は 2018_Normal_05%_002 における体積含水率の経時変化における計測値とデータ同化結果の比較を示している. 2018_Normal_05%_010 におけるそれと比較すれば, 中間層のデータ同化結果と実測値の差が大きくなっている. データ同化の間隔を短くしてもデータ同化の精度が向上するわけではないことが示唆される.

図-5 はデータ同化結果と実測値の平均絶対誤差とデータ同化間隔の関係を示している. 但し, 平均絶対誤差は, 降雨期間である経過時間が 10000min~25000min の間の値である. 平均絶対誤差とデータ同化間隔の間に明確な傾向は認められない. したがって, データ同化間隔を 10 分以下にしても精度が向上する訳ではないことが分かる. これは, 同化間隔を短くした場合, 雨水浸透によ

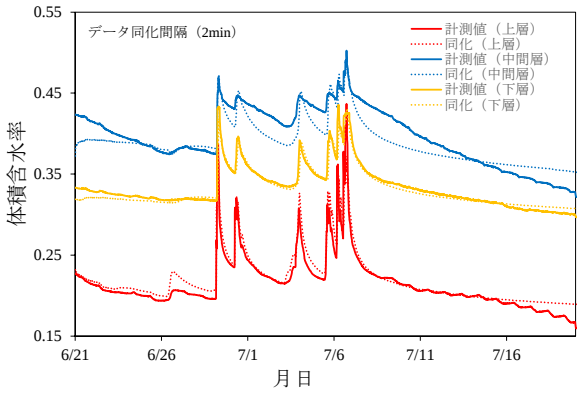


図-4 体積含水率の経時変化における計測値と解析値の比較 (2018_Normal_05%_002)

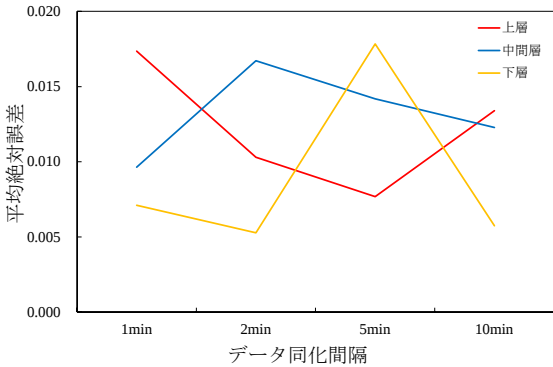


図-5 データ同化結果と実測値の平均絶対誤差とデータ同化間隔の関係

る体積含水率の変化が小さくなり, 測定値と解析結果との誤差評価が困難になることが挙げられる. また, 誤差を考慮すると物理的な変動量に及ぼす誤差の影響の顕著になることも考えられる.

6. まとめ

本研究では雨水浸透モデルの同定の際, データ同化間隔を短くした場合にデータ同化精度に与える影響について考察した. その結果, 計測間隔が 10 分の場合, データ同化間隔を 10 分以下にしてもデータ同化精度が向上するわけではないことが分かった.

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) 河原慎治ほか: 雨水浸透モデルの同定におけるデータ同化間隔を延長することの影響, 第 56 回地盤工学研究発表会発表論文集, (投稿中), 2021.
- 3) 伊藤真一ほか: 現地計測に基づく土壌水分特性パラメータの逆解析における粒子フィルタの有用性, Kansai Geo-Symposium 2016 発表論文集, pp. 253-258, 2016.