

第 V 部門 X 線 CT 法を用いたコンクリート円柱供試体の内部構成情報の抽出

京都大学工学部 学生会員 若木 伸也  
 京都大学防災研究所 正会員 高橋 良和  
 京都大学防災研究所 正会員 澤田 純男

1. はじめに

地震によるコンクリート構造物の被害を軽減するためには、コンクリートの破壊メカニズムを理解することが重要である。そのために、破壊解析モデルを構築することは重要である。コンクリートの解析モデルの構築には骨材の位置・形状・寸法といった情報が必要であり、X 線 CT を用いることにより非破壊で得ることが可能である。既往の研究として、天明ら<sup>1)</sup>によるヒストグラムを用いて空隙・骨材・モルタルを分離したものが挙げられる。本研究では、X 線 CT 画像から画像処理によりコンクリート円柱供試体の内部構成情報として骨材の位置・寸法に関する情報を抽出し粒度分布を推定して、ふるい分け試験から得られた粒度分布との比較を行い妥当性について検討した。

2. コンクリート円柱供試体の X 線 CT 画像取得

(1) X 線 CT 装置

本研究で用いた X 線 CT 装置は京都大学社会基盤工学専攻の東芝 IT コントロールシステム社製  $\mu$  フォーカス X 線 CT 装置 TOSCANNER-32250 $\mu$ hdk である。装置の外観を図-1 に示す。X 線 CT 装置では円柱供試体内部の X 線吸収強度を計測する。X 線吸収強度は密度と線形の関係にあるので、これを利用して物質の密度を表した CT 値を画像化する。

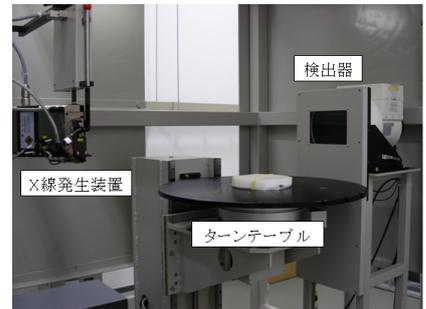


図-1 X 線 CT 装置の外観

(2) コンクリート円柱供試体

供試体は X 線 CT 装置での撮影を考慮して直径 57mm、高さ 114mm の円柱型で製作した。供試体製作に用いたコンクリートの配合を表-1 に示す。スランプ試験は 2 回行い、結果は 17.1cm、15.8cm であった。

(3) コンクリート円柱供試体の X 線 CT 画像

供試体の撮影により 991 × 1001 × 352 ボクセルの画像が得られた。1 ボクセルの寸法は 60.83 $\mu$ m × 60.83 $\mu$ m × 400 $\mu$ m である。図-2 は CT 画像の下から 60mm の位置における水平断面図である。

3. X 線 CT 画像からの画像処理による骨材抽出

(1) 骨材の抽出方法

骨材はモルタルとは密度が異なるため、CT 値も異なる。これを利用して、CT 画像からの骨材の抽出は、CT 値がある値以上であれば骨材として認識する閾値処理により行う。図-3 に CT 値ヒストグラムを示す。骨材とモルタルの閾値は画像から判断できる。図-4 は図-2 に閾値処理を適用したものである。供試体外縁部の骨材を抽出したが、供試体中心部の骨材が認識できていないことが分かる。

表-1 コンクリートの配合

単位量 (kg/m <sup>3</sup> , 減水剤のみ cc/m <sup>3</sup> )				
W	C	S	G	減水剤
145	290	867	952	725

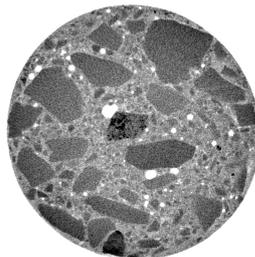


図-2 画像の下から 60mm の位置

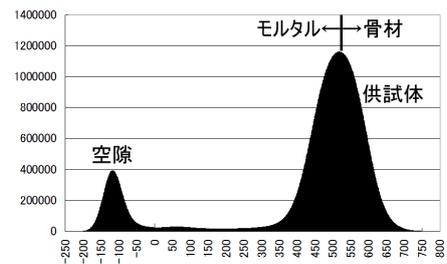


図-3 供試体 CT 値ヒストグラム

(2) 供試体内部の補正処理

図-4 において供試体中心部の骨材が認識できなかったのは、X線が供試体内部に浸透する過程で吸収され、強度が減衰したためと考えた。そこで、供試体の表面からの距離に応じてCT値を補正した(供試体内部の補正処理)。

X線強度変化量=X線吸収量、円柱供試体内部密度は均一であるという仮定をおくと、 $f(s)$ をX線強度、 $s$ をX線浸透深度、 $k$ をX線吸収係数として、ある浸透深度におけるX線強度変化量 $df$ は、 $df = -kf$ となる。これを積分して、積分定数を $T$ とおくと、 $f(s) = Te^{-ks}$ となり、 $T=1$ (単位強度)としたときの逆数より、 $F = e^{ks}$ が補正係数となる。補正処理ではこの補正係数をCT値に乘じる処理を行った。図-5は供試体内部の補正後に閾値処理を適用したものである。供試体中心部の骨材もよく認識されていることが分かる。しかし、骨材の部分に白い斑点(骨材と認識されていない点)が見られる。これらの点はノイズと考えられるので、除去する必要がある。

(3) メジアンフィルタによるノイズ除去

図-5で現れた白い斑点(ノイズ)は、局所的に現れる極端なCT値であると考えた。そこで、メジアンフィルタの処理を試みた。メジアンフィルタは近傍点の中央値を出力するフィルタである。最大値・最小値に関わらず中央値を出力するので、極端な値を除去する性能に優れているという特徴がある。ただし、画像全体に適用すると細かいエッジがぼやけるという欠点もある。本研究ではノイズ検出関数によりノイズを抽出し、その部分のみを補正する改良メジアンフィルタを適用した。ノイズ検出関数は、対象点のCT値が、フィルタ窓内のCT値の中央値からフィルタ窓内のCT値の標準偏差より大きく乖離していればノイズと認識するものとした。図-6はメジアンフィルタ処理後に閾値処理を適用したものであり、図-7は改良メジアンフィルタ処理後に閾値処理を適用したものである。改良メジアンフィルタにより、細かいエッジを保持したままノイズの除去を実現していることが分かる。

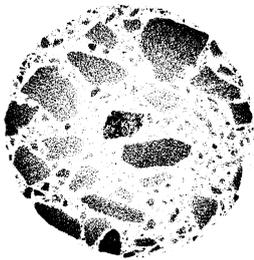


図-4 閾値処理

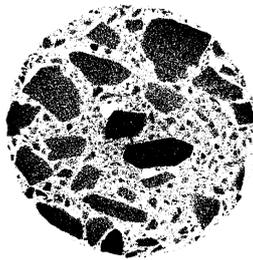


図-5 閾値処理(内部補正済み)

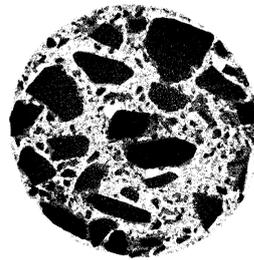


図-6 閾値処理(メジアンフィルタ処理済み)

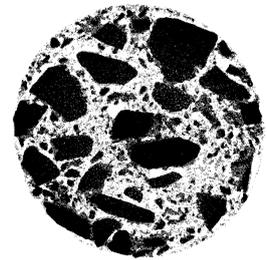


図-7 閾値処理(改良メジアンフィルタ処理済み)

4. 抽出した骨材の粒度分布推定とふるい分け試験結果との比較

ノイズ除去したCT画像から20枚ごとに1枚、計13枚選出し、それらの画像で骨材を抽出した。その後抽出した骨材の粒度分布を推定し、ふるい分け試験の結果と比較した。分布の形状は合致しているが、画像から推定した結果はふるい分け試験の結果と比べやや小さめとなったこと、ふるい分け試験では検出されなかった粒径15mmの骨材が画像からは検出されているといった相違点が見られる。これは、ノイズが除去しきれないことと、メジアンフィルタを適用した画像から骨材が繋がって抽出されたためと考えられる。今後、よりよい精度での骨材抽出方法の確立を検討していく必要がある。

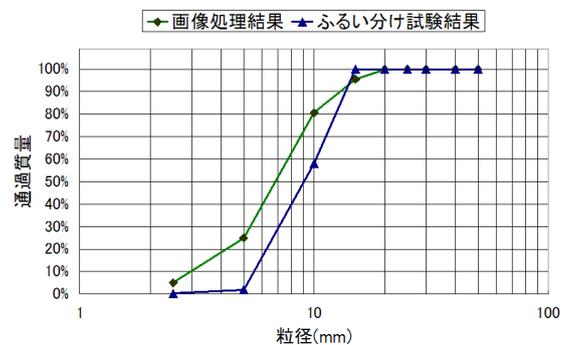


図-8 画像からの粒度分布推定結果とふるい分け試験結果の比較

5. まとめ

コンクリート円柱供試体の内部画像をX線CT装置により撮影し、供試体内部の補正やノイズ除去といった画像処理により、骨材を目視によらない方法で抽出した。

参考文献

1) 天明 敏行, 伊藤 剛, 濱崎 大志, 尾原 祐三: "X線CT法を用いたコンクリートの材料構成定量化法の提案", コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, 2008.