



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on the microscopic alteration of cementitious materials subjected to high temperature and water action using non-destructive integrated CT-XRD method [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	高橋, 駿人
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第13708号
Issue Date	2019-06-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74973
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Hayato_Takahashi_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 高橋 駿人

審査担当者 主 査 教 授 杉山 隆文
 副 査 教 授 横田 弘
 副 査 教 授 渡部 要一
 副 査 准教授 Michael HENRY

学位論文題名

Study on the microscopic alteration of cementitious materials subjected to high temperature and water action using non-destructive integrated CT-XRD method
(非破壊 CT-XRD 連成法を用いた高温および水の作用を受けたセメント系材料の微視的変質に関する研究)

コンクリート構造物が供用期間中に耐久性が低下する要因として、高温に曝されるケースが考えられる。近年では構造物の多様化が進んでおり、そのリスクは高まっている。高温に曝されると、セメント硬化体中の細孔構造や、セメント水和物の分解などに起因してコンクリートの物性が大きく低下する。また水との接触はセメント硬化体中のカルシウムが溶脱し性能を低下させる懸念があるが、高温を受けたコンクリートにおいては水の作用を受け再水和し、性能が回復することもあると考えられる。このように高温と水の作用はセメント系材料の微細構造の変質に影響を与え、微視的観点からそのメカニズムを解明することが求められる。しかし、既往の研究ではこのような観点で研究した例は見当たらない。そこで本研究では、マイクロメートルオーダーで供試体内部の局所的観察が可能な非破壊 CT-XRD 連成法 (CT-XRD 法) を用いて、その変質メカニズムを解明することを目的とした。CT-XRD 法は現状で $2.5\mu\text{m}/\text{pixel}$ の解像度で内部観察が可能であり、本研究では概ね $2.5\times 2.5\times 5\text{mm}$ の供試体を用いて、高温や通水または浸漬作用を与えて観察を行った。

本論文は全 6 章から構成されており、各章の概要を以下に示す。

第 1 章では、研究の背景、目的について既往の研究をとりまとめながら説明している。

第 2 章は、従来のセメント系材料の微視的観察手法をとりまとめながら、CT-XRD 法の詳細な原理や分析方法を説明し、他の手法にはない特長を示している。

第 3 章では、CT-XRD 法の画像解析手法の改良と XRD 測定の検証を示すため行った 2 種の実験の結果についてまとめている。まず異なる 3 種の骨材を用いたモルタル供試体を加熱後に観察して、CT 画像の分離手法を考案した。本研究において考案した画像フィルターや画像処理プログラムを利用した画像分離手法を適用することで、従来困難であった骨材、セメントペースト、ひび割れを含む空隙を分離可能とした。また従来法である粉末 X 線回折法の結果と比較することにより、CT-XRD 法による XRD 測定結果の検証を行った。実験では、供試体は炭酸化の有無および、非加熱および 200、400、600、800 に加熱したセメントペーストを使用した。その結果、CT-XRD 法では表面からの深さ方向に依存した鉱物のプロファイルの違いを検出できることを明らかにした。また非炭酸化、600 で加熱したセメントペーストでは、CT-XRD 法では Portlandite の存在を検出することができたが、粉末 X 線回折法では確認できなかった。これは、試料の破碎を伴う粉末調

整により、低結晶性の Portlandite が消失した可能性が考えられ、供試体有姿で観察する CT-XRD 法の有用性が高いことが示された。

第 4 章は、水の作用単一の影響を調べるため、ひび割れを導入したモルタルに通水作用を与えて経時観察を行った実験の結果を示した。4 日間の通水期間でひび割れ近傍のセメントペースト部においてカルシウム水和物の溶脱が確認され、3.5 ヶ月間の長期通水によって骨材周辺の溶脱したセメントペースト部のみが劣化しひび割れ幅が大きく拡大したことが明らかになった。以上より、非破壊試験方法である本 CT-XRD 連成法によってはじめて、骨材とセメントペーストの境界の脆弱部が通水により溶脱し、セメントペースト部が経時的に損失したことを明らかにしている。

第 5 章では、高温および水への浸漬作用を受けたセメント系材料の評価を行った。まず高温の継続時間の影響を検討するため、最高温度を 400℃ 一定として、その加熱時間を変化させた実験を行った。その結果、12 時間以上の高温作用を継続すると、Portlandite が分解され、積算温度の影響があることが示された。次に促進炭酸化させたセメントペーストに非加熱および 200、400、600、800℃ の高温作用を与えた後に、純水浸漬試験を行った。CT 測定の結果から、400℃ で加熱した供試体が一番高い溶脱の抵抗性を示した。これは炭酸化と加熱により水和が進行して、内部が緻密化したためと考えられた。また 800℃ で加熱したことによりクリンカー鉱物が再生成され、純水に浸漬したことにより再水和して Portlandite が生成したことが示唆された。一方で、表層部では溶解が進行して組織が疎になることが明らかになった。

第 6 章は本論文の総括であり、本論文の成果と今後の方向性をとりまとめた。

以上のように、本研究ではわが国の大型放射光施設において、先駆的な非破壊 CT-XRD 連成法の研究開発に参画して、それを応用し高温や通水作用を受けるセメント系材料の変質現象を微視的に解明しており、建設材料学およびコンクリート工学の発展に大きく寄与するものである。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。