

X 線 CT 法によるひび割れ損傷状況の可視化・定量化

Visualization and Quantification of Cracking Damage by X-ray Computed Tomography

○島本由麻*・鈴木哲也**・馬場光久*・杉浦俊弘*

Yuma Shimamoto, Tetsuya Suzuki, Mitsuhsa Baba and Toshihiro Sugiura

1. はじめに

コンクリート構造物の長寿命化について精緻に検討するためには、構造材料のひび割れ損傷を定量的に評価する必要がある。この定量化法の一つとして、X 線 CT 画像が利用されている（例えば、橋本ら¹⁾）。凍害損傷が顕在化した農業水利施設を対象として、石神らはブロック供試体の X 線 CT 画像によってひび割れ損傷の定量化を試みている²⁾。一方、鈴木らはコンクリートの圧縮破壊過程における AE 発生挙動と X 線 CT 画像によるひび割れ損傷との関連を検討している³⁾。

本報では、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、集中度指数を用いてひび割れ分布を定量化した結果を報告する。

2. 実験方法

供試体は寒冷地において長期間供用されたコンクリート製開水路の側壁部より採取した。供試体には凍害による剥離やひび割れが確認された。本報では、ひび割れの損傷状況から供試体を 3 つのタイプに分類した。Type A はひび割れ損傷がコア全域に発達した供試体、Type B はコア上層部にひび割れ損傷が顕在化した供試体、Type C はひび割れ損傷が顕在化していない供試体とした。

医療用 X 線 CT スキャナを用いて、凍害損傷を有するコンクリートの内部構造を可視化した。撮影条件は、管電圧：120 kV、管電流：210 mA とした。図-1 に X 線 CT 画像を示す。

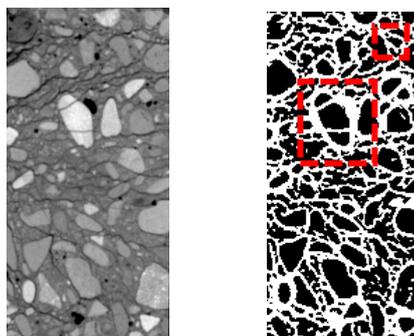


図-1 凍害コンクリートの X 線 CT 画像および機械学習を用いたひび割れ抽出画像

3. 解析方法

3.1 機械学習を用いた画像処理によるひび割れの抽出

学習用入力画像をひび割れの有無によって、2 つのクラスに分類した。出力画像が目標画像に最も近づくようにフィルタの最適解を算出した。フィルタには、ガウシアンフィルタ、ソーベルフィルタ、ヘッセ行列、DoG フィルタの 4 つを用いた。算出された最適解をテスト画像に適用し、ひび割れの抽出を試みた。図-1 に Type A の X 線 CT 画像および機械学習によってひび割れを抽出した画像を示す。

3.2 集中度指数を用いたひび割れ分布の特性評価

供試体内部でのひび割れや空隙の分布の定量評価には、ひび割れ抽出画像（図-1(b)）から算出した集中度指数 I_0 を用いた。集中度指数は式(1)で算出した。

*北里大学獣医学部生物環境科学科 School of Veterinary Medicine, Kitasato University

**新潟大学農学部農学科 Faculty of Agriculture, Niigata University

キーワード：X 線 CT, 空間分布, 凍害コンクリート

$$I_{\delta} = \frac{m \sum_{i=1}^m \{x_i(x_i - 1)\}}{\sum_{i=1}^m x_i \left(\sum_{i=1}^m x_i - 1 \right)} \quad (1)$$

ここで、 x_i : 1つの区画内にある点の数、 m : 区画数である。本研究では、集中度指数 I_{δ} と区画面積の関係を累乗曲線により近似し、ひび割れおよび空隙の空間的分布特性を評価した (図-2)。評価指標には、近似した曲線の係数 c を用いた。

4. 結果および考察

4.1 機械学習によるひび割れの抽出精度

機械学習を用いることで、従来のしきい値による画像処理と比較して、遷移帯および粗骨材内部のひび割れ (図-1 点線部) の抽出精度が向上した。部分容積効果やアーチファクトの影響を軽減できたためだと考えられる。

4.2 集中度指数を用いたひび割れ分布の定量化

集中度指数 I_{δ} と区画面積の関係から、ひび割れ損傷の空間分布特性を評価した。図-3 に Type B を対象とした集中度指数 I_{δ} と区画面積の関係を示す。図中の Type B-1 は、ひび割れ損傷の顕在化したコア上層部であり、Type B-2 はひび割れ損傷の顕在化していないコア下層部である。同図から、Type B-1 の係数 c は 15、Type B-2 は 77 であった。Type B-2 は Type B-1 の係数 c と比較して約 5.1 倍であることが確認された。Type B-1 では、ひび割れ損傷の発達により各区画の空隙面積が同程度となり、集中度指数 I_{δ} が低下したものと考えられる。

5. まとめ

本報では、機械学習を活用した画像処理によって、凍害が顕在化したコンクリートのひび割れおよび空隙の位置情報を正確に抽出し、集中度指数を用いてひび割れ分布を定量化した。機械学習の活用によって、遷移帯および粗骨材内部のひび割れの抽出精度が向上した。集中度指数の係数 c を用いることで、ひび割れの空間分布特性を定量評価できることが示唆された。

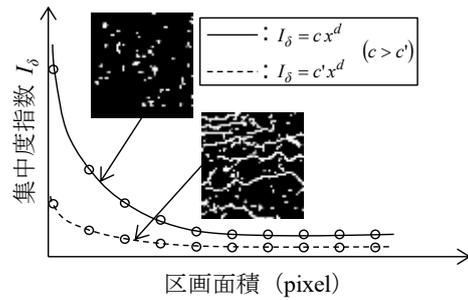


図-2 集中度指数 I_{δ} と区画面積の関係

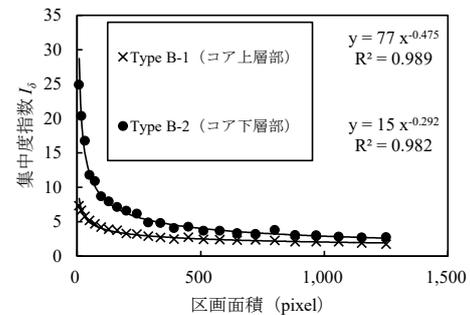
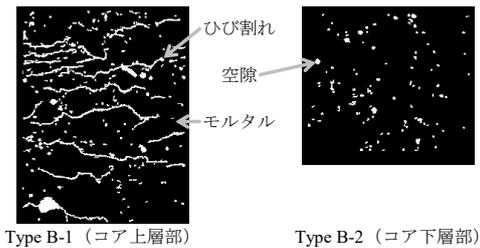


図-3 Type B における集中度指数の特性

引用文献

- 1) 橋本勝文, 横田弘, 杉本隆文, 吉川昂純: 凍結融解作用を受けたモルタルの X 線 CT 撮影による空隙構造評価, 材料, 62 (8), pp.492~497 (2013)
- 2) 石神暁郎, 佐藤智, 中村和正, 緒方英彦, 周藤将司: X 線 CT によるコンクリート内部変状の評価, 第 62 回農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集, pp. 60~63 (2013)
- 3) Suzuki, T., Shiotani, T., and Ohtsu, M.: Evaluation of Cracking Damage in Freeze-Thawed Concrete using Acoustic Emission and X-ray CT Image, Constructions and Building Materials, 136, pp. 619~626 (2017)
- 4) Morisita, M: Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns, Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Series E (Biol), 2, pp. 215~235, 1959.