堤防天端の縦断亀裂と堤体基礎の粘土層分布の関係

中部大学　正会員　杉井　俊夫
中部大学　学生会員〇浅井　駿輝

1.　はじめに

東北地方太平洋沖地震では、非液状化層である堤体基礎上の堤体自体が液状化するといった内部液状化が多発した。原因として図 1 のように堤体基礎の支持力不足による平常時の圧密沈下により、堤体下部に閉封飽和域とよばれる河川水や雨水が溜まり、堤体自体が液状化することにある。本研究は、そうした堤体内部液状化の危険性のある箇所の特定化を目的としたものである。とくに本報は、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.

2.　堤体基礎における粘土層と縦断亀裂の関係

山田 [1]、朱ら [2]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。このことから、天端舗装に縦断亀裂が確認される箇所では、粘土層の影響により沈下が生じており、地震時に堤体内部の液状化の危険性があることが考えられた。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 か所中(84.6%)の割合で縦断亀裂が確認できた。土これより、堤体基礎に着目すると粘土層が非対称に分布する場

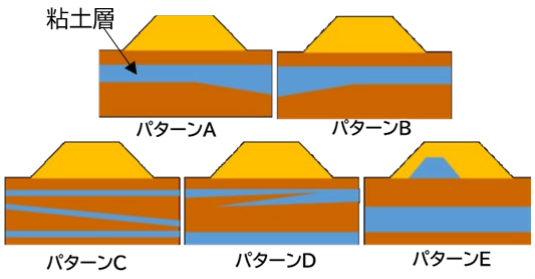

図 2　粘土層分布(非対称)のパターン分け

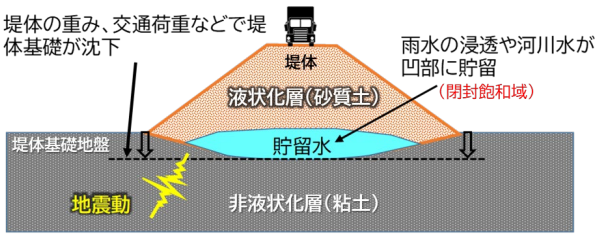

図 1　堤体のめり込み部と閉封飽和域

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 3 に示すように、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、次には図 2 のように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。

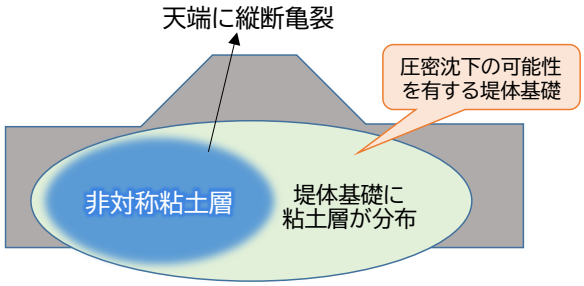

図 3　堤体基礎の非対称粘土層と縦断亀裂

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

本報で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アルゴリズムを作ることを試みた。また、その際に、どういった点に着目して判断したかを見いだすことで、縦断亀裂の発生する非対称粘土層というものを見いだすことも実施することとした。

(1) 深層学習の方法

CNN(畳み込みニューラルネットワーク）による天端の舗装亀裂の有無を検討する。図 4 のように、Google ストリートビューを利用することで堤防の亀

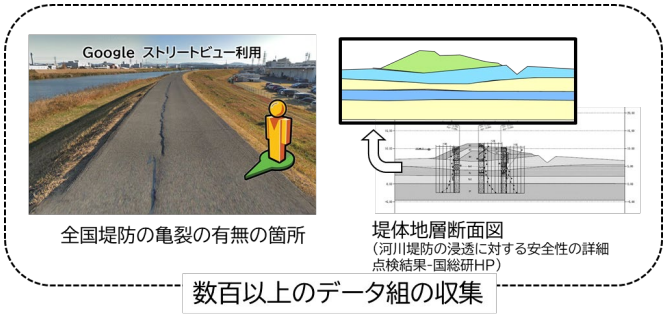

図 4　天端舗装亀裂画像と堤防の 2 次元断面図

裂箇所の有無の箇所を判断､国総研 HP にある河川堤防の浸透に対する安全性の詳細調査点検結果の堤体地層断面を使用して、亀裂の有無と地層断面を数百以上のデータ組を収集、その際、不要な柱状図や N 値の記述を削除しトレースする。その後、畳み込み層、正規化層、最大プーリング層を繰り返し全結合層から亀裂の有無の可能性を抽出する。また、Grad-CAM アルゴリズム（一種の感度分析）により、堤防横断面図において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)教師データの作成

全国河川の詳細調査点検結果にある横断面図を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(図 5)。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とする(表 1)。

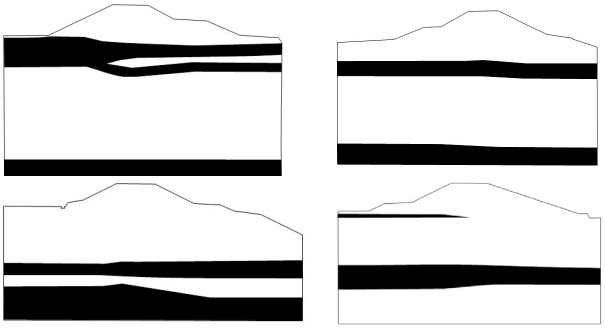

図 5　二値化した堤防の横断面図の例

表 1　学習に用いた教師データ

教師データ			適用データ		
河川名	亀裂有	亀裂なし	河川名	亀裂有	亀裂なし
魚野川	0	3	魚野川	0	1
木曽川	4	1	木曽川	0	2
庄内川	6	8	庄内川	8	6
長良川	7	1	長良川	3	0
矢田川	1	0	矢田川	0	2
計	18	13	計	11	11

一般に、深層解析における顔認識などの画像解析では少なくても 500 以上のデータが必要となるが、今回は可能性を調べるために、試算を行った。

4. 解析結果

構築したアルゴリズムを用いて、表 1 の適用堤防断面データの推定結果を図 6 に示した。「亀裂アリ」データ 11 断面中 9 断面的中、「亀裂ナシデータ」11 断面中 4 断面的中、的中率は 67%であった。データ数が少ない点もあり的中率は高いと言えないが、深

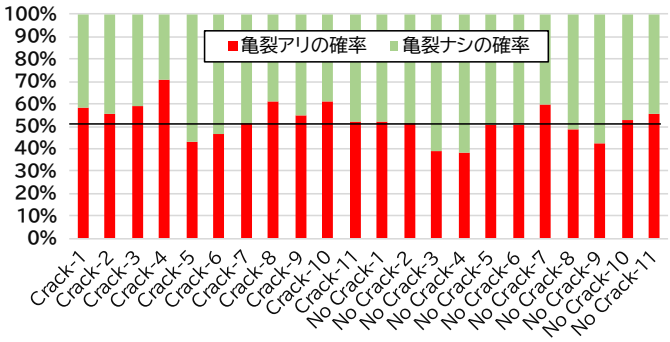

図 6　適用結果

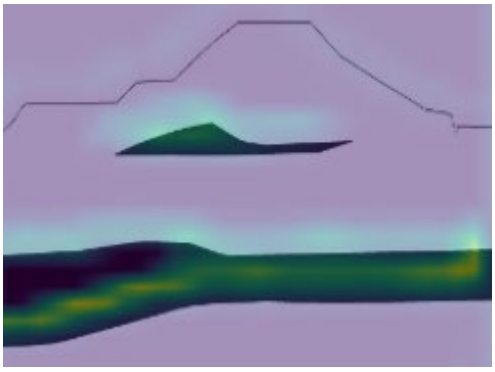

図 7　判別に着目した点（Grad－Cam）

層学習の適用の可能性が得られた。　また、アルゴリズム作成時にどのような着目点で判別しているかを明るい色付けで示した 1 部の結果を図 7 に示す。すべてのデータに共通する着目点を調べることで、判別要因を明らかにすることが期待できる。

謝辞：粘土層のパターン分けについては、本研究室卒業生の高田彬宏君にご協力いただいた。ここに記して謝意を法します。

【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.2-31，2020.12)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.