

ため池維持管理への活用を想定した堤体デジタルツインの構築 Development of a digital twin for irrigation ponds aimed at the maintenance and management

○本間雄亮*・牧野信夫*・黒田清一郎*

Yusuke HOMMA, Nobuo MAKINO, Seiichiro KURODA

1. はじめに

近年、豪雨災害の激甚化・頻発化により、ため池は農村地域における洪水調節機能を担う農業水利施設として、防災・減災への貢献が期待されている。一方で、農家戸数の減少や土地利用の変化から、ため池の管理や監視体制の維持が課題となっている。また、豪雨や地震による堤体の損傷や決壊も課題となっている。これらの課題に対し、デジタル技術の活用は有効であり、なかでもデジタルツインの活用が期待されている。デジタルツインはインターネットに接続されたセンサなどを通じて現実空間の情報を収集し、サイバー空間に現実空間の環境を再現する。ため池の遠隔監視、堤体の健全性の評価、浸透現象の予測機能を有するデジタルツインの構築を農工研敷地内の試験ため池を対象に試みた。

2. デジタルツインの構築とデータの取得

デジタルツインの構築は、ため池堤体の外部と内部を対象に行った。外部として、貯水池と堤体を対象とした3次元モデルを構築した。デジタルツイン構築の基盤となる3次元形状データは、ドローンによる空撮画像データから作成された。一般的な3次元モデルの作成手法であるSfM/MVS (Structure from Motion/Multi-View Stereo)に加えて、生成AIの一種であるNeRF (Neural Radiance Fields)¹⁾も利用した。NeRFは限られた数の画像を利用し任意の視点から対象物を観察した際に得られる画像を生成可能な深層学習モデルであり、結果として対象の3次元的なモデルが得られる。この深層学習モデルは水面を含む画像も処理することができる。一方、内部については、堤体内に設置した水位観測孔のデータを利用して堤体内部の浸透現象の可視化を行った。試験ため池にはwebカメラと赤外線カメラを設置し、画像データを取得した。堤体に設置した観測孔の水位と貯水位データはロガーで収集し、無線通信を利用

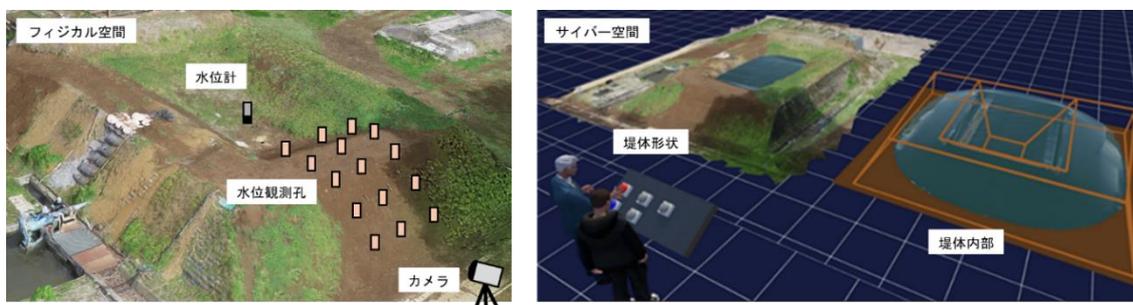


図1. 構築したため池のデジタルツイン
Digital twin of an irrigation pond

*農研機構 農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO

キーワード：ため池，デジタルツイン，データ分析

して、PCにデータが保存される仕組みとした。

観測データをデジタルツインに反映するために、取得した観測データは位置と時刻に紐づけて保存されるように処理し、3次元の空間座標と時間情報を加えた4次元データとして整理した。このように整理することで、数値シミュレーションやAI等を利用した分析に活用でき、将来予測や異常検知にも利用することができる。

3. 観測データを利用したため池デジタルツインの活用

構築したため池のデジタルツインを用いて、堤体内部の浸透現象の把握を試みた。デジタルツインに期待される重要な機能として、観測データに基づく対象物の性能評価と数値シミュレーションを活用した将来予測である。リアルタイムで現実世界を仮想空間に反映するためには、高頻度での数値シミュレーションあるいは統計解析やAIを活用した高速な推定技術が必要となる。

本研究では、観測孔の水位データに対して統計解析を行い、堤体内部の浸潤面を推定し、デジタルツインに反映させる仕組みを構築した。具体的には、空間座標と時刻に対応する観測孔の水位データを空間的に補間し、メッシュ状の水位分布を推定することで、時系列に沿った浸潤面の変化を再現し、内部の浸透過程を可視化した。図2は、推定した浸潤面と赤外線画像を同時に表示した結果を示す。

浸潤面は堤体に設置した15本の水位観測孔データから推定した。水が滲み出ている箇所（滲出箇所）は周囲よりも温度が低くなっている。一方で滲出箇所は、水位観測孔の有孔部と浸潤面よりも高い位置にあり、土の不均一性による水平方向の水の流れが影響していると推察される。多様な計測データ（浸潤面と赤外線画像）を個別に確認するだけでなく、統合的に整理・表示することで、観測結果の総合的な解釈につながる。また、水位データから堤体内部の透水係数分布を瞬時に推定し、現状評価や異常検知を実現するために、深層学習を活用した堤体内部の推定技術²⁾の導入も目指している。

4. まとめ

ため池を対象に堤体の形状と内部の浸透現象を対象としたデジタルツインの構築を行った。観測データを統合的に表示することにより、データの解釈を補助することに繋がる。また、数値シミュレーションやAI等による解析を利用した将来予測・異常検知を可能とするため池のデジタルツインを構築することは、ため池堤体の設計、維持管理、流域治水への活用に貢献する技術となり得る。

参考文献 1) B. Mildenhall et al. (2021) Communications of the ACM, 65(1): 99-106

2) 本間雄亮, 黒田清一郎, 牧野信夫 飽和・不飽和浸透流解析への機械学習の適用とその応用, 土壌の物理性, 159:69-75, 2025

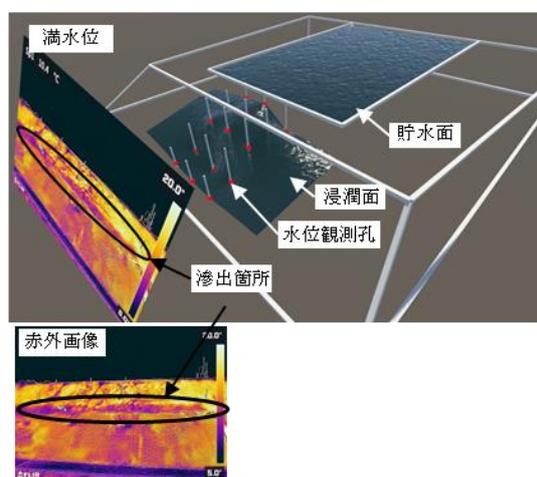


図2. 堤体内部の浸潤面の様子

Pheratic surface inside the embankment