

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

研究代表者	氏名(ふりがな)		所属	役職
	中村光(なかむら ひかる)		名古屋大学	教授
研究テーマ	名称	緻密で良く曲がるセメント系材料を用いた補修・補強工法		
	政策領域	[主領域] 道路資産の保全 [副領域]	公募タイプ	タイプI
研究経費(単位:万円)	平成20年度	平成21年度	平成22年度	総合計
	実績額(税込)を記入。端数切り捨て。 800万円	1,400万円	1,800万円	4,000万円
研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏名	所属・役職(平成23年3月31日現在)			
国枝 稔	名古屋大学・准教授			
丸山 一平	名古屋大学・准教授			
上田 尚史	名古屋大学・助教			
Eugen Brühwiler	スイス連邦工科大学ローザンヌ校・教授			
Emmanuel Denariè	スイス連邦工科大学ローザンヌ校・研究員			
研究の目的・目標 (提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。) 本研究開発では、高強度、高靱性、高い物質移動に対する抵抗性を有する超高強度ひずみ硬化型セメント系材料(UHP-SHCC)を用いて、補修・補強工法の実用化を目指す。 床版の上面増厚工法に関する開発目標 ・物質移動に対する抵抗性の評価、疲労耐久性の確認 ・実大模擬試験体による施工性確認実験 表面保護工法に関する開発目標 ・実大試験体における施工性確認実験(吹付け) ・実構造物による試験施工および経過モニタリング 耐震補強・被災後の早期復旧工法に関する開発目標 ・実験室レベルにおける柱部材の補強効果確認 ・数値解析を用いた耐力、設計方法の確立				

これまでの研究経過・目的の達成状況

(研究の進捗や目的の達成状況、各研究者の役割・責任分担、本研究への貢献等(外注を実施している場合は、その役割等も含めて)について、必要に応じて組織図や図表等を用いながら、具体的かつ明確に記入下さい。)

床版の上面増厚工法の開発について(担当:中村,国枝,Brühwiler,Denariè)

目標の達成状況:概ね達成できた。

理由:

- ・材料および補修部材の疲労耐久性については、既存SFRCと比較して優位性が確認された。
- ・UHP-SHCCのプレミックス化を実現した。
- ・H20年度には製品工場内で、H21年度には名古屋大学内にて試験施工を実施し、施工が可能であることを確認した(これらは外注による)。

表面保護工法の開発について(担当:国枝,丸山,Brühwiler,Denariè)

目標の達成状況:達成できた。

理由:

- ・透気試験,透水試験,電気泳動試験,塩水浸漬試験,促進中性化試験などとおして,UHP-SHCCの物質移動に対する高い抵抗性を確認した。
- ・表面保護工に使用するために吹付け工法を開発した。これにより,被覆厚10mm程度の実現が可能となった。
- ・H22年度には2件の試験施工を実施し,設計・施工方法の妥当性を確認した(これらは外注による)。

早期復旧工法の開発について(担当:中村,国枝,上田)

目標の達成状況:達成できた。

理由:

- ・先述の吹付け技術を使用して,H21年度には柱部材(断面:400×400mm),H22年度には壁状部材(断面:500×1200mm)を対象とした室内実験により,設計の考え方,施工性,およびその補修効果を確認した(これらは外注による)。なお,H22年10月に開催された第10回コンクリート構造物の補修,補強,アップグレードシンポジウム(日本材料学会主催)の最優秀論文賞を獲得した。
- ・3次元有限要素解析により,損傷導入から補修範囲の決定,補修後の構造性能の評価方法について,一連の補修解析が実施できる補修解析手法を提案した。

中間評価で指摘を受けた事項への対応状況

(中間評価における指摘事項を記載するとともに、その対応状況を簡潔に記入下さい。)

(H20年 指摘事項)

・他の同種のセメンテーション材料等の開発状況について、留意しながら研究を進めていただきたい。

同対応:床版の増厚については、既往のSFRCをターゲットに相対的な比較検討を行った。また、早期復旧工法についても、靱性の高い材料を比較対象としてH22年度の実験を実施し、UHP-SHCCの優位性を確認した。

(H21年度 指摘事項)

・既存特許への抵触や類似技術との競合を踏まえ、知的財産権への対応を速やかに行うとともに、早期実用化に向けて積極的に推進いただきたい。

同対応：知的財産の取り扱いについて、国土交通省と現在も協議中である。なお、予防対策として主要内容については論文として公表した。

(H21年度 指摘事項)

・他の材料を用いた補修・補強工法、他の工法との比較が分かるよう、研究を進めていただくとともに、あわせて施工条件についても整理していただきたい。

同対応：施工条件については、限られた時間の中で幅広く検討することができないため、上面増厚工法および表面保護工法については、従来までの施工方法を標準とし、施工性を確認することを基本とした。早期復旧工法に関しては、現段階で想定される施工条件について、研究成果として明示した。

研究成果

本研究では、超高強度ひずみ硬化型セメント系材料（UHP-SHCC）の適用にあたって、床版の上面増厚工法、表面保護工法、早期復旧工法の3つの工法に大別して検討してきた。以下、それぞれについて、得られた知見について概説する。

床版の上面増厚工法の開発について

・材料の疲労耐久性および補修部材の疲労耐久性については、既存SFRCと比較して優位性が確認され、既存の耐力式との整合性についても確認した（図-1参照）。さらに、UHP-SHCCの材料的な特徴を生かした利用法の可能性を提案した。

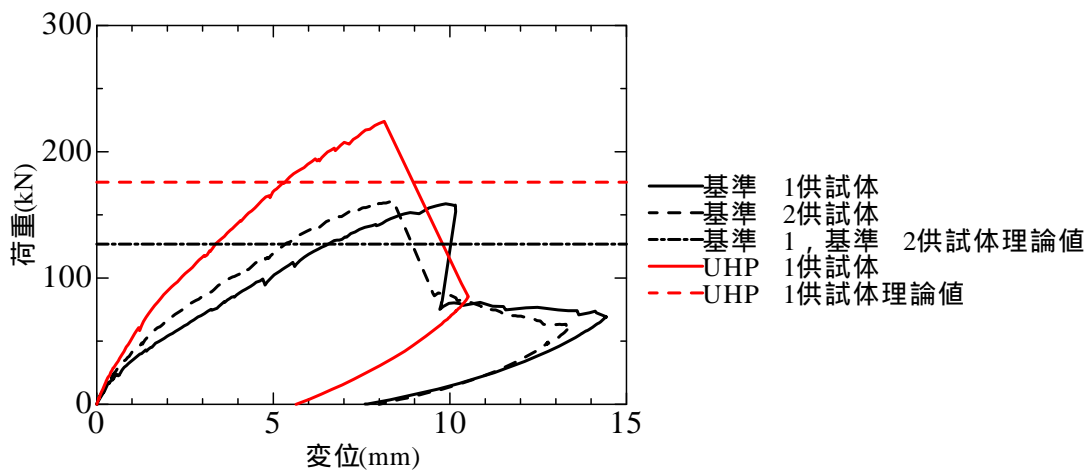


図-1 UHP-SHCCにより補強されたスラブにおける補強効果

・UHP-SHCCのプレミックス化を実現し（図-2）、安定的な品質で製造可能なことを確認した。H20年度には製品工場内のミキサを使用して、練混ぜ試験および敷設施工試験を実施した。H21年度には、バッチ式のトラックミキサを使用して、名古屋大学内にて試験施工を実施した（図-3）。なお、その後のモニタリングにおいて、変状等は確認されておらず、その効果を維持していることを確認した。



図-2 プレミックス化されたUHP-SHCC



図-3 上面増厚の施工試験

表面保護工法の開発について

・透気試験，透水試験，電気泳動試験，塩水浸漬試験，促進中性化試験などとおして，UHP-SHCCの物質移動に対する高い抵抗性を確認した．図-4に10%NaCl溶液に28日間浸漬した際の，UHP-SHCCと普通コンクリート（W/C=0.57）について，EPMAによる塩化物イオンの濃度分布を示す．普通コンクリートの平均侵入深さが15.7mmであったのに対し，UHP-SHCCでは2.2mmであった．さらに，84日間浸漬した場合でも，2.9mmの侵入深さであった．

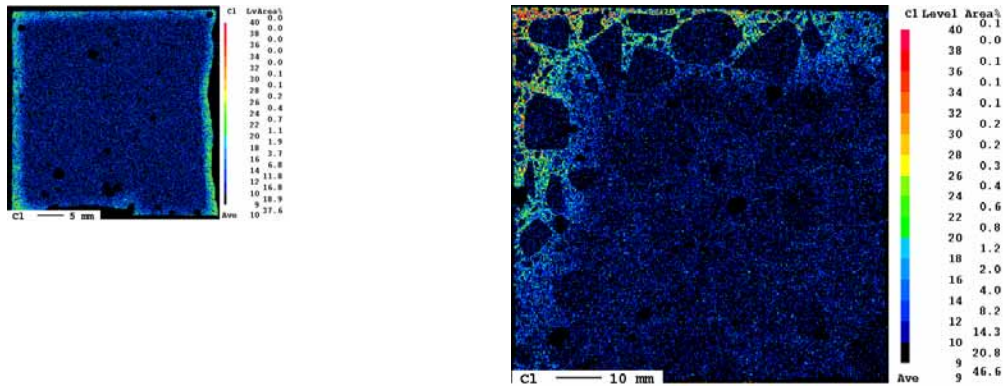


図-4 EPMAによる塩化物イオンの濃度分布（左図：UHP-SHCC，右図：普通コンクリート）

・表面保護工に使用するために吹付け工法を開発した．これにより，被覆厚10mm程度の実現が可能となった（図-5，図-6参照）．



図-5 吹付けの様子



図-6 吹付け面

・補修材の収縮ひび割れ抵抗性を評価に対し，擬似完全拘束試験を提案した．

研究成果（つづき）

・H22年度には，都市内高速道路の壁高欄の表面保護および石川県の塩害地域における高速道路橋脚の表面保護および断面修復への試験施工を実施した．その後のモニタリングにおいて，その効果を維持していることを確認した．



図-7 対象とする壁高欄



図-8 吹付けの様子



図-9 施工後の状況

早期復旧工法の開発について

・先述の吹付け技術を使用して，H21年度には柱部材（断面：400×400mm）を対象とした室内実験により，設計の考え方，施工性，およびその補修効果を確認した．H22年度には，より大きな壁状部材（断面：500×1200mm）を対象に，その効果を確認した．なお，H22年10月に開催された第10回コンクリート建造物の補修，補強，アップグレードシンポジウム（日本材料学会主催）の最優秀論文賞を獲得した．

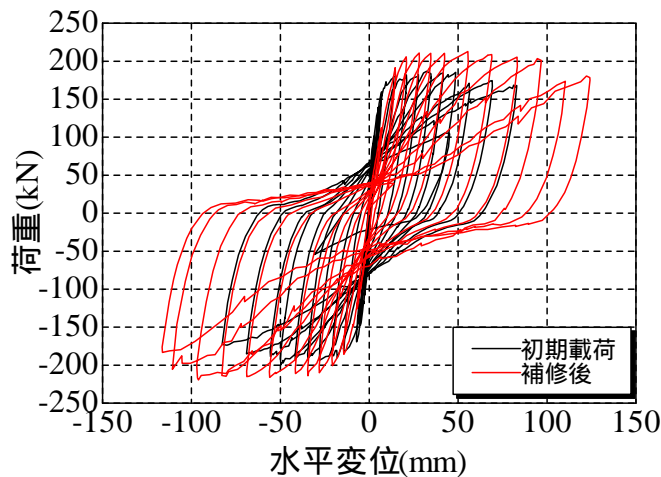


図-10 補修された柱部材の荷重 - 変位関係



図-11 載荷終了時の破壊状況

・3次元FEMを用いた補修解析手法を提案した．

研究成果の発表状況

- (1) 超高強度ひずみ硬化型モルタルの吹付け工法の開発，日本材料学会コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.9，pp.349-354，2009．（査読付）
- (2) 超高強度ひずみ硬化型モルタルの物質移動抵抗性の評価，日本材料学会コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.9，pp.253-260，2009．（査読付）
- (3) Ultra High Performance Strain Hardening Cementitious Composites (UHP-SHCC) for Repair Applications，Proc. of the 4th International Conference on Construction Materials，pp.313-318，2009．（査読付）
- (4) 超高強度ひずみ硬化型モルタルの疲労耐久性，土木学会第64回年次学術講演会講演概要集，V-326，pp.649-650，2009．
- (5) 超高強度ひずみ硬化型モルタルの塩化物イオン侵入抵抗性の評価，土木学会第64回年次学術講演会講演概要集，V-327，pp.651-652，2009．
- (6) 超高強度ひずみ硬化型モルタルの引張疲労耐久性，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，pp.239-244，2010．（査読付）
- (7) 超高強度ひずみ硬化型セメント系複合材料で補修されたRC柱の補修効果，日本材料学会コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.10，pp.349-356，2010．（査読付）
- (8) 超高強度ひずみ硬化型セメント系複合材料を用いた上面増厚工法の施工試験，日本材料学会コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.10，pp.37-42，2010．
- (9) アスファルト敷設時の熱の影響を受けた超高強度ひずみ硬化型モルタルの性能，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，pp.281-286，2011．（査読付）
- (10) 超高強度ひずみ硬化型モルタルの基礎物性と補修材料としての利用法，土木学会論文集，E2，2011（搭載決定）（査読付）
- (11) Rapid jacketing technique by using UHP-SHCC for damaged RC column under seismic loading，6th International Conf. on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC6)，pp.414-421，2011．（査読付）

研究成果の社会への情報発信

「緻密で高強度な繊維補強材料を用いた補修に関するセミナー」の開催

日 時：平成 22 年 1 月 15 日（金）15:00～17:00

場 所：名古屋大学工学部 8 号館 2 階大会議室

参加者：45名

内 容：当該プロジェクトに関連した内容を，名古屋大学およびEPFLから話題提供を行った．

「NHK ウィークエンド中部」において情報発信

日 時：平成23年4月16日（土）7:45～8:00

内 容：当該技術の港湾構造物（防波堤）の長寿命化への発展性について紹介した．

研究の今後の課題・展望等

上面増厚工法について

- ・上面増厚工法に用いる材料への速硬性のニーズが高い。ただし、UHP-SHCCを速硬性にすることで、緻密さなどの特徴が失われることが懸念されることから、詳細な検討が必要である。
- ・輪荷重走行試験による疲労耐久性の検証も今後求められると考えられる。
- ・負曲げ部への適用性は、現段階では難しいことが、本研究にて明らかになったが、例えば、鉄筋等との複合化により、克服できる可能性は極めて高く今後の検討の価値があると思われる。
- ・鋼床版の補強への適用性についても、今後期待されるテーマであると考えられる。

表面保護工について

- ・現段階でも十分に実用化できる。今後は試験施工等によって実績をあげるとともに、塩分浸透などの状況についてのバックデータを取得していく必要がある。

早期復旧工法について

- ・室内実験ではあるが、比較的良好な結果が得られている。ただし、力学性能の回復に対する理論的な説明が求められている。要素実験等も含め、鉄筋の座屈等に関する詳細な検討が引き続き必要である。

研究成果の道路行政への反映

上面増厚工法について

疲労により劣化したRC床版の補修へのニーズは依然として高く、高耐久な補修工法が期待されている。まずは既存材料（SFRC）の代替として試験施工的に使用することで、その効果が検証できると思われる。

表面保護工について

現段階でも十分に実用化できており、より信頼性を高めることで、信頼性の高い長寿命化に資する技術として期待できる。

早期復旧工法について

東海地域においては、数十年以内に東海、東南海地震などが予測されている一方で、東京と大阪を結ぶ重要なインフラも数多く存在する。当該技術の高度化はもちろんであるが、材料の供給体制やより小型化した機材の開発等によって、機動力のある復旧システムとすることで社会からの復旧に対する要請に応えることが可能となる。

自己評価

今回、3種類の工法を対象に、UHP-SHCCの適用性を確認し、実用化に向けた検討を行った。個別の技術毎に、当初の目標を概ね達成できたと考えている。本研究開発をとおして、課題が明確となった部分もあることから、引き続き検討するとともに、今後は、社会への普及を目指して信頼性向上を中心とした検討を引き続き行う予定である。

本研究の成果は、コンクリート構造物の長寿命化政策の中で十分活用される可能性のある要素技術であり、道路橋をはじめとする維持管理において本手法が上手く利用されることで橋梁のライフサイクルコスト低減につながるなど、本研究結果が貴重な役割を果たすものであることは明白と思われる。他方、研究費の投資価値については、成果から見た投資価値は十分にあったものと思われる。