

深層学習による長良川左岸における堤防天端の縦断亀裂発生と粘土層非対称分布の関係分析

粘性土 内部液状化 深層学習

中部大学 学生会員 ○浅井駿輝

中部大学 正会員 杉井俊夫

1.はじめに

東北地方太平洋沖地震では堤内の液状化が発生した。原因として、堤体基礎が粘性土層の非液状化層で平時の圧密沈下と雨水・河川水の流入により閉封飽和域が形成され堤体自体が液状化すると考えられている。

(図1) 本研究では、こうした堤体内部の液状化の発生箇所の特定を目的としており、本報は、その過程で天端の亀裂と堤体基礎の支持力の関係性を見いだすために、深層学習を取り入れ亀裂情報を有効に使えないか試みるものである。

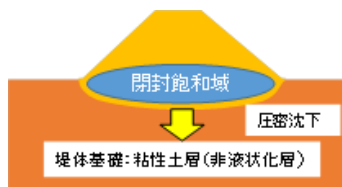


図1 堤体内部の液状化

2. 堤体基礎における粘土層と縦断亀裂の関係

朱ら¹⁾は、これまでに堤体基礎の支持力不足(圧密沈下)と縦断亀裂の関係から、土質柱状図とストリートビューを用いて、縦断亀裂が確認される場所において数 m 以上の粘土層が厚く存在することを得てきた。しかし、堤体基礎に粘土層が厚く存在していても縦断亀裂が生じていない箇所が一部にみられたことから、堤体の横断面においての分布状態についてさらに調べた。粘土層の非対称を図2に示す5つのパターンに分類分けし、粘土層対称断面 23 箇所中 12 箇所(52.1%)、非対象断面 26 箇所中(84.6%)の割合で縦断亀裂が確認できた。これより、堤体基礎に着目すると粘土層が非対称に分布する場合に天端舗装に縦断亀裂が発生しやすいことが推察され、これまでの見解と一致することがわかった。

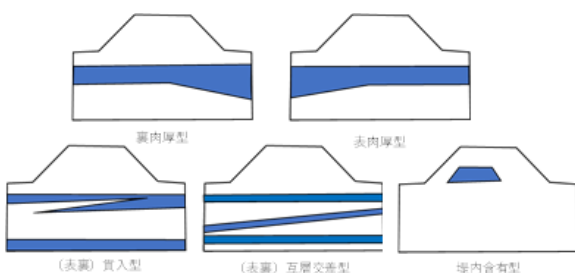


図2 粘土層の非対称分布のパターン

粘土層が対称に分布している場合の堤体幅全体の沈下を現段階では判別できないが、非対称の場合には縦断亀裂はスクリーニングの情報になると考えられる。そこで、次には非対称をパターンに分類せずに、深層学習により天端の縦断亀裂との関係を調べることとした。

3. 深層学習を取り入れた縦断亀裂と堤体基礎の粘土層分布の関係

杉井、浅井ら²⁾は非対称性と区別せずに、粘土層の2次元断面情報を縦断亀裂ありと亀裂なしの教師データで学習させ、堤体横断面図から縦断亀裂の有無を推定するモデルを作ることを試みた。また、その際に判断理由を可視化させることで、縦断亀裂の発生する非対称粘土層を明らかにすることも実施することとした。結果、「亀裂あり」データ 13 断面中 12 断面的中、「亀裂なし」データ 13 断面中 5 断面的中、的中率 65.4%とデータ数が少なく的中率が高いとはいえないが深層学習適用の可能性を得ることができた。本報では教師データを増やし、一つの河川に限定してモデルを適用させ分析を行った。

(1) 深層学習の方法

CNNによる深層学習によって天端の舗装亀裂の有無を検討する。教師データを学習させてモデルを構築しテストデータに適用させてモデルの精度を確認する。構築したモデルを一つ河川(適用データ)に適用させ Grad-CAM アルゴリズム(一種の感度分析)により、注目領域がどこであるかを求め、共通項を人間の目で確認することで亀裂発生要因の検出を行う。

(2) データの作成

全国河川の詳細調査点検結果にある横断面図からトレースして粘土層を黒に塗り二値化し、jpg ファイルとして加工する。また、(図3) 縦断亀裂の有無に分けて、それぞれの断面データを分類して同数を教師データ・テストデータとする。適用データは長良川の断面データを使用した。また教師データ・テストデータは異なる断面データである。

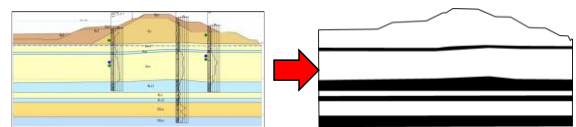


図3 データトレース

表1 解析に使用したデータ

	教師データ		テストデータ		適用データ	
	亀裂あり	亀裂なし	亀裂あり	亀裂なし	亀裂あり	亀裂なし
計	68	68	4	4	8	5

一般に、深層学習における顔認識などの画像解析では少なくとも 500 以上のデータが必要となるが、今回は深層学習適用の可能性を調べるため、今回は深層学習適用の可能性を調べるために、試算を行った。

4.解析結果

(1)モデルの構築

学習モデルを構築し、それをテストデータに適用した際に、累積の学習回数と的中率の変化を記録したグラフを図に示す。結果より75%の的中率を得た学習回数65回モデルを使用することにした。

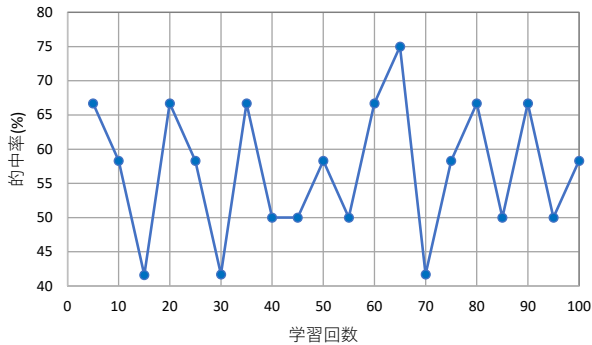


図4 学習回数と的中率 (テストデータ)

(2)長良川左岸への適用

構築したモデルを用いた長良川左岸断面の推定結果を図に示す。「亀裂あり断面」8断面中4断面的中、「亀裂なし断面」5断面中4断面的中で62%の的中率を得た。

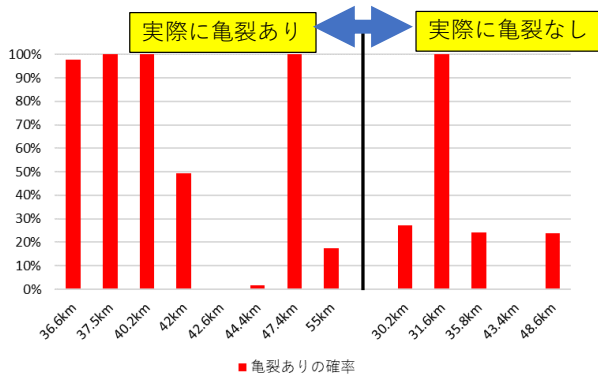


図5 それぞれの亀裂ありの確率

また、的中した断面の注目箇所のまとめを表2に Grad-CAM の結果の一部を図6~図8に示す。「亀裂あり断面」4断面中3断面で粘土層が厚い部分に注目が高くなっており、厚さが3m以上あった(図6)。また傾きの箇所の注目は「亀裂あり断面」と「亀裂なし断面」両方で高くなっていった。(図7,図8)このことから傾きの非対称が縦断亀裂発生への影響度は厚みと比較して小さいと考えられる。「亀裂なし断面」には深部の粘土層、堤内含有、貫入が少ない箇所に注目が高くなっていった。

更に、縦断亀裂発更に的中と河口からの距離の関係をプロットしたグラフを図9に示した。結果、40km~45kmの範囲の「亀裂あり断面」でハズレが集中していることが分かり、このうち2断面が堤体直下に粘土層が存在していなかった。堤体直下に存在する粘土層が圧密沈下によって発生する縦断亀裂により寄与しているのではないかとみられる。

表2 的中断面の注目箇所まとめ

注目箇所の共通性	堤防断面距離
	●亀裂あり ○亀裂なし
堤体直下での粘土層の傾斜がある	●36.6km○43.4km
堤体基礎の粘土層の厚みが厚い(3m以上)	●37.5km●36.6km ●40.2km●47.4km
堤体内に粘土層を含む	○30.2km
堤体基礎の粘土層が深いところにある	○30.2km○35.8km
堤体基礎への粘土層の貫入が少ない	○48.6km

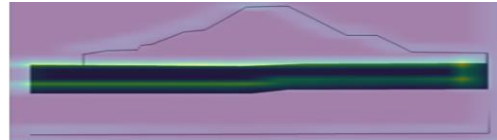


図6 40.2km

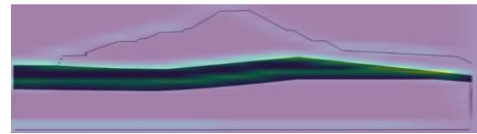


図7 47.2km

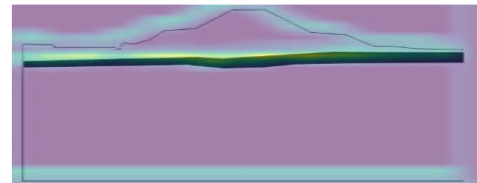


図8 43.4km

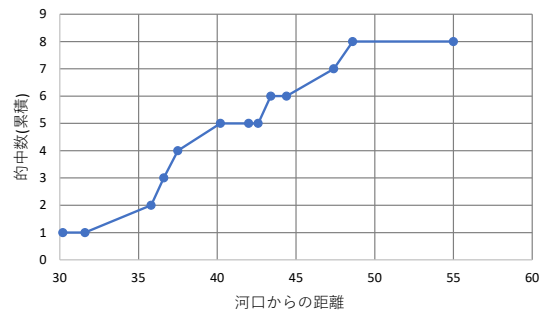


図9 河口からの距離と的中数

5. おわりに

長良川左岸において深層学習を利用して縦断亀裂と粘土層分布について検討した結果のことが得られた。

1)縦断亀裂の発生には、粘性土の厚みと傾斜が寄与すること、特に粘土層の厚みが3m以上存在することが寄与することが GradCAM の分析結果によって得ることができた。

2)堤体直下の粘土層が縦断亀裂に寄与する可能性が得られた。

【参考文献】

- 1)山田雄大：堤体基礎の支持力と天端舗装の亀裂の関係，2019年度中部大学卒業論文，pp.2-31，2020.1
- 2)朱発瑜，平田武史，深見秀隆，平野浩之，杉井俊夫：天端縦断亀裂による堤体基礎めり込み危険箇所の評価，令和元年土木学会中部支部研究発表会，2019.
- 3)杉井俊夫・浅井駿輝：堤防天端の縦断亀裂と堤体基礎の粘土層分布の関係，令和3年度土木学会中部支部研究発表会，III-19，2022.