

デジタルツインによる豪雨時における斜面の水の状態に対するリアルタイム評価の有用性

大阪産業大学 ○小田 和広
地球観測 (株) 小泉 圭吾
立命館大学 伊藤 真一

1. はじめに

デジタルツインとは、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、社会的課題の解決を図るものとされている。この考え方を斜面防災に適用してみれば、各種センサによって計測される土の水の状態（フィジカル空間）と飽和不飽和浸透流解析（サイバー空間）を同期させることである（図-1 参照）。現在、土の水の状態に関するリアルタイムモニタリングシステムが開発・運用されており、斜面防災に対するデジタルツインが実用化できる状態にある。本研究では、実用化に先立ち、デジタルツインを適用することのメリットを明らかにする。すなわち、まず、豪雨時における盛土斜面へのデータ同化の適用性を考察する。次に、デジタルツインのメリットの一つである計測しなかった物理量や計測出来ない量の空間的な広がり把握できることを明らかにする。最後に、土中の水の状態の近未来予測の可能性について考察する。

2. 検討対象事例

本研究では、近畿地方に存在する道路沿いの主にまき土で構成された盛土の法面を研究の対象とした。この盛土では平成 30 年 7 月豪雨時に変状が観察された。本盛土には、土壤水分計が地表面から深度 40cm、80cm および 100cm にそれぞれ設置されている。本研究では土壤水分計による体積含水率、雨量計による雨量を使用するので、フィジカル空間はこれらの計

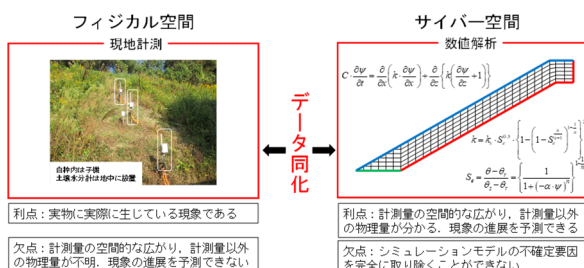


図-1 デジタルツインにおけるフィジカル空間、サイバー空間およびデータ同化の関係

測値によって表される。

3. 解析手法

サイバー空間となるシミュレーションには赤井らの方法に基づく飽和不飽和浸透流解析²⁾を適用する。解析では水分特性曲線モデルとして、van Genuchten モデル、不飽和透水係数モデルとして Mualem モデルを用いる。また、排水境界は、任意の排水量を制御できるようにしている。

現地計測（フィジカル空間）とシミュレーション（サイバー空間）を融合させる手法としてデータ同化を用いる。データ同化は、計測値にシミュレーション結果が整合するようにモデル（解析パラメータや境界条件など）を修正する手法である。つまり、本研究におけるフィジカル空間とサイバー空間の融合とは、計測が行われると同時に、計測値に適合するようにデータ同化手法によってシミュレーションモデルを修正することを指す。なお、本研究では、データ同化手法の中でも極めて取り扱いが容易な融合粒子フィルタ（MPF）を用いる²⁾。

4. データ同化結果の妥当性

図-2は計測深度がそれぞれ40cm、80cmおよび100cmの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。図中、実線が計測値、破線がデータ同化解析の結果である。いずれの深度においても体積含水率が一旦上昇し、その後、一時的に

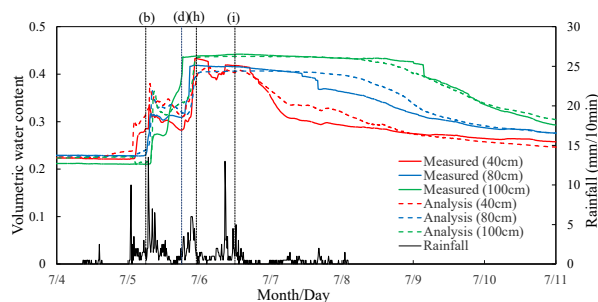


図-2 体積含水率の経時変化に計測値とデータ同化結果の比較

増加が止まる．さらに，体積含水率はピークに達した後，ほぼ平衡状態になった後，時間の経過とともに徐々に減少する．そのような現場計測の挙動をデータ同化結果は適切に再現できている．

5. 有効飽和度および間隙水圧の分布

図-3 は推定された有効飽和度の分布の経時変化を示している．(d)の7/5の6:00では，深度140cmでは1.0に達している．(c)の7/5の23:00では，有効飽和度が1.0である範囲は約30cmの深度にまで拡大している．図-4 は推定された間隙水圧の分布の経時変化を示している．間隙水圧が正であれば地下水位下にあり，また，それが負であれば，不飽和状態であることを示している．(d)の7/5の6:00に深度140cm付近で地下水が生じ，7/5の23:00にかけて水位が上昇している．

6. 短時間予測

図-5 は予測解析結果を示している．解析では，7/5の18:00まではデータ同化を行い，その後，予測解析を行った．深度40cmにおける7/6の0:00~10:00と深度100cmの7/7の12:00以降を除けば，適切に予測出来ている．

図-6 はデータ同化によって同定された地下水位と予

測解析によって推定された地下水位の比較を示している．予測は，下水位の急増をフォローできているが，ピーク値を再現できていない．また，全体的に地下水位を過小評価している．改善が必要であろう．

5. まとめ

本研究では，平成30年7月豪雨時に変状が観察された道路盛土における体積含水率の現地計測にデジタルツインを適用し，そのメリットを考察した．その結果，①計測しなかった，また，計測できない物理量の空間的な分布を推定できる．②それらを可視化することによって，土中の水の状態をリアルタイムかつ容易に把握できる可能性がある．③短時間先の土の水の状態を推定できる可能性がある

謝辞

本研究はJSPS 科研費 21K04595の助成を受けたものです．

参考文献

- 1) 小濱健吾：高速道路の自営回線と無線センサを活用したモニタリングシステムの開発 — NEXCO 西日本と大阪大学の産学連携 —，産学官連携ジャーナル，18巻，1号，7-9，2022．
- 2) 伊藤真一他：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，Vol.76, No.1, 52-66, 2020．

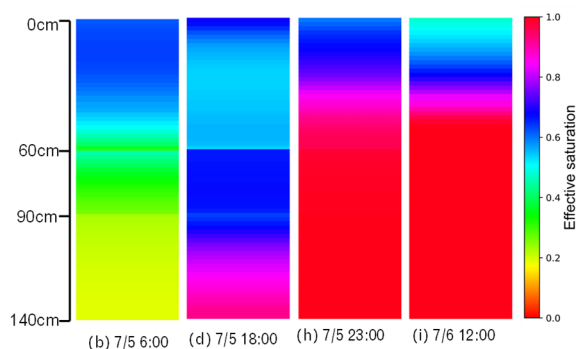


図-3 有効飽和度の分布の経時変化

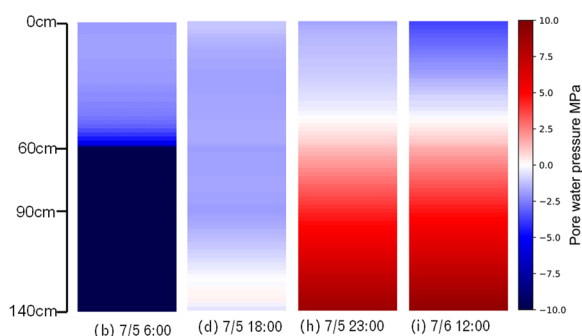


図-4 間隙水圧の分布の経時変化

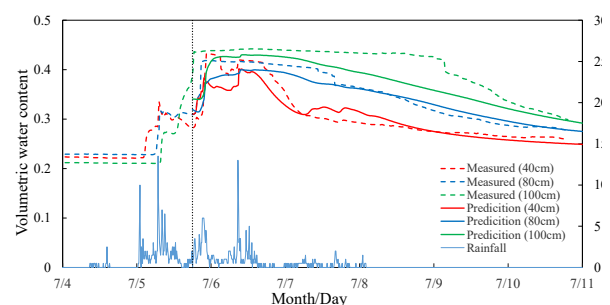


図-5 短時間予測解析事例 (CASE-C)

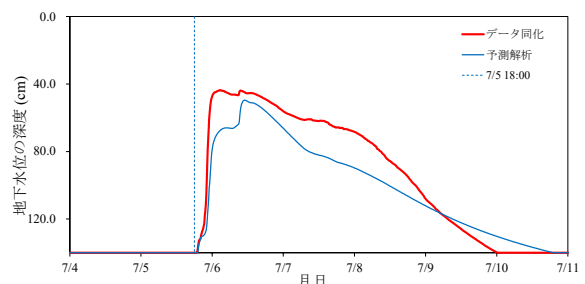


図-6 推定された地下水位の経時変化