X線 CT と機械学習を用いた農業水利施設におけるコンクリート損傷の可視化 Visualization of Concrete's Damage in an Agricultural Canal Structure by X-ray CT and Machine Learning

島本 由麻(北里大・獣医) 鈴木 哲也(新潟大・農) Yuma SHIMAMOTO, Kitasato University Tetsuya SUZUKI, Niigata University FAX: 0176-23-8703, E-mail: simamoto@vmas.kitasato-u.ac.jp

Cracks in concrete are visualized by using X-ray CT. Conventionally, the cracks from CT images have been extracted by binarization processing with threshold setting. The conventional method has a problem that the evaluation accuracy varies greatly depending on the set value of the threshold. In this study, concrete's cracks are extracted by X-ray CT image processing with the decision tree method. The specimens were taken from an agricultural canal structure with frost damages. Five explanatory variables were set: Brightness, the pixel value after the DoG (Difference of Gaussian) filter, the maximum pixel value at 2×2 pixel, the minimum pixel value at 2×2 pixel, and the difference between the maximum and minimum pixel values. The decision tree method can achieve the same or better evaluation accuracy than the conventional method. Therefore, the decision tree method seems to be effective for obtaining stable accuracy under various measurement conditions.

1. はじめに

一般的にコンクリートに代表される脆性材では、ひび割 れの発達により耐力が低下する.その原因には凍害やアル カリ骨材反応などがあり、X線CTによるひび割れ検出が 試みられ、可視化および定量化の有用性が確認されている ¹⁾.筆者らも農業水利施設における凍害コンクリートを対 象として、ひび割れ・空隙構造と圧縮応力場における Acoustic Emission (AE)指標との関連をAEエネルギ放出 の観点から明らかにしている^{2),3)}.X線CT画像からひび割 れや空隙を抽出する際には、分布特性やその規模が予め明 らかでない限り、CT 画像のみでの判断には限界があり、 機械学習等の画像処理の有用性が高いものと推察される.

そこで本論では,機械学習を活用した画像処理によって, ひび割れおよび空隙の位置情報を抽出した結果を報告する.

2. 計測·解析方法

2. 1. X線CT画像の取得

X線 CTは、1本のコンクリート・コアに対して直交する 2断面で実施した.撮影条件は、ヘリカルピッチ:15.0、ス ライス厚 0.5 mm,管電圧:120 kV,管電流:210 mA とし た.Fig.1に供試した X線 CT 画像を示す.実験に用いた 供試体は実構造物より採取したコンクリート・コアである. 既往研究 4において検討した「ひび割れ損傷がコア全域に 発達した供試体」(Type A)を用いて画像解析を試みた.

2. 2. 解析方法

Fig. 2 に画像処理の流れを示す. 訓練用画像 (Fig. 1 (a)) をひび割れの有無によって、 2 つのクラスに分類した. 既 往研究 ³⁾を参照して、訓練用画像から 5 つの説明変数を抽 出した. 説明変数には、①輝度値、②DoG (Difference of Gaussian) フィルタ後の画素値、③2×2 ピクセルでの最大 画素値、④2×2 ピクセルでの最小画素値、⑤最大画素値と 最小画素値の差(③-④) である. DoG フィルタとは分散 σ 2 が異なる 2 つのガウシアン画像の差分処理により、画 像のエッジを強調する効果がある.本研究では、 σ =10 お よび σ =1 の差分画像を取得し、説明変数として用いた. 決定木を用いた判定アルゴリズムを構築し、評価用画像に 適用し、ひび割れの抽出精度を検証した.木の分岐の基準



Fig. 1 X-ray CT images.



Fig. 2 Folwchart of image analysis based on machine learning.

には CART 法によるジニ係数を用いた. なお, 学習モデルの作成においては, 5 分割交差検証法で事前枝切りを行い, 過学習の影響を減少させた.

3. 結果および考察

検討の結果,交差検証法により木の深さは7に決定した. 構築した決定木の一例を Fig. 3に示す.ジニ係数の減少量 をすべてのノードについて集計し,平均化することで,説 明変数の重要度を算出した.本論で算出した説明変数の重

要度を Fig. 4 に示す. 輝度値が高い割合を占めた. 輝度 値が始点ノードになっているためだと考えられる.



Fig. 3 An example of a decision tree.

交差検証法による学習モデルを Fig. 5 に示す. 12,000 デ ータ以上から評価値が収束した. このことから, φ10 cm, 高さ 20 cm の円柱コンクリート・コアを対象とした場合, X線 CT 画像データの 50 %程度で一断面を推定できること が示唆された.

決定木法と一般的に行われている閾値設定による二値化 処理との正解率の比較結果を Fig. 6 に示す. 正解率は目視 を正解とした際の一致した割合と定義した. 正解率は閾値 処理が 0.723 に対して決定木法が 0.793 となり,決定木法の 方が高かった. 特に, 粗骨材内部や粗骨材界面のひび割れ を抽出できていた (Fig. 6). 従来法では閾値の設定方法に より評価精度が大きく異なることから,安定した評価精度 を得るためには決定木法も解析方法の一つとして有効だと 推察される. 今後, CT 値および複数本での検証や異なる 場所で採取された供試体での適用範囲について検討を進め ていく必要がある.

4. まとめ

本稿では、ひび割れが顕在化したコンクリート・コアの X線CT画像を用いて決定木法によるひび割れ抽出を試み た.説明変数には輝度値、DoGフィルタ後の画素値、2×2 ピクセルでの最大画素値、2×2 ピクセルでの最小画素値、 最大画素値と最小画素値の差を用いた.検討の結果、決定 木法は一般的に行われている閾値設定による二値化処理と 同等以上の評価精度が得られることが明らかとなった.計 測条件において安定した精度を得るためには決定木法も有 効な方法であると推察される.

参考文献

- 1) 麓 隆行:新しい機構のX線CTの開発とポリマーコンクリートの圧縮試験への適用、土木学会論文集E2 (材料・コンクリート構造),69(2),pp.182-191,2013.
- 島本由麻,石神暁郎,鈴木哲也:X線CT画像を用いた建設材料の凍害損傷に関する詳細観察,農業農村工学会誌,86(6), pp. 497-500,2018.
- 島本由麻,萩原大生,鈴木哲也:決定木を用いた道路 橋 RC 床版における遊離石灰抽出に関する研究,農業 農村工学会論文集,88(1),pp. I_59-I_65,2020.
- 4) Suzuki, T. and Shimamoto, Y.: On-Site Damage Evaluation of Cracked Irrigation Infrastructure by Acoustic Emission and Related Non-Destructive Elastic Wave Method, Paddy and Water Environment, 17(3), pp. 315-321, 2020.



Fig. 4 Importance of explanatory variables.



* Gray: standard error

Fig. 5 Relationship between sample size and accuracy rate.

Method	Image thresholding (conventional method)	Decision tree method
Binary image		
Accuracy	0.723	0.793

Fig. 6 Comparison between conventional method and decision tree method.