



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Application of X-ray CT to the study of microstructure and diffusivity in cementitious materials [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Darma, Ivan Sandi
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11452号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55522
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Ivan_Sandi_Darma_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	Ivan Sandi Darma
審査担当者	主 査 教 授	杉山 隆文	
	副 査 教 授	上田 多門	
	副 査 教 授	名和 豊春	

学位論文題名

Application of X-ray CT to the study of microstructure and diffusivity in cementitious materials
(X 線 CT を用いたセメント硬化体の微細構造と拡散性状に関する研究)

本研究では、X 線 CT 法をセメント系硬化体研究へ応用して、その微細構造体の解明や物質移動性状を調べている。X 線 CT 法は、医学分野で実用化され、材料学研究へも応用されて、その技術も高度化されている。土木工学分野では、地盤工学への応用が先駆けであり、セメント系硬化体への展開は最近になってからである。このような観点からも本研究の新規性や独創性は高く評価される。本研究で開発された技術は、放射光 X 線 CT およびマイクロフォーカス X 線 CT の 2 種類を採用している。

低アルカリ型のセメント硬化体は、放射性廃棄物処分施設での利用が検討されている新しい材料である。普通セメントペーストを使用した場合、超長期間、地下閉鎖空間で生じる地下水による浸食作用で、周辺環境をアルカリ雰囲気へ変えることが懸念されている。これを緩和する目的で低アルカリ型のセメント硬化体が開発されたが、その微細構造体の進化や地下水浸食に対する抵抗性について十分な解明がなされていない。そこで、放射光 X 線 CT を用いて、解像度を $0.5 \mu\text{m}$ /ピクセルまで高めて、微細構造体の 3 次元構造の進化の過程を、養生期間が 2 から 146 日まで追跡して明らかにしている。引き続き電気的手法を用いて溶脱を促進して浸食後の構造体の変化を定量化している。その結果、低アルカリ型のセメント硬化体の空隙率は、146 日までの養生後で若干大きくなるが、その後の溶脱の影響は小さく、拡散シミュレーション (RWS) では普通セメントを用いた場合よりも低減できることを明らかにした。合わせて、X 線吸収係数を比較することで、溶脱前後の水和物組織の変質が小さいことも示している。

ひび割れは、構造物の耐久性を低下させる要因であるが、ひび割れ空間の定量化および拡散性はこれまで直接明らかにされたことはない。本研究では、 $10 \times 20 \times 60\text{mm}$ の小型はりおよび直径 20mm 、高さ 40mm の円柱供試体を作製して、それぞれ曲げひび割れおよび割裂ひび割れを発生させた。実験では、最大骨材寸法が 1.7ϕ のモルタルを使用している。そして、マイクロフォーカス型 X 線 CT を用いて、屈曲度および収斂度をパラメータとしてひび割れ空間を定量化した。収斂度は、任意微小ひび割れ空間における最大幅の分布から、その最小値と最大値から計算している。その結果、配合やひび割れ開口幅に関わらず屈曲度は 1.15 から 1.25 であるが、収斂度はひび割れ経路に存在する空隙に大きく影響を受けることを明らかにした。フライアッシュモルタルの収斂度は、ひび割れ開口幅が同程度の普通モルタルよりも大きくなることを示した。

X 線 CT 法の適用は、ひび割れの拡散性の研究へと拡張されて、独創的な知見を提示することになった。すなわち、炭酸セシウム溶液をトレーサとして拡散因子の代替として画像化して、ひび割

れ空間の拡散性状を調べている。拡散は、ひび割れ空間の飽和度に支配され、エアポケットを避けて生じる現象であることを初めて明らかにした。また、ひび割れ中の拡散性は、ひび割れ開口幅と収斂度に影響を受けるとしているが、これらはひび割れ空間の飽和度に関与しているために間接的な理由によるとしている。本実験では、ひび割れ開口幅が同程度の普通モルタルと比較して、フライアッシュモルタルでは、ひび割れ側面からマトリックス (ひび割れなしの領域) への拡散が低減されることを確認している。

X 線 CT 法は、CT 装置内でその場引張試験を実施して、セメントペーストの力学的な挙動を観察する研究へ適用された。コンクリートは脆性的な挙動を示す構造材料であるが、引張作用下の破壊の起点を調べることで、引張抵抗が高まる材料開発が可能になる。その場試験は特殊な装置内での実験であり、荷重のコントロール機構など試験治具のさらなる改良が必要と結論しているが、ペースト内のマーカを追跡することで、変位測定が可能であることを示した。最近、コンクリート構造物の火害事例が報告されており、コンクリートの耐火性と火害後の修復性が研究されている。本研究における X 線 CT 法の応用研究は、火害を受けたコンクリートのひび割れを 3 次元可視化するとともに、再養生効果をひび割れ閉塞の観点から調べることに拡張された。再養生効果は、従来間接的な評価に限られていたが、X 線 CT 法を適用することで直接、閉塞状況を観察することにつながり、より合理的な評価を可能にした。

以上を要するに、本研究では X 線 CT 法がセメント系硬化体研究へ幅広く利用できることを明らかにするとともに、現象把握に対して単なる 3 次元可視化に留まらずに物理性状の定量化や化学変化の同定も可能であることを示しており、セメント系硬化体の微細構造に関する貴重な知見を提示し、建設材料学およびコンクリート工学の発展に対して貢献すること大なるものがある。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。