

非破壊 CT-XRD 連成法を用いたセメント系材料の 高温による変質の時間的影響に関する検討

北海道大学 学生会員 ○高橋 駿人
北海道大学 三上 拓也
北海道大学 正会員 杉山 隆文

1. 背景

コンクリートが高温に曝される事象は多く観察されている。受熱した場合は、セメント水和物の分解やひび割れなどが生じ、コンクリート全体の物性が低下すると考えられる。しかし、高温を受けたセメント系材料に関する既往の研究は、最高温度に関する議論が多く、継続時間を考慮した研究は見当たらない。本研究では、比較的長期間高温を受けたセメント硬化体の変質評価を、硬化体内部をマイクロメートルオーダーで観察できる非破壊 CT-XRD 連成法を用いて行った。

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 内のビームライン 28B2 にて行った。本ビームラインは高エネルギーかつ高輝度の白色 X 線を持つため、厚い試料の任意の位置の鉱物を迅速に同定できる特長を持つ。さらに試料と検出器の角度走査が不要であり、エネルギー分散型の回折プロファイルを取得することができる。また試料上流に設置したシリコン結晶を透過し単色化した X 線をカメラで取得するため、濃淡が明確な透過像および断面画像が取得できる。そのため CT 測定により断面画像を取得した後、任意の関心領域における回折プロファイルを取得する手順をとることができる。図-1 に非破壊 CT-XRD 連成法の概要図を示す。

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が 0.6 のセメントペースト作製した。練り混ぜ後、40×40×160mm の型枠に打ち込み、材齢 1 日で脱型後、水中養生を行った。養生約 8 ヶ月後にダイヤモンドカッターを使用して、非破壊 CT-XRD 連成法の測定用に 2.5mm×2.5mm×5mm（それぞれ X、Y、Z 軸とする）の角柱状に加工し、後述の加熱試験を行ったものを供試体とした。加熱試験は電気加熱炉を用いて行った。昇

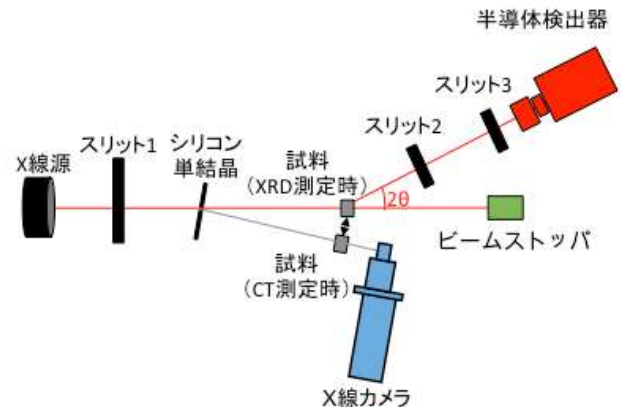


図-1 非破壊 CT-XRD 連成法の概要

温速度と降温速度はそれぞれ 10°C/min とし、炉内の最高温度は 400°C、最高温度保持時間は 2 時間、6 時間、24 時間とした。

2. 3 測定条件および鉱物同定

本研究の測定条件は、CT 測定のエネルギーは 25keV、投影数は 1500 枚、露光時間は 400ms、画素寸法は 2.44μm/voxel、全体視野は 1920×1920pixel で行った。また XRD 測定のビームサイズは水平方向 0.05mm×高さ方向 0.3mm であり、回折角は $2\theta=10^\circ$ 、照射時間は 300ms で行った。鉱物の同定は、対象鉱物の結晶構造パラメータを基に回折強度の関係を算出した回折プロファイルと、取得した回折プロファイルからバックグラウンドを減算した回折プロファイルを比較して行った。

3. 実験結果

図-2 に非破壊 CT-XRD 連成法の結果をまとめる。(a) に加熱後の各温度履歴を受けた供試体の中央高さの断面画像および回折測定点を示す。回折測定点は外縁部から中心部に向かって点 1~4 と設定した。2 時間加熱した供試体ではあまり明確なひび割れが見受けられなかった。6 時間加熱した供試体では外縁部から発生しているように観察され、24 時間加熱した供試体では各辺から多数のひび割れが発生していることがわかる。

キーワード 高温, 非破壊 CT-XRD 連成法, 変質, ひび割れ、

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

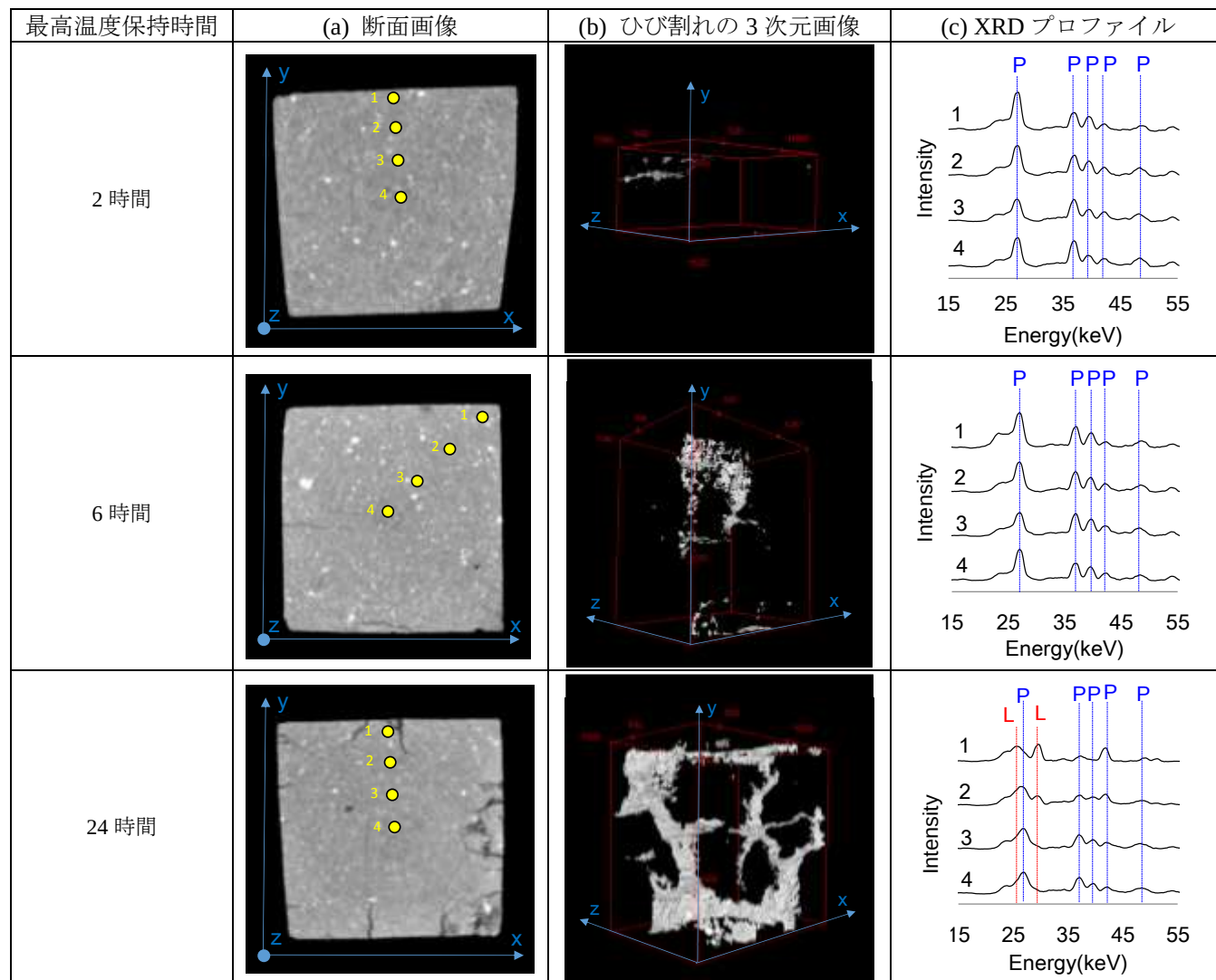


図-2 非破壊 CT-XRD 連成法の結果 (P:Portlandite、L:Lime)

(b)に画像処理により抽出したひび割れの三次元画像を示す。関心領域は、(a)に示した断面から Z 軸方向に向かう 720slice である。2 時間加熱した供試体では主に一辺側でのみ Z 軸方向に向かったひび割れが発生している。6 時間加熱した供試体では、多辺でひび割れが発生し、量的にも増えていることがわかる。24 時間加熱した供試体では関心領域でひび割れの量が増えたと共にひび割れが連結していることがわかる。

(c)に各供試体の XRD プロファイルを示す。同定する対象の鉱物は Portlandite [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]および Lime [CaO]とした。2 時間、6 時間の加熱では Portlandite のピークと多数一致していたが、24 時間加熱した場合は、表層部の点 1 では Lime のピークと一致していた。これは長時間加熱することにより、分解反応が進行したと考えられる。また点 2~4 は Portlandite のピークと一致するが、2 時間、6 時間加熱した供試体と比べると、若干ピークは弱くブロードしている。Castellote らは Portlandite

が分解し Lime が生成後、冷却過程で周囲の水蒸気と再水和し低結晶性の Portlandite が生成することを示唆しており¹⁾、点 1 では Portlandite が分解し水蒸気が供試体外部に逸散して再水和せず、点 2~4 では、一度 Portlandite が分解するが、供試体内部に存在する水分と反応し再水和したことが示唆される。

4. まとめ

非破壊 CT-XRD 連成法を用いて、継続時間を変化させた高温を受けたセメント系材料の変質評価を行った。その結果、最高温度 400℃ の場合で長時間加熱することにより、ひび割れ量が増加するとともに、Portlandite の分解し Lime が生成することが明らかになった。

参考文献

- 1) M. Castellote et al. : Composition and microstructural changes of cement pastes upon heating as studied by neutron diffraction, Cement and Concrete Research, Vol.34, pp.1633-1644, 2004.