HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Investigation on long-term durability of FRP-concrete bond interfaces under moisture conditions [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Shrestha, Justin
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12027号
Issue Date	2015-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/59945
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Justin_Shrestha_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　Justin Shrestha

審査担当者　主　査　教　授　上田 多門
副　査　教　授　名和 豊春
副　査　教　授　横田 弘
副　査　准教授　佐藤 靖彦

学位論文題名

Investigation on long-term durability of FRP-concrete bond interfaces under moisture conditions
(湿潤環境下における FRP とコンクリートの付着界面の長期耐久性に関する研究)

社会基盤施設の劣化や自然災害への備えのためにコンクリート構造物の補強は今後とも重要である. 補強工法の一つに連続繊維補強材 (通常は繊維を樹脂で固めた FRP とする) を既存構造物の表面に接着した FRP 接着工法がある. 接着工法の最大の弱点は FRP と既存コンクリート表面との界面での剥離破壊である. 剥離強度はこれまで多くの研究がなされその推定法もあるが, 劣化環境下の長期性能に関しては, その推定法が確立されているとは言い難い. 例えば, 湿潤環境の影響は研究者によってその結果が異なり, 顕著な劣化を示す場合もあれば, 劣化を示さない場合もある. 各国の設計指針においても劣化環境の影響が十分に明らかにされていない. このような背景の下, 本論文は湿潤環境下の FRP とコンクリートの付着界面の長期耐久性を, 世界で一般的に適用されている 6 つの接着工法を対象に実験的に明らかにしたものである. さらに, 湿潤環境の影響が過去の研究者により異なる結論となっていることへの一つの考察として, 付着界面の粗度が湿潤環境下の付着強度特性に与える影響を明らかにしたものである. 本論文の内容を章ごとに示すと以下のようになる.

1 章は, 本研究の背景, 研究の流れと目的, 各章の概要を説明しており,2 章においては, 既往の関連の研究の成果として,FRP とコンクリートとの付着界面の剥離特性に関する長期耐久性を概観し, 種々の樹脂からなる FRP との付着界面特性が数週間から 14 年間にわたる湿潤環境や高温環境下で実験的に検討された結果, あるものは著しい付着特性の劣化を報告し, あるものはほとんど劣化がないと報告されているとしている. 劣化に関してはその原因に対して考察が加えられているものの, 劣化の度合いの大きな差異を説明できる状況でないことを明らかにしている.

3 章では, 湿潤環境下の劣化度合いが既往の研究によって異なり, それらにおいて異なる FRP 接着工法を対象としていることに鑑み, 現在世界で広く適用されている 6 つの接着工法を対象に 20 ℃で 18 ヶ月間の湿潤環境下の耐久性試験結果を次のように報告している.6 つの工法とは, 全て炭素繊維を補強材としたもので,4 工法は現場で繊維に樹脂を含浸し接着するもの,2 工法は FRP 成形材を現場で樹脂で接着するものであり,3 工法が日本,2 工法が欧州,1 工法が北米の技術である. 樹脂は 18 ヶ月を通して水分を吸収し続け, 多くの樹脂の引張強度は劣化が見られたが, 吸収水分量と引張強度の低下の度合いには明瞭な関係は見出されなかった. 界面のせん断付着強度は,4 工法においてほとんど劣化を示さず,2 工法は 16 % から 25 % の劣化を示し,1 工法は 34 % のせん断付着強度の増加を示すという具合に結果が異なっていた. 剥離破壊モードがコンクリート表面の凝集破壊ではなく付着界面剥離の場合に劣化が明瞭となっていたこと,FRP 成形材を接着したものの方が長期

耐久性に優れていることも合わせて示している. 引張付着強度はせん断付着強度と異なり 6 工法全てにおいて劣化が見られたこと, 湿潤状態を乾燥状態にすると付着強度は少し回復することも本章の中で示されている.

4 章においては, コンクリート付着界面の事前処理方法が, 湿潤環境下の剥離強度の長期耐久性に与える影響に関して, 炭素繊維に現場で樹脂を含浸し接着する工法の 12 ヶ月後の特性として, 次のような成果を示している. 高強度コンクリートに接着する場合, 粗度が低い条件下 (ディスクグラインダー処理) では 30 % のせん断付着強度の劣化が観察されたが, 粗度が高い条件下 (サンドブラスト処理) では 7 % の劣化に止まっていた. 前者の場合, 付着界面剥離破壊とコンクリート凝集剥離破壊の混合モードから付着界面剥離破壊モードへ変わっていたことから, 付着界面での機械的結合は劣化しないが, 化学的結合が劣化することによりせん断付着強度の劣化が生じていると推定している.

5 章では,3 章で示した 6 工法の付着界面特性として, 付着応力-すべり関係を実験的に定式化し, 長期湿潤環境が与える影響を定量的に示している. 付着応力-すべり関係の定式化には, 実験結果を簡便に整理できる Dai らの方法を適用し, 定式化した付着応力-すべり関係に基づくせん断付着強度の推定値が実験値と適合することを示している. 定式化した付着応力-すべり関係には, 湿潤環境の影響を考慮できる剥離破壊エネルギーの推定式とダクティリティー指数の推定式が含まれている. 湿潤環境の影響は最初の 6 ヶ月間で現れ, それ以降は影響の度合いが増えないことも合わせて示している.

6 章は, 本論文の結論と現行設計法への提案, 今後の課題を示している.

以上のように, 著者は, 補強工法の一つである FRP 接着工法における FRP とコンクリートとの付着界面の湿潤環境下の長期耐久性を実験的に明らかにし, コンクリート構造の補強工法の確立に大変有益な知見を得ており, 維持管理工学, コンクリート工学の発展に対して貢献するところが大きい. 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.