



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Evaluation of transport properties of cement-based materials subjected to water attack using non-destructive integrated CT-XRD method [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	TAN, Yingyao
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15849号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91969
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	TAN_Yingyao_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 TAN Yingyao

審査担当者 主査教授 杉山 隆文
副査教授 松本 高志
副査教授 長井 宏平
副査准教授 橋本 勝文

学位論文題名

Evaluation of transport properties of cement-based materials subjected to water attack using non-destructive integrated CT-XRD method

(非破壊 CT-XRD 連成法を用いた水の作用を受けたセメント系材料の輸送特性の評価)

コンクリートは、構造安全性に加え物理化学的に安定しており、原子力発電所における原子炉建屋や放射性廃棄物処分施設の構築にも使用されている。しかし、コンクリートが長期間水に接触することで、主要なセメント水和物である水酸化カルシウムやけい酸カルシウム水和物からカルシウムが分解してイオンとして溶出する。結果的にコンクリート内部の空隙が粗大化して、輸送特性が増大するとともに耐荷力が低下する。この溶脱現象は、ダムなどの水利施設で使用するコンクリートでは通常問題とならないが、放射性廃棄物処分施設のように超長期間地下水と接する場合、その影響を調べるのが重要であり、これまで多くの研究が実施されてきた。また、廃炉作業が進められている福島第一原子力発電所のコンクリートは、冷却水の投入により長期間水と接しており、放射性核種の浸透を把握するためには、溶脱による影響を調べる必要がある。しかし、溶脱によって劣化したコンクリートの輸送特性に関して、その微細構造の不均一性を考慮した定量的な研究はほとんど見当たらない。

本研究では、溶脱の影響下でコンクリート構造内部の主要相であるセメントペーストおよび骨材界面(遷移帯:Interfacial Transition Zone, ITZ)がどのように挙動するかを、輸送特性の観点から調べることを目的としている。また、微小供試体(直径 3mm 高さ 6mm)を用いて、微視的な詳細分析が可能な非破壊 CT-XRD 連成法を適用することで、溶脱現象を短期間で再検証するとともに、輸送特性を定量化することを目的とした。

微小供試体に対する溶脱実験は、純水を用いた自然拡散に基づいて実施した。所定の期間溶脱した供試体は、放射光 X 線源を用いた非破壊 CT-XRD 連成法により詳細分析した。そして、溶脱によって変質した供試体の高精度な三次元幾何情報を CT 画像から解析するとともに XRD 分析からセメント水和物の分布情報をそれぞれ非破壊で取得した。これにより、33 日間の浸漬試験によって、X 線吸収係数および水酸化カルシウム分布に基づく溶脱フロントを定義して、それぞれ変質領域および非変質領域を特定することができたとしている。また、遷移帯では変質領域がより深部まで進行することを明らかにした。さらに、あらかじめ炭酸化させた微小供試体においては、カルサイトの生成によって、溶脱試験によるカルシウムイオンの溶出が抑制されることを確認している。

溶脱実験後の供試体から CT 画像を取得して、その画像解析処理としてクラスターラベリングによる空隙構造を抽出し、さらにランダムウォークシミュレーションを実行して、変質領域、非変

質領域、遷移帯の各相に対して、輸送特性を定量化している。輸送特性はカルシウムイオン拡散係数へ換算した。これにより、変質領域の拡散係数は非変質領域に対して約 50 倍増加すること、ITZ では非変質領域に比べて約 10 倍増加することを明らかにした。変質領域、非変質領域、遷移帯の溶脱状況を模擬するため、画像解析によって求めた拡散係数を既存のイオン同時輸送モデル (SiTraM) の入力値として用いている。模擬計算結果は、実験から得られた溶脱状況を可視化した CT 画像と比較的よく一致することを示した。さらに、複数骨材を有するコンクリートをモデル化して、10 年後の変質状態を推定することによって、溶脱フロントはコンクリート内部の深さ 6.2 から 7.2mm の範囲に及ぶこと、ITZ でフロントはより進行することをそれぞれ模擬計算から示した。また、一次元拡散計算から溶脱とストロンチウムイオンの浸透が生じる場合を模擬することで、溶脱の進行によって浸透深さが増大する一方で、炭酸化はその浸透を抑制することを示している。

これを要するに、著者は、水と接するコンクリートの溶脱現象を非破壊 CT-XRD 連成法から短時間で調べる手法を確立するとともに、将来予測に必要な輸送特性を画像解析によって定量化する方法を新たに提案しており、コンクリート工学に貢献するところ大なるものがある。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。