

## 非破壊 CT-XRD 連成法による高温履歴を受けたセメント系材料の変質評価

北海道大学 学生員 ○高橋 駿人  
 北海道大学 学生員 若松 和哉  
 北海道大学 正会員 杉山 隆文

## 1. 背景

閉鎖空間でコンクリートが高温に曝される事例があり、特にトンネル内や高架橋下で生じる火災によって被害が多く報告されている。高温履歴を受けるコンクリートの室内実験では、標準的な高温履歴曲線に対する強度や水和物の変質が研究されている。しかし、コンクリートが比較的長期間高温を受け続けることによる変質挙動についての研究はほとんどない。そこで本研究では、高温履歴を受けたコンクリートの変質を評価するために、硬化体有姿で回折測定を行うことができる非破壊 CT-XRD 連成法を用いて、表層部と内部のセメント水和物の変質を観察した。

## 2. 実験概要

### 2. 1 非破壊 CT-XRD 連成法

非破壊 CT-XRD 連成法は大型放射光施設 SPring-8 内の BL28B2 にて行った。BL28B2 は広いエネルギー帯を持つ白色 X 線源を有しており、角度走査せずエネルギー分散型の回折プロファイルを取得できる。また試料を透過した入射 X 線を、試料の下流に設置したシリコン単結晶を用い特定のエネルギーを有する X 線のみ回折させ X 線カメラで取得する。これにより試料に対する入射 X 線の位置を変えずに高いコントラストの CT 像を取得できる。以上より CT 測定と X 線回折の座標系を統一できるため、本手法は CT 測定による断面画像を取得後、任意の関心領域に対して X 線回折測定を行う手順をとることができる。

### 2. 2 供試体概要

普通ポルトランドセメントを使用した水セメント比 0.6 のセメント硬化体を作製した。養生後、非破壊 CT-XRD 連成法の測定用に直径約 3mm、高さ約 10mm の大きさに加工し、加熱実験した後に台座設置用のアルミ製治具に固定した。

### 2. 3. 加熱条件

供試体の加熱は電気炉で行った。常温から最高温度

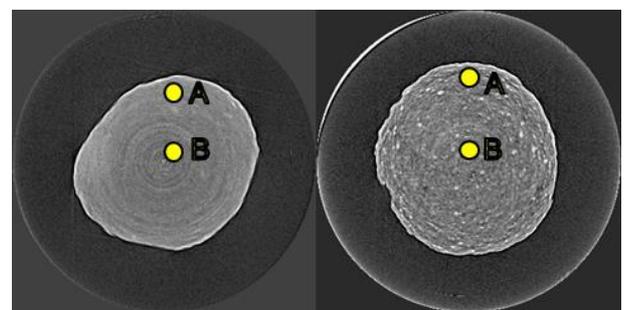
までの昇温時間は 10°C/min とし、最高温度(°C)とその継続時間(h)は 400°C×12h、および 600°C×8h のパターンで行った。加熱終了後は供試体が周囲温度に戻るまで炉内で自然冷却した。

### 2. 4. 測定条件および同定方法

CT 測定時は、400°C加熱後の供試体ではエネルギーを 20keV、露光時間を 0.4 秒とし、600°C加熱後ではそれぞれ 25keV、0.6 秒とした。また投影数は 1500 枚、画素寸法は 2.41μm/pixel、画素数は 1920pixel とした。XRD 測定ではビームサイズを 0.15mm×0.05mm、回折角度(θ)を 10°、照射時間を 300 秒とした。同定は、対象鉱物の結晶構造パラメータを基にエネルギーと回折強度の関係を算出した回折プロファイル(以下、理論プロファイルと呼ぶ)と、取得した回折プロファイルからバックグラウンドを引いた回折プロファイル(以下、測定プロファイルと呼ぶ)を比較して行った。

## 3. 実験結果

図—1 に加熱後の供試体中央高さの断面画像および回折測定点を示す。表面付近および中心部の順にそれぞれ A 点、B 点とする。外観および断面画像からは加熱によるひび割れは見受けられなかった。これは既往の研究結果<sup>1)</sup>と異なるが、水セメント比や温度降下の相違によると思われる。また断面画像の鮮明度は少し異なっている。これはエネルギーの違いによる影響が現れていると考えられる。図—2 に 400°C加熱後の



400°C加熱後 600°C加熱後

図—1 断面画像および回折測定点

キーワード 非破壊 CT-XRD 連成法 高温履歴 Portlandite Calcite Lime

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 TEL 011-706-6180

A 点における理論プロファイルと測定プロファイルの比較を示す。同定する対象の鉱物は Portlandite[Ca(OH)<sub>2</sub>]と Calcite[CaCO<sub>3</sub>]とした。これによると Portlandite のピークは 18keV 付近および 25keV 付近でしか認められなかったが、Calcite のピークは多数認められた。これは一般に熱分析では Portlandite の分解は 450°C付近で起こるとされているが、400°Cを 12 時間と長時間で加熱したため分解が進行し、空気中の二酸化炭素と反応したため Calcite が生成したと考えられる。図—3 に 400°C加熱後の供試体の A 点と B 点の測定プロファイルと比較し、同定した結果を示す。これによると、A 点で 17keV 付近および 27keV 付近で認められた Calcite のピークが B 点では認められなかったが、概ねプロファイルは一致しており A 点、B 点で Calcite が生成していると考えられる。同様に 600°C加熱後の供試体の A 点と B 点の同定結果を図—4 に示す。今回は Lime[CaO]も同定する対象の鉱物とした。これによると A 点に関して、Portlandite、Calcite のピークの外に Lime のピークが認められたが、B 点では Calcite のピーク数が卓越し、Lime のピークは認められなかった。これは表面付近では加熱により生じた Calcite が最高温度の影響を受けて分解し Lime が生成しているが、中心部ではしなかったと考えられる。

4. まとめ

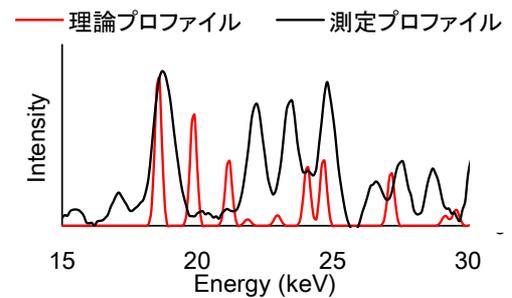
高温履歴を受けた際のセメント水和物の変質評価を、非破壊 CT-XRD 連成法を用いて行った。本研究の範囲内では、最高温度 400°Cを 12 時間与えることで Portlandite の分解が進行し Calcite が生成した。また最高温度 600°Cを 8 時間与えることで表面部に Lime の生成が認められた。

謝辞

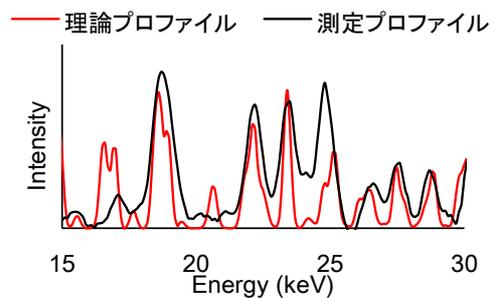
本研究は科学研究費補助金(課題番号 26289133、26630200)および廃炉加速化研究プログラム(国内研究)の支援を受けて実施した成果の一部です。また高輝度光科学研究センターの課題研究(2016B1614)として実施したことをここに銘記し、関係各位に謝意を示します。

参考文献

- 1) 杉山隆文、Jhutan C. Kuri.: 非破壊 CT-XRD 連成法を用いた加熱したセメント硬化体の変質状況の観察、SPring-8/SACLA 利用研究成果集、巻 5 号 1、2017、pp.100-104.(DOI: 10.18957/tr.5.1.100)

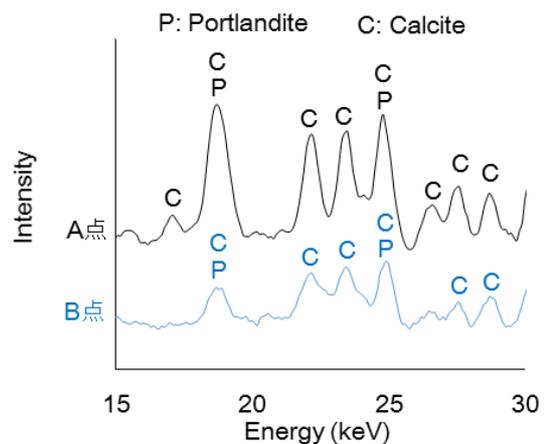


(a) Portlandite

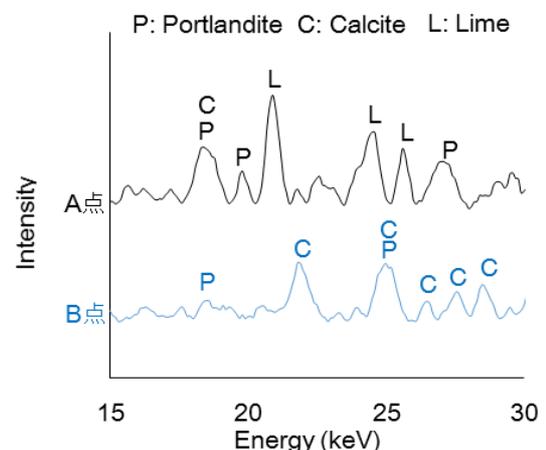


(b) Calcite

図—2 400°C加熱後 A 点のプロファイルの比較



図—3 400°C加熱後の供試体の同定結果



図—4 600°C加熱後の供試体の同定結果