

CT-XRD 連成法による熱作用を受けたコンクリートおよび岩石の 損傷領域周辺での空間的・鉱物組成の高分解能観察 Observation of Shapes and Mineral Compositions at Peripheral Domains of Damaged of Concrete and Rock using Integrated CT-XRD Method

人見 尚

Takashi Hitomi

(株)大林組

Obayashi. Co. Ltd.

コンクリートや岩石の解体・掘削の新たな手法として熱作用による手法を検討している。熱衝撃を受けた供試体の熱作用領域や作用前の非作用領域を採取した微小試料を用い、CT-XRD 連成法を用いた観察を行った。試料は熱作用によって溶融するが、作用前に空隙を含む材料では溶融の際に多くの気泡が発生すること、すべての試料で鉱物は溶解によって混合し、新生鉱物を生成することが確認された。本手法による対象物の作用メカニズムに関する知見を得た。

キーワード： 建設材料解体, 熱衝撃, CT-XRD 連成法, コンクリート, 岩石

背景と研究目的：

コンクリートや岩石の解体・掘削は建設工事において重要な工程の一つである。静音性や低公害性の訴求のため、粉塵や廃液の発生を最小限に抑えたコンクリート解体法が求められている。その一つ的手段として、コンクリートや岩石に作用範囲を絞った状態での化学作用や熱衝撃による熱作用を用いる手法がある。これまでに、100 mm 程度の小規模供試体を対象に試験を実施し、熱衝撃試験を数 cm の範囲（以降熱作用領域と記述）で実施した。

本課題では、高分解能 CT と白色 X 線を用いた局所 XRD を用いて上記供試体における熱作用を受けた領域における高分解能での観察として、コンクリートと、岩石は花崗岩および堆積岩（砂岩）を対象に、非作用領域、熱作用領域での微細構造の変化や鉱物成分の変化などの情報を得ることを目的とした。

実験：

2022B 期で BL28B2 における高エネルギー X 線 CT 装置を用い熱作用を受けた水平方向 100 mm 平方で、厚さ高々 5 mm 程度の広範囲のコンクリートや岩石の非破壊測定を実施し、その影響範囲や変質の広がり方向の変遷などの把握方法として有効であることを確認した。しかしながら、分解能での制限により、微細な領域での変化の把握は困難であった。

本課題では、同じく BL28B2 において、高分解能 CT と白色 X 線を用いた局所 XRD を組み合わせた CT-XRD 連成法を用いて、熱作用領域と非作用領域のそれぞれの詳細観察を行った。観察用の試料は、コンクリート、花崗岩および砂岩供試体より、それぞれの非作用領域、熱作用領域について切断加工より作成した一辺が 3.5 mm で長さが 6 mm 程度の直方体に整形して作製した。熱作用後の試料は非常に脆く、直方体形状を保っていないものが多かった。

X 線 CT の諸元は、エネルギーは 25 keV、画素長が 2.44 μm 、画素数は水平方向に 1960、鉛直方向に 1440 とした。このため断面の視野は、水平方向は 4.78 mm、高さ方向は 3.51 mm となった。露光時間は 0.4 秒、投影数は 1500 枚で 0.12°の角度刻みとした。X 線回折では、BL28B2 の白色光源を用い、回折角は 10°でエネルギー分散型 XRD プロファイルを得た。回折 X 線のエネルギースペクトルの測定には半導体検出器 GLP-16195/10-P を用いた。エネルギーの分解能は、検出器の仕様上 0.5 keV 程度となった。入射 X 線は、水平方向の幅は 0.15 mm、鉛直方向は 0.05 mm のマイクロビームとした。測定時間は一点あたり 5 分として、測定期間内は供試体を回転させて多くの結晶情報を取り込むこととした。供試体の回転によって、測定領域は円盤状になり、ビームの強度分布を考慮しそのサイズを求めた結果、直径はおよそ 0.2 mm 程度となった。なお、従来

の粉体を用いた X 線回折の観察と異なり非破壊での観察となるため、供試体内の結晶の方向性によってはピークの欠落の恐れがある。X 線 CT の再構成に関しては、産業利用推進室で作成された新しいソフトウェア群を用いた。これによって、これまで課題となっていたリング状のアーチファクトが大幅に軽減され、ノイズの低い断面図を得ることが可能になった。CT 像を用いた空隙の抽出には、Slice [1] を用いた。

結果および考察：

図 1 に各試料の CT 像を示す。熱作用領域においては、熔融状態となり非作用領域で明瞭に観察された鉱物の境界が混合した状態となった。特に、コンクリートでは、非作用領域においてセメントペースト部分と砂（細骨材）が明瞭に区別できるが、これらも混合した状態の硬化物を形成している結果を得た。

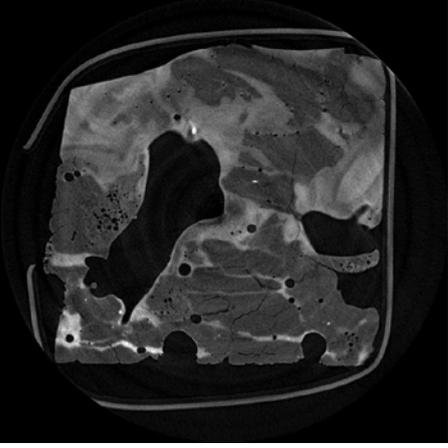
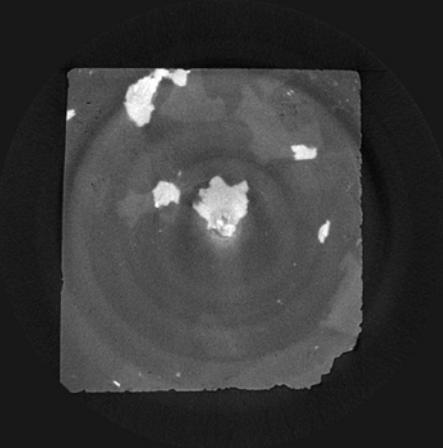
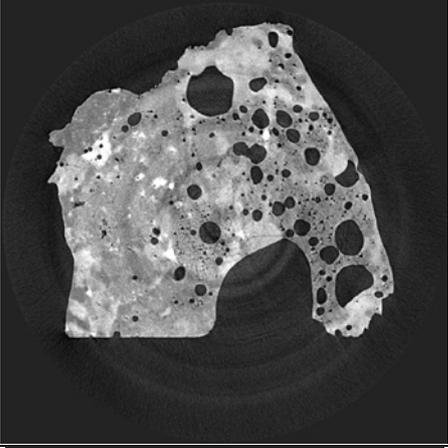
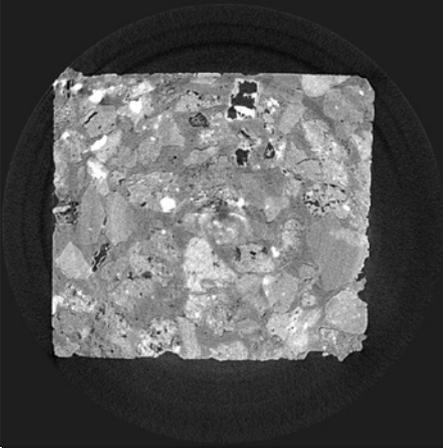
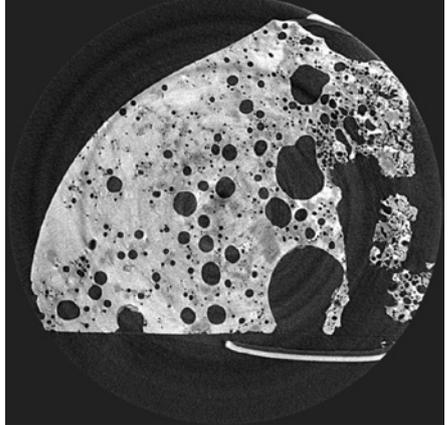
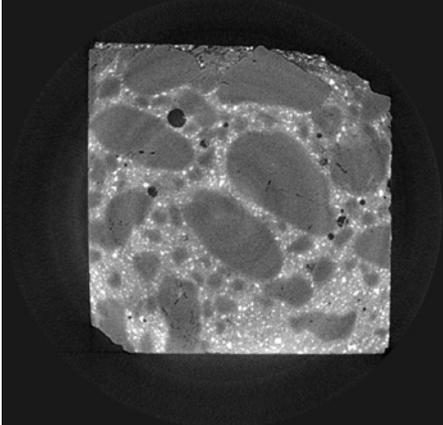
供試体	熱作用領域	非作用領域
花崗岩		
砂岩		
コンクリート		

図 1 各材料の CT 像

また、砂岩と花崗岩においては多数の気泡の発生が確認された。これは、非作用領域の組織中に元来空隙が散在しており、これが発泡したものと推察された。

図2に作用領域における三次元の空隙像を示す。空隙は、水平方向はCT像の中心部分の1200ピクセル分(2.93 mm)平方、高さ方向は1440ピクセル分(3.51 mm)の直方体領域のついて抽出を行った。図1の断面図でも見られたが、熱作用領域においてコンクリートと砂岩において多くの気泡の発生が確認された。それぞれ非作用領域においても空隙が多く存在し、これらが加熱によって発泡したものと考えられた。

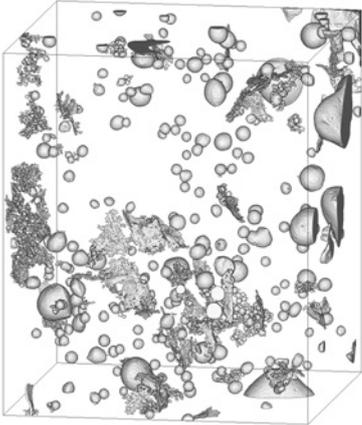
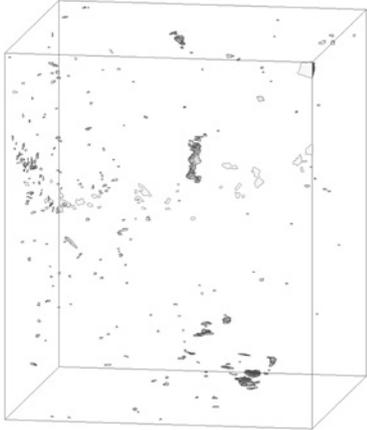
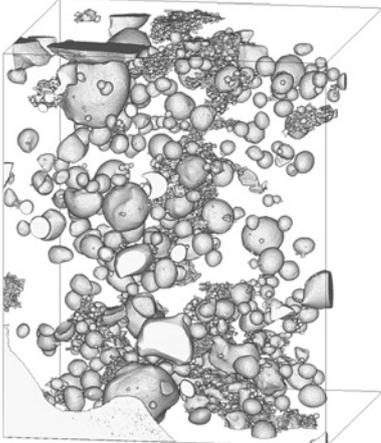
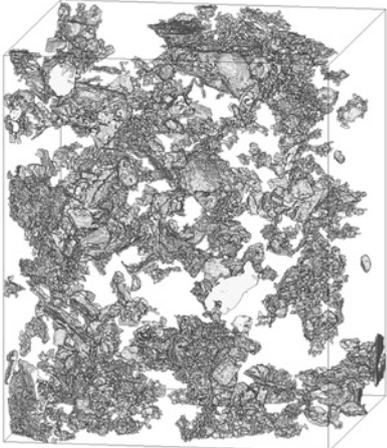
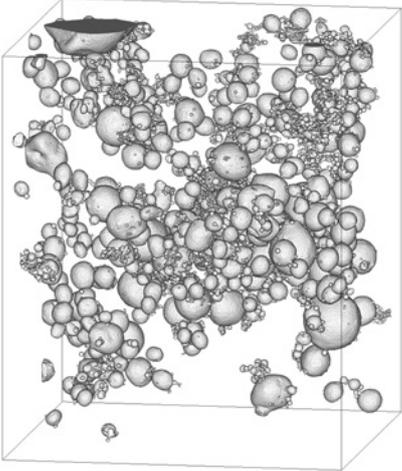
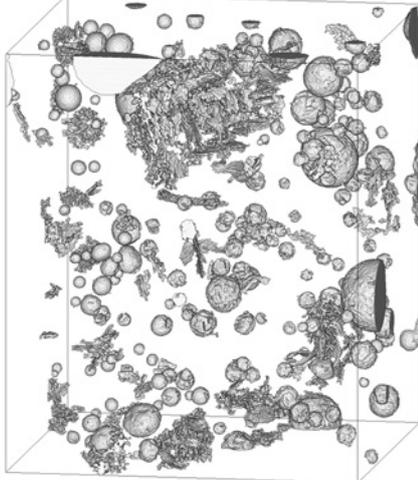
供試体	熱作用領域	非作用領域
花崗岩		
砂岩		
コンクリート		

図2 各材料の観察領域における三次元空隙

図 3 に XRD のプロファイルの例として花崗岩の結果を示す。非作用領域におけるプロファイルには、大小多数のピークが存在し、複雑な形状となり様々な鉱物の存在が推定されるが、熱作用領域においては、熔融によってほぼ均質な鉱物の生成が推定されるが、鉱物種の同定までには至っていない。

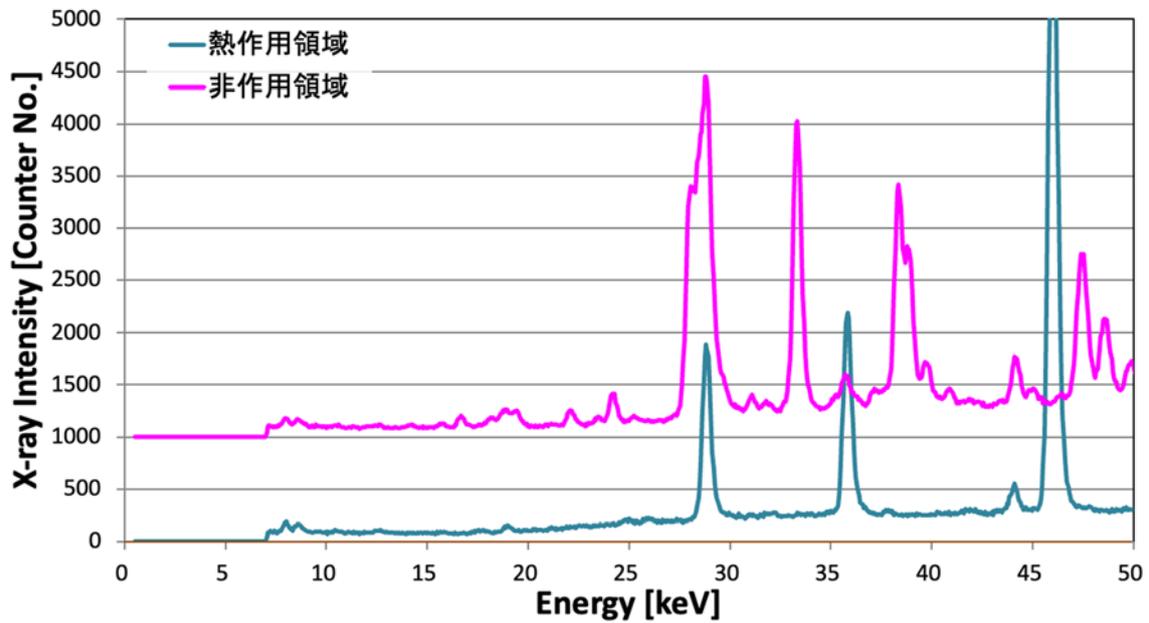


図 2 花崗岩における XRD プロファイルの例

今後の課題：

提案時に記載していた熱作用と非作用の中間部分はサンプリングすることが困難であった。試料採取方法などを検討し、中間部分を採取を行う。また、現時点で同定が困難であった熱作用部分の鉱物種の同定などを行う。これらを併せて解体・掘削につながる破壊のメカニズムの検討に取り組む。

参考文献：

[1] <http://www-bl20.spring8.or.jp/slice/index.html>.