



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Bond behavior and degradation mechanisms of Multi-functional Fabric Reinforced Cementitious Matrix (MFRCM) composites used for ICCP-SS [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Zhu, Miaochang
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14239号
Issue Date	2020-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/79413
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Zhu_Miaochang_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 Zhu Miaochang

審査担当者 主 査 准教授 松本 浩嗣
副 査 教 授 松本 高志
副 査 教 授 杉山 隆文
副 査 特任教授 横田 弘
副 査 教 授 上田 多門 (深圳大学)
副 査 教 授 Zhu Ji-Hua (深圳大学)

学位論文題名

Bond behavior and degradation mechanisms of Multi-functional Fabric Reinforced Cementitious Matrix (MFRCM) composites used for ICCP-SS
(ICCP-SS 工法に用いる多機能型繊維補強セメント系複合材料 (MFRCM) の付着挙動と劣化メカニズム)

電気防食と力学的補強を組み合わせた ICCP-SS (Impressed Current Cathodic Protection and Structural Strengthening) 工法が開発され、鉄筋腐食による劣化とそれに伴う性能低下が懸念されるコンクリート構造物への適用が期待されている。本工法では、炭素繊維を用いた多機能型繊維補強セメント系複合材 (MFRCM) を、電気防食と補強を同時に行うためにコンクリート表面に設置する。MFRCM に含まれる炭素繊維は、電気防食の陽極として用いることによるアノード分極と、補強材として用いることによる応力の作用を同時に受ける。異種材料間の付着は複合材の力学挙動に大きく影響するが、特にアノード分極の影響に関して、MFRCM の付着挙動を詳細に検討した事例は少ない。

本論文は、MFRCM のアノード分極下での付着挙動に関する実験および解析を行い、モデル化したもので、6 章と付録から構成されている。1 章では、研究の社会的背景、関連する既往の研究とその課題点、研究目的、論文構成が説明されている。

2 章では、種々のセメントマトリクス中に埋め込まれた炭素繊維単系の引抜き試験から、付着すべり挙動が検討されている。その結果、炭素繊維単系の付着すべり関係は概ねトリリニア型で表すことができることが明らかになった。また、炭素繊維単系に作用する引張応力が引張強度に達すると破断が生じることから、破断が生じるために必要な最小の埋込み長さを定義し、モデル化している。

3 章では、セメントマトリクス中に埋め込まれた炭素繊維束 (単系の集合体) の付着試験から、繊維束へのマトリクスの浸透が付着挙動に及ぼす影響が検討されている。その結果、マトリクス中に埋め込まれた炭素繊維束は、マトリクスの浸透の影響を受ける outer part と、そうではない inner part に分けられることが明らかになった。画像分析を基に、本研究で対象とした炭素繊維束に関しては、約 30 パーセントが outer part であったことが言及されている。また、マトリクスと炭素繊維束の outer part、炭素繊維束の outer part と inner part の間に存在する界面 (それぞれ outer interface、inner interface と呼ぶ) に対して、付着すべり関係が付着試験結果からモデル化されてい

る。構築した付着すべりモデルを使った有限要素解析を行い、実験結果を良好に再現できることが確認されている。さらに、outer interface と inner interface における応力伝達挙動と outer part および inner part が引抜き力に抵抗するメカニズムが解析結果から検討されている。

4 章では、MFRCM を電気防食の陽極として用いる際に生じるアノード分極が炭素繊維束に与える影響を検討するため、電気防食が構造物の供用中に継続して実施されることを想定して、構造物の供用期間に応じて時間と電流密度を変化させて MFRCM に通電し、SEM, EDS, FTIP, XPS による劣化分析を行っている。その結果、アノード分極により炭素繊維束と周囲のマトリクスの化学組成と形態が変化し、炭素繊維にひび割れによる損傷が生じるとともに、炭素繊維の表面性状に影響を及ぼすことが明らかになった。

5 章では、アノード分極が付着挙動に与える影響を検討するため、通電した MFRCM の付着試験を行っている。その結果、outer interface と inner interface の両方とも、積算電流量が大きいほど付着強度が減少することが明らかになった。さらに、アノード分極の影響を考慮した outer interface と inner interface の付着すべり関係がモデル化されており、実験結果を良好に再現できることが確認されている。

6 章では、主に 2 章から 5 章の内容から得られた結論が述べられているとともに、今後の課題等が示されている。

付録では、連続繊維補強材とコンクリートの付着すべりに対する新たに提案された一般化モデルが説明されており、主に 3 章、5 章の MFRCM の付着モデルに活用されている。

これを要するに、著者は、コンクリート構造物に対して MFRCM を用いた補強・電気防食の複合工法を提案することを目指して、MFRCM の基本的な付着挙動に加えて、アノード分極が付着挙動に及ぼす影響を明らかにするとともに、それらのモデル化を行っている。これらは、主にコンクリート工学、維持管理工学等の分野において、新たな知見を見出すことに貢献するとともに実務への適用性にも大なるものがある。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があるものと認められる。