

三次元画像解析による X 線 CT 法を用いたコンクリート内部の粗骨材の抽出

北海道大学大学院 工学院 学生会員 ○中瀬 皓太 富樫 佑介
 北海道大学大学院 工学研究院 正会員 橋本 勝文 杉山 隆文
 清水建設 技術研究所 建設基盤技術センター 正会員 齊藤 亮介

1. 研究背景・研究目的

鉄筋が引張力を受ける際のひび割れ進展においては、粗骨材とモルタルの遷移帯や、鉄筋近傍の剛性低下に影響を及ぼす粗骨材の空間的配置が重要である^{1),2)}。コンクリートの X 線 CT 画像における構成材料の抽出が既往の研究において検討されているが、メタルアーチファクト（偽像）の原因となる鉄筋を埋設したコンクリートに対する粗骨材抽出の検討事例は少ない。また、従来手法の二次元平面の積層化による画像処理に基づく三次元での可視化結果には、骨材抽出におけるノイズ処理が不十分となる場合があった。本研究では、X 線 CT 撮影で得られる断面の連続画像を三次元配列と捉えた解析アルゴリズムを構築することで、鉄筋コンクリート内部の粗骨材を抽出する新たな手法を提案した。

2. 実験概要

1) 供試体概要

供試体は水セメント比 0.5 の円柱供試体（直径 56.4mm、高さ 250mm）とし、セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。供試体中心には、節がネジ状の D13 異形鉄筋（ネジテツコン）を配置した（図 1 参照）。また、粗骨材を石灰岩砕石として密度を一定にすることにより、得られた画像内の粗骨材の輝度値のばらつきを少なくし、抽出しやすくした。

2) X 線 CT 法

表 1 および図 2 に撮影条件と使用したマイクロフォーカス X 線 CT 装置の概要を示す。X 線源から照射された X 線が物体の透過後、検出器により透過画像を取得する。その後、コンピュータによる再構成処理により供試体の断面画像を積み重ねた撮影データが得られる。

3. 画像解析手法

1) 二値化処理

X 線 CT 撮影によって得られた tiff 画像に対し、画像

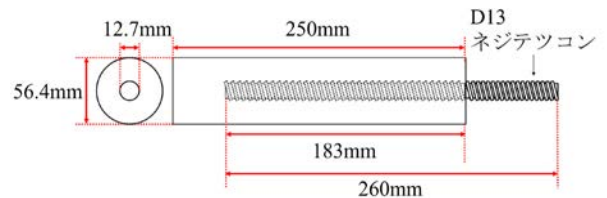


図 1 供試体概要

表 1 撮影条件

管電圧 (kV)	200
管電流 (μ A)	100
解像度 (mm/pix)	0.057
画像サイズ (pix \times pix)	1024 \times 1024
撮影枚数 (枚)	3680

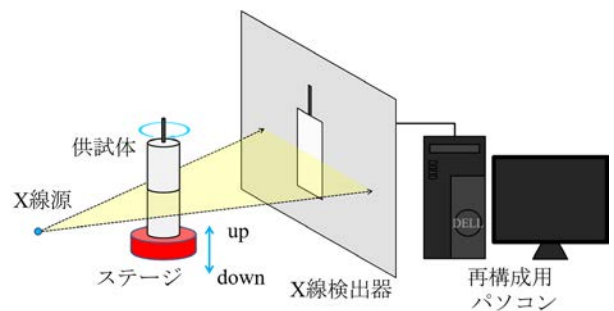


図 2 X 線 CT 装置

解析ソフト Fiji によりフィルタ処理した後に、三次元解析プログラム slice を用いて二値化画像を取得した。なお、計算処理負荷低減のため、二値化画像は 1024pix \times 1024pix を 128pix \times 128pix にデータ低減した。

2) ADI 法の導入

粗骨材の二値化画像を入力画像として、各ピクセルの粗骨材らしさ ADI (Aggregate Distribution Index) を新たに定義して計算するアルゴリズムを作成した。ADI とは、式(1)に示すように、任意のピクセルに注目したとき、そのピクセルを中心にもつ一辺 $2n+1$ の関心（立方体）領域にある粗骨材を表す（輝度値が 255）ピクセル

キーワード X 線 CT 法, 粗骨材, 三次元画像解析, セグメンテーション, 鉄筋コンクリート

連絡先 〒065-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学工学部 A4-53 室 TEL011-706-6180

の個数をカウントし（図3参照）、対象とする関心領域に存在する総ピクセル数で除して百分率で表したものである。

$$ADI = \frac{\text{領域内の粗骨材の個数}}{\text{領域内の総ピクセル数}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

注目ピクセルが粗骨材でない（輝度値が0）ときには、ADIを0.5倍することで重みづけをした。図4に示すように、設定した閾値以上のADIをもつピクセルを粗骨材として抽出した。

4. 画像解析結果

従来手法および提案手法によって抽出された粗骨材の三次元表示画像を図5に示す。これより、従来手法では粗骨材周辺の微粒分が粗骨材表面に粗骨材と分離されずにノイズとして抽出されていることがわかる。一方で、ADIをカウントする領域の大きさ n の値を変化させることによって抽出結果にも違いが生まれている。図6に $n=1$ あるいは $n=5$ とした場合のADIのラインプロファイルを示す。 $n=1$ のとき、カウント領域は注目ピクセルに近い部分のみであり、粗骨材表面で急激にADIが変化している。このとき、粗骨材表面に分離されずに抽出されていた上記の画像ノイズを分離できている。 $n=5$ のとき、粗骨材の中心でピークをとり、滑らかに値が変化している。粗骨材の粒径は5mm以上であるため、解像度の関係から、 $n=5$ のとき粗骨材の中心でADIのピークが得られており、粗骨材表面を滑らかに抽出することができる。また、ADIが100に最も近い値を取るピクセルを粗骨材の中心と考えることができ、粗骨材中心の座標を決定できる。

5. 結論

既往の研究において二次元で行ってきた画像処理手法では、X線CT画像の三次元化において骨材の分離抽出が難しい場合があった。本研究で提案したADIを用いて三次元での数値計算を行うことにより、ノイズを低減して粗骨材のみの抽出を行うことができた。また、関心領域の大きさを変化させることで特性の違う抽出結果を取得でき、粗骨材の中心座標を求めることができた。提案手法の適用により、鉄筋コンクリート内の空間における粗骨材の配置を把握する上で非常に有用と言える。

本研究の範囲内では、画像取得後の解析手法について検討を行ったが、X線CT画像を取得するまでの撮影条件や再構成段階で画像処理手法の影響を改めて検討

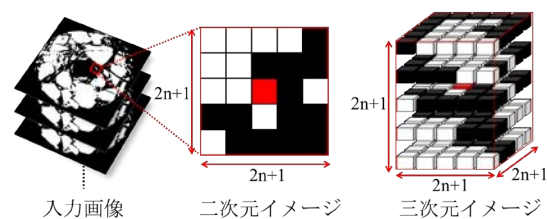


図3 ADI計算プロセスの概念図

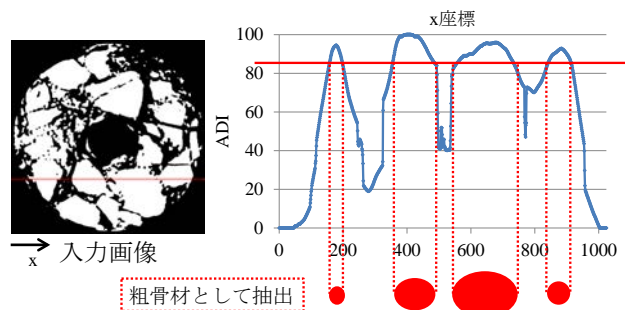


図4 ADIによる粗骨材抽出イメージ

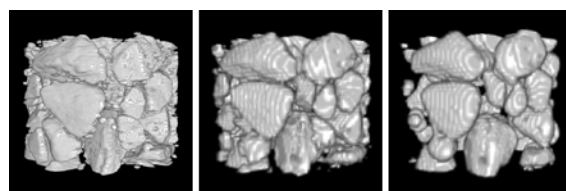


図5 三次元可視化画像

(左：従来手法，中央・右：提案手法 ($n=1$ ・ $n=5$))

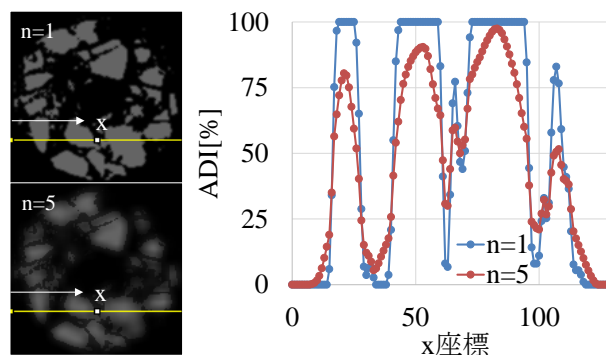


図6 $x=95$ におけるADIのラインプロファイル

する必要がある。加えて、ADIの算出における空間距離の取り扱い方法についても今後の検討の課題である。

参考文献

- 1) 高橋駿人, 志村和紀, 杉山隆文, 田中大之: X線CT法を用いた引張力を受けた異形鉄筋周辺のひび割れに関する観察, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, 2017.
- 2) Salem, H. M and Maekawa, K: Pre- and Postyield Finite Element Method Simulation of Bond of Ribbed Reinforcing Bars, Journal of Structure Engineering, ASCE, pp.671-680, 2004.