

非破壊 CT-XRD 連成法によるコンクリートの 骨材界面近傍の観察

Observation of Interfacial Transition Zone around Aggregate in Concrete by Non-destructive Integrated CT-XRD Method

長谷部 大輝, 千本 陽生, 杉山 隆文
Daiki Hasebe, Akio Chimoto, Takafumi Sugiyama

北海道大学大学院
Hokkaido University

複合材料であるコンクリートには、骨材界面において遷移帯とよばれる空隙率が比較的大きな領域が存在する。これまで多くの研究が行われているが、本研究では非破壊 CT-XRD 連成法を用いて、初めて遷移帯を非破壊で詳細に観察した。骨材とセメントペーストの線吸収係数には大きな差がないため、画像処理方法を工夫することで遷移帯を観察できることが示唆された。

キーワード： コンクリート、骨材、遷移帯、非破壊、X 線 CT

背景と研究目的：

コンクリートの強度、耐久性に影響を及ぼすセメントペーストと骨材との界面（遷移帯）に関する研究はこれまで実施されているが[1]、界面を直接非破壊で調べた研究はない。本課題に対して著者らは、非破壊 CT-XRD 連成法によって遷移帯の性状を把握することを研究目的とした。

実験：

実験は破壊 CT-XRD 連成法のための装置一式が整備されている BL28B2 で行った。測定は XRD 測定では白色 X 線を利用し、CT 測定では分光結晶により単色化した X 線を用いた。

試料は、あらかじめ実験室内でセメントと水、骨材を練混ぜ硬化促進させた。これを測定試料として成型して SPring-8 へ持ち込み測定を行った。試料寸法は、断面が 3 mm 四方、高さ 5 mm 程度の角柱を、所定の寸法から慎重にカットで切り出した。測定条件は、これまでの実績から CT 測定のエネルギを 25 keV、投影数は 1500 枚、露光時間は 400 ms、画素寸法は 2.44~2.46 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ 、全体視野は 1920 \times 1920 pixel を参考に撮影条件を設定した。なお、XRD 測定のスリットサイズは水平方向 0.05 mm \times 高さ方向 0.3 mm、回折角は $2\theta = 10^\circ$ 、照射時間は 300 ms を参考に測定条件を設定した。

使用した骨材は、石灰岩砕砂である。比較のために、密度が普通骨材と同程度で、均一な材質であるガラスビーズを用いた。セメントは普通ポルトランドセメントを用い、蒸気養生と標準養生の 2 通りの養生とした。また、水セメント比は 35 %、50 % の 2 種類で供試体を作製した。

CT 測定で取得した断層像の画像データは再構成後、32 bit から 8 bit へ変換して画像解析を実施した。

結果および考察：

図 1, 2 に骨材に石灰岩砕砂を用いた試料 (図 1)、およびガラスビーズを用いた試料 (図 2) の断層像の 8 bit 画像データ (左図) と各画像中の画素値の頻度分布 (右図) を示す。画像データの画素値は試料中の X 線線吸収係数の分布を反映しており、画像中の色が明るいほど X 線吸収係数が高い、すなわち密度が高いことを示している。本研究では、この 8 bit 画像を元画像として、骨材輪郭を決定した。そして、セメントペーストマトリックスと比べ空隙率が大きく、密度の小さい領域をセメントペースト部の画素値との大小関係から遷移帯を抽出した。図 2 に示すように、ガラス骨材はセメントペーストマトリックスよりも暗色となった。このコントラストの相違は、密度差よりもガラス骨材と石灰岩砕砂との線吸収係数の差によると考えられた。

図 1 に示すように、元画像のままでは画像が暗く、骨材の輪郭を連続的に捉えることは出来ない。そこで複数のフィルタリングによる画像の平滑化やダイレイトとエロードを組み合わせ、画素値変化

から骨材境界を決定した。次に、遷移帯の存在範囲を決定する必要がある。画像では骨材周囲に遷移帯と思われる比較的暗い領域が確認できたが、ペースト部にも密度が低く暗い部分は存在し、画像の色の明るさ上は遷移帯と同じように写る。そこで、これらを区別する方法を検討した。まず、骨材とペースト部の界面において骨材からペースト部にかけて任意の 30 本の線分を描き、線上の画素値の変化を観察した。その平均を求めると共通した図 3 に示す傾向が得られた。

以上の画像処理からは次のことが明らかになった。すなわち、石灰岩砕砂の場合、骨材界面近傍の画素値のラインプロファイルは骨材から離れるにつれ減少しやがて最小値を示した後に増加に転じ、界面から離れたセメントペーストではほぼ一定に収束した。密度変化の過程から遷移帯を定義したところ、遷移帯の密度比は、セメントペーストに対して 0.88~0.96 の範囲であり、最小値は骨材から 20 μm 程度の距離であった。密度差の最小値および遷移帯の範囲は、水セメント比、養生方法、そして経時的に変化する傾向を示した。石灰岩砕砂の場合、骨材近傍における密度比は、1.0 を上回る結果になったが、骨材表面に接する高密度粒子の影響によるものと思われた。一方、ガラスビーズでは、ラインプロファイルは異なる変化の過程を示した。

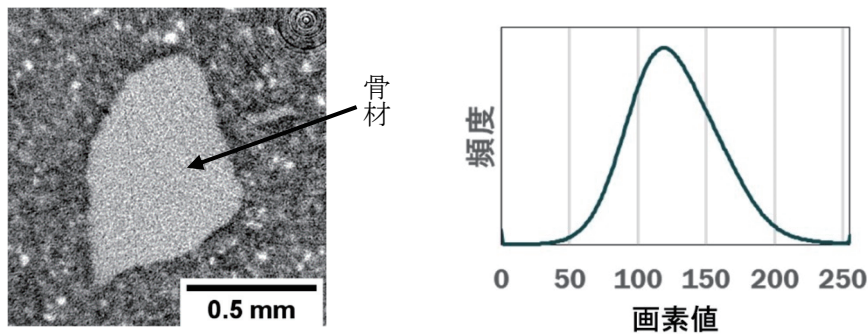


図 1 骨材に石灰岩砕砂を用いた試料の断層像（左図）とその画素値の頻度分布（右図）

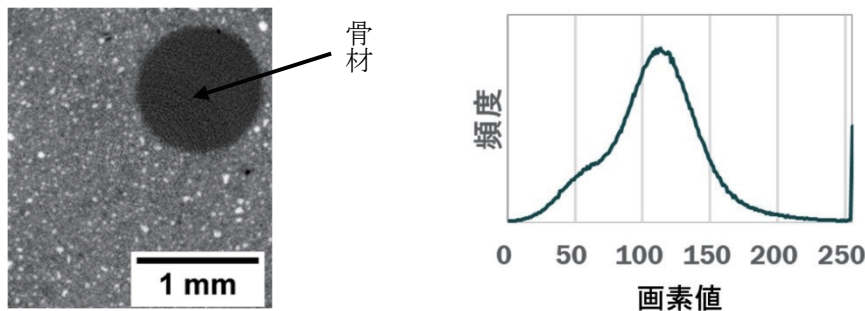


図 2 骨材にガラスビーズを用いた試料の断層像（左図）とその画素値の頻度分布（右図）

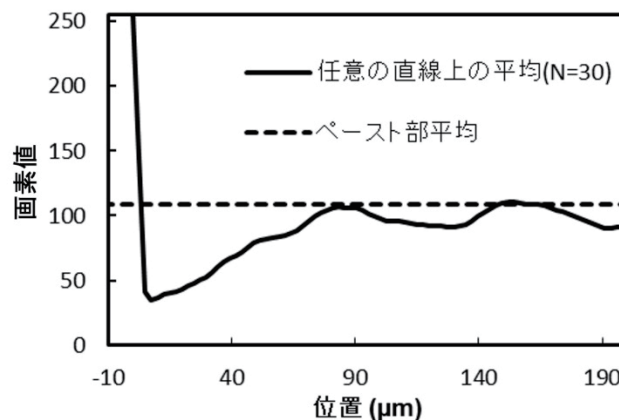


図 3 骨材界面付近の画素値変化（骨材に石灰岩砕砂を用いた試料）

今後の課題：

画像解析方法と共に遷移帯の抽出の仕方について引き続き研究して、水セメント比や養生方法、材

齡の影響をより詳しく調べる予定である。

参考文献

- [1] 内川浩、羽原俊祐、沢木大介：硬化モルタル及びコンクリート中の遷移帯厚さの評価並びに遷移帯厚さと強度との関係の検討、Concrete Research and Technology、Vol. 4、No. 2、(1993)