

医療用 X 線 CT を用いたコンクリートの品質評価の基礎検討について

高知大学海洋コア総合研究センター 正会員 ○岡林 徹
 高知大学海洋コア総合研究センター 非会員 新井和乃
 高知高専ソーシャルデザイン工学科 正会員 横井克則

1. はじめに

高知大学海洋コア総合研究センターでは、海洋海底コアおよび岩石コアなどを対象に医療用 X 線 CT を使用して得られた情報を 3 次元画像から内部構成や堆積構造の情報を解析し、地層構造の変化を可視化・数値化することで、各研究分野で成果をあげている。

一方、土木や建築工事で使用される生コンクリートの品質管理は、コンクリート納入時にスランプ・塩化物イオン量・空気量測定および圧縮強度試験と合わせて管理している。本研究では、品質管理用に採取している供試体に X 線 CT 解析を適用し、硬化コンクリート内部の空隙構造の可視化および粗骨材の均質性の定量化を目的とした実験を行った。

2. 実験方法

(1) 供試体

使用した供試体は $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ のサイズとし、高強度コンクリート 1 種（水セメント比：W/C=45%）、普通コンクリート 3 種（呼び強度：24-15-20N、30-18-20N、36-18-20N）の計 4 種を用いた（表-1）。いずれの供試体も使用骨材は粗骨材が石灰砕石、細骨材は石灰砕砂と海砂の混合である。以下、各供試体の呼称は表-1 の No. を示し、配合 No. と示す。

表-1 実験に使用したコンクリートの配合

No.	配合	空気量(%)
1	高強度コンクリート	4.2
2	24-15-20N	5.2
3	30-18-20N	4.6
4	36-18-20N	4.8

(2) 医療用 X 線 CT 装置

医療用 X 線 CT 装置は、工業用 X 線 CT 装置と比べ測定時間が短いことが特徴である。測定原理は 360 度全方位から X 線を患者に照射し得られた X 線透過量から再構成処理を行い、X 線吸収係数を数量化、スライス画像として表示している。データ画像は DICOM ファイルとして保存され、一般的な画像処理ソフトでの解析が可能である。本実験に用いた $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の供試体における所要時間は、セットから再構成まで 10 分弱である。

(3) 撮影方法

本装置に供試体を図-1の向きになるようにセットし、スライス間隔 0.5mm、管電圧 120kV、管電流 300mA で 3 次元画像の撮影を行った。スライス画像の解像度は 512×512 ピクセルである。図-2に CT 撮影で得られた画像を示す。

3. 実験結果と考察

(1) 断面画像観察

CT 撮影で得られたデータは画像処理ソフトウェア ImageJ を用いて処理を行った。CT 画像では密度が低い部分はより黒く、高い部分はより白く表示される。本実験において得られた断面画像を図-3に示す。黒い部分は空隙、白い部分は骨材、灰色部分はモルタルと推測される。骨材に関しては 5mm 程度のものまでは確認できたが、

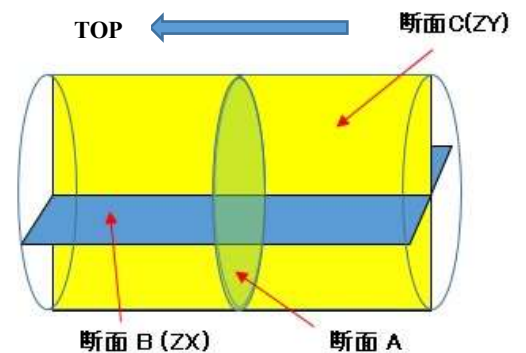


図-1 断面概念図

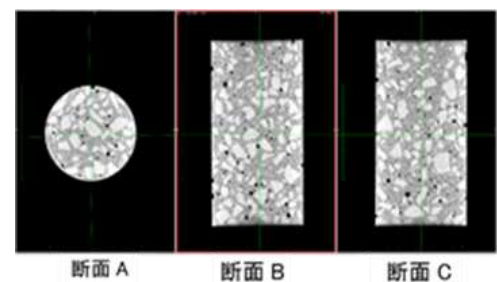


図-2 再構成 CT 画像

それ以下のサイズではモルタルと区分することは困難であった。空隙に関しては1mm程度まで確認できた。

(2)空気量の推定

断面画像について骨材・モルタル部と空隙部をCT値を用いて二極化し、得られた空隙情報から撮影時の解像度と測定間隔を基にボクセル化した容積をカウントすることで空気量を計測した。1ボクセル当たりの体積は $0.19 \times 0.19 \times 0.5 \text{mm}$ である。更に計測した気泡容積を球と仮定して気泡径(直径)を計測し、グラフ化した(図-4)。計測結果を表-2に示す。気泡径は0.5-10mmの範囲と算出され、その90%程度が気泡径2mm以下であった。今回の実験では配合の違いによる気泡の分布状況の差は見受けられなかった。また、解像度の影響で直径0.5mm以下の気泡は検出できず空気量はいずれの配合も2%程度であった。坂田らのリニアトラバース法にて行った実験では、硬化コンクリート中の空気量はフレッシュコンクリート中の空気量より0.9%程度少ないと報告されている¹⁾。空気量を計測する際の二極化の手順が確立されておらず、そこで生じる手順が空気量を少なく計測した要因と考えられ、今後検討する必要がある。一方で、フレッシュコンクリート中のエントラップトエアは2%程度であるので、本実験で計測された空気量はエントラップトエアを検出できた可能性がある。

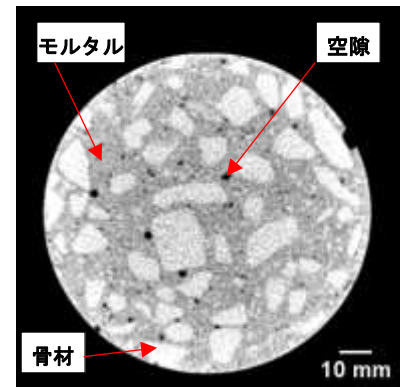


図-3 CT断面画像

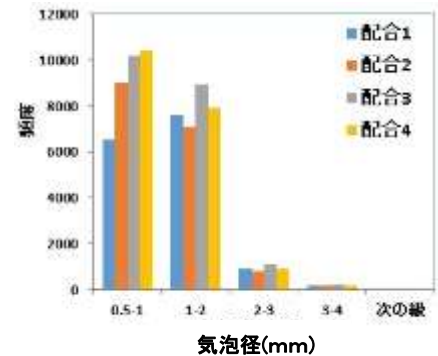


図-4 気泡ヒストグラム

表-2 検出された空気量

配合 No.	空気量(%)	検出空気量(%)
1	4.2	2.2
2	5.2	1.9
3	4.6	2.4
4	4.8	2.2

表-3 CT値の差

配合 No.	最大差 CT 値	差(%)
1	2316	10
2	2502	12
3	2480	18
4	1891	12

(3)均質性評価

X線CTは照射されたX線が物体を通過した際の減少率を数値化したものである。コンクリート中の骨材が均質に配置された場合はどの箇所でも同じ値を示すと推測される。そこで、供試体を高さ方向に2分割して、CT値によるヒストグラムを作成し両者を統計的手法にて均質性の確認を行った。実験で得られた結果を表-3に、特に大きな差を生じた配合3のヒストグラムを図-5に示す。CT値2300~2500は粗骨材を1600~2000はモルタルをそれぞれ示しており、供試体の下側に粗骨材が多いと推測される。また全ての配合において有意水準5%でt検定を行った結果、有意差は認められなかった。

3. まとめ

今回の実験において以下の知見が得られた。

- ①短時間でコンクリートの内部構造が可視化でき、骨材・空気量の分布を可視化が可能である。
- ②画像処理ソフトウェアを適宜使用することで、空気量の推定およびコンクリートの均質性を評価できる可能性がある。
- ③詳細分析としてマイクロフォーカスX線装置やその他の分析機器を用いれば、エントレインドエアを検出できる可能性がある。
- ④得られたデータをデータベース化することにより、将来起こり得る不具合などを判定する際のツールとして期待できる。

参考文献

1)坂田昇、橋本学、菅俣匠、緒方克彦：中庸熱フライアッシュセメントを用いたコンクリートの耐凍害性に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、pp.895-900、2013

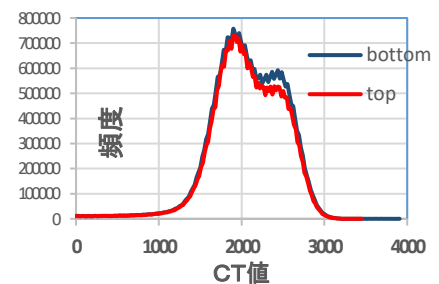


図-5 均質性ヒストグラム