

深層学習を用いたフィルダム堤体内部の透水係数分布の推定 Estimation of hydraulic conductivity distribution in fill dams using deep learning

○本間雄亮*・林田洋一*・黒田清一郎*・田頭秀和*

Yusuke HOMMA, Yoichi HAYASHIDA, Seiichiro KURODA, Hidekazu TAGASHIRA

1. はじめに

近年の豪雨災害の増加により、農業用ダムにおいても洪水調節機能を発揮するために事前放流を行うことが検討されている。水位低下時のフィルダム堤体の安全性を計算する際に行う浸透流解析では、透水係数の分布を用いるが、長期間の使用や地震等により設計時とは異なる可能性があるため、現状の値を使うことで信頼性の高い計算結果が期待できる。本研究では、逆解析に代わる手法として深層学習に着目した。

深層学習は、一度学習を行うと計算コストが小さくなり瞬時に結果を出力できるというメリットがある。深層学習を用いた透水係数分布の推定として、Sun¹⁾ は敵対的生成ネットワーク (Generative Adversarial Network, GAN) を用いて地下水場-透水係数分布相互の変換を行った。本研究では、不飽和領域を含むダム堤体の透水係数分布の推定をGANの派生形であるpix2pix²⁾を用いて行い、間隙水圧分布から対応する透水係数分布を推定した。

2. 実験の概要

GANはジェネレータ (G) とディスクリミネータ (D) の2つのネットワークから構成され、Gはノイズから画像を生成し、DはGが生成した画像を本物のデータセットと比較して本物か偽物かを判定する。GはDを騙せるように画像を生成し、DはGの生成した画像を見破れるように交互に競わせることで、Gは本物に近い画像を生成できるようになる (図 1)。本研究では、GANのノイズの代わりに間隙水圧分布の画像を入力し、間隙水圧分布に対応する透水係数分布を推定する。正解の透水係数分布との差を小さくするように学習を行い、深層学習によりパラメータの推定を行う。pix2pixのプログラムはGitHub³⁾に公開されているものを使用した。

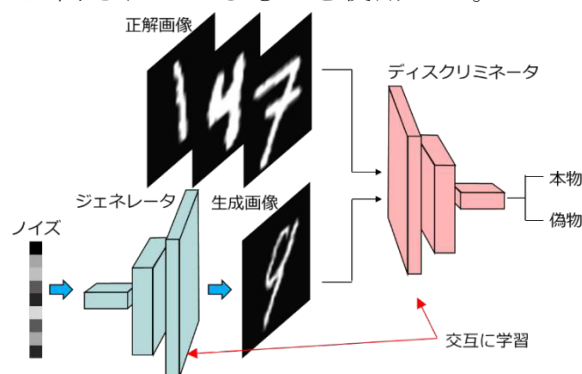


図 1. GANのイメージ図

Illustration of GAN

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

キーワード：フィルダム、深層学習、透水係数

学習に用いたデータセットは、堤体の外形はすべて同一とし、堤体（コアと透水ゾーン）の透水係数、コアの幅とゾーニングを変化させた。透水係数は同一のゾーン内では均一とした。透水係数分布は透水係数を白黒0-255の色調に分割して表現した。間隙水圧分布は、貯水位を堤高の8割としてHYDRUS-2Dで浸透流解析を行い、定常状態に達したときの間隙水圧分布を使用した。間隙水圧分布図は有限要素法の節点間を線形補間して作成した。間隙水圧分布と透水係数分布のペアの学習データを1000パターン生成し、バッチサイズ32、エポック数200で学習を行った。

3. 結果と考察

学習初期は堤体の外形および透水係数分布を精度よく推定できていなかったが、50エポック程度でコアの形状と位置、堤体内部の透水係数分布は正解画像と近いものが生成できた（図2）。ただし、コア境界部の位置は正解とずれていたり、堤体内部の透水係数にばらつきがあるように推定されてしまった。推定精度を高めるために、コアの形状や位置が分かっている場合には学習データを絞ることや隣り合うピクセル値が近くなるように学習させるなど先験的情報を与えるといった工夫が必要である。

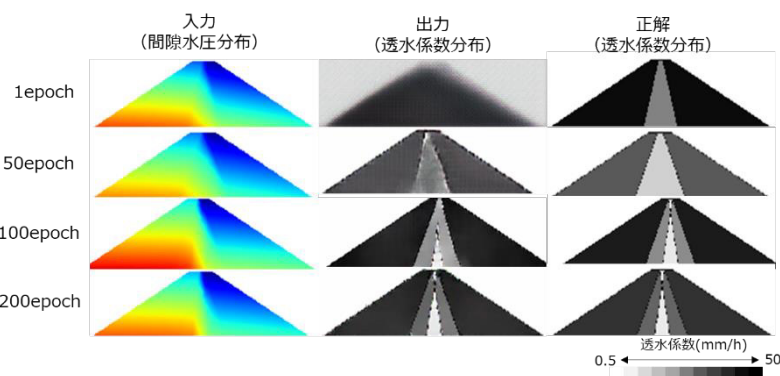


図2. 各エポックの入力、出力、正解画像

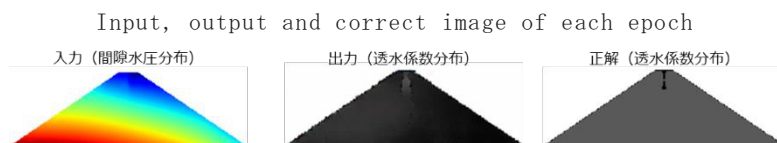


図3. 学習済みモデルによる推定結果

Results of trained model

学習させていないパターンを識別できるかを試すために、学習済みのネットワークに未学習のデータとして、堤体天端中央に亀裂のような高透水性ゾーンが生じた場合の間隙水圧分布を入力した。得られた透水係数分布（図3）は間隙水圧分布の変化から透水係数が周囲と異なる箇所を捉えることができたものの、高透水ゾーンとした箇所の透水係数は周囲の値より低く推定されてしまった。

4. まとめ

間隙水圧分布から透水係数分布の推定をGANで行った。コアの形や透水係数の分布については精度よく推定することができたが、学習させていない条件（亀裂のような透水係数が高い箇所が生じた場合）については、変化している位置を捉えることはできたが、透水係数の値の推定は難しく、学習データの準備が今後の課題である。

今回は透水係数が均一に分布するという理想的な仮定のもとで行ったが、今後は不均一に透水係数が分布する場合等、実現象に近い条件を考慮する必要がある。

参考文献 1) Sun (2018) Geophysical Research Letters 45, no.20: 11-137, 2) P.Isola et al. (2016) arXiv:1611.07004, 3) <https://github.com/junyanz/pytorch-CycleGAN-and-pix2pix>