

超高性能繊維補強材料（UHPFRC）を床版補修補強工事に適用

西日本高速道路株式会社 桑原秀明 樺木達也

株式会社大林組 正会員 ○富井孝喜 正会員 大場誠道

株式会社大林組 正会員 青木峻二 株式会社大林道路 富山裕司 福井真男

宇部興産株式会社 正会員 玉滝浩司

1. はじめに

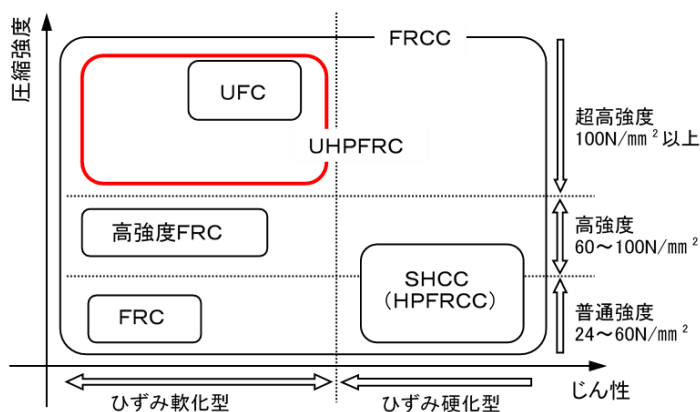
戦後の高度成長期に急速に整備された道路や鉄道等のインフラは、長期にわたる供用と気象変動等の厳しい使用環境において、著しい劣化や変状が進行している。従来の維持修繕では、通行止めを回避できない状態にまで追い詰められている。とりわけ、全国の70万橋を超える橋梁は、大規模更新、大規模修繕が不可欠であり、国、地方自治体、高速道路各社ともにそれらインフラの機能維持に必死で取り組んでいる。

橋梁の主な劣化事象は、床版の疲労劣化、凍結融解作用および凍結防止剤散布による塩害等に起因する床版上面の浮きはく離、土砂化である(写真-1)。通行車両の荷重や通行量の増加や、寒冷地での凍結防止剤の大量散布等による床版の劣化は著しく、大規模更新の多くは旧床版を撤去し、新規にプレキャスト製床版へ交換する工事となっているが、上り線下り線のどちらかを対面通行にして一方を全面通行止めに行っている事例も多い。対面通行側は数か月間ではあるが、交通量が増え床版への負担が増大する。また、車線規制等で交通渋滞を回避するために他の路線へ迂回等する車両による通行量増加による多路線への負荷増も予想される。こういった場合は、対象となる橋梁に対しての補強が恒久的または応急的に必要になる場合もある。補強方法については、既設床版の上面を増厚する工法が採用される事例が多く、鋼繊維を添加した超速硬化性のコンクリート(Steel Fiber Reinforced Concrete: 以下SFRCという)が使用されているが、浮きやはく離なども報告されており、既設床版との一体性等の耐久性の低下が懸念されている。

そこで、筆者らは、超高性能繊維補強セメント系複合材料(Ultra-High Performance Fiber Reinforced Cement-based Composites: 以下UHPFRCという)を使用した床版上面増厚工法を開発した。



写真-1 床版上面の劣化状況



UHPFRC 鋼繊維・有機繊維により補強された超高強度セメント系複合材

図-1 UHPFRCの分類※1

UHPFRCは、コンクリートと比較して、極めて高強度かつ緻密であり、有害因子の浸入やひび割れ等の劣化を防止する可能性を秘めた材料である。本論文では、UHPFRCの分類として、図-1に示す範囲の品質を有する材料と仮定する。

本書では、ネクスコ西日本管轄の高架橋床版に試験施工として実施した事例を紹介する。

キーワード RC床版、上面増厚工法、UHPFRC、高耐久、鋼繊維

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 (株)大林組 生産技術本部リニューアル技術部 TEL: 03-5769-1332

2. 工法概要

上面増厚工法とは、既設の床版上面を10mm程度切削研削して、その上に50mm S F R Cで増厚する工法である(図-2参照)。U H P F R Cによる上面増厚では、超高強度、高引張強度により増厚の厚みを低減できる可能性はあるが、現状ではその設計手法はなく厚みの設定の根拠作りは今後の課題である。

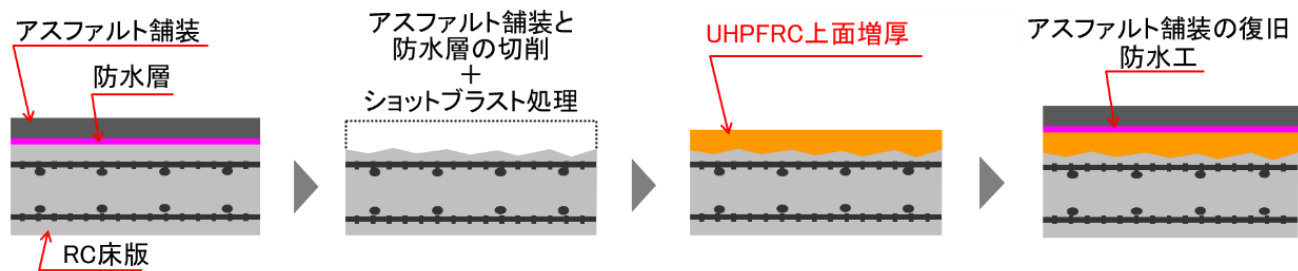


図-2 上面増厚工法概要

しかしながら、U H P F R Cは引張強度が大きく、ひび割れが発生しても鋼繊維が架橋して強度伝達するため、ひずみ硬化型のセメント系材料である。ひび割れに対する抵抗性が大きく、ひび割れが発生してもひび割れ幅が大きくなる特性があることから、従来の S F R Cに比較して、ひび割れ進展による耐力低下や表層の土砂化などの劣化が生じにくい材料である。また、透水係数の小さな緻密な材料であるため塩化物や水などの浸透が表層に限定されることから、防水層の省略または防水層のグレードを落とすこと、もしくは防水性の高いゲースアスファルトとの併用が選択肢になる。防水工の省略、簡素化は、従来の規制時間内での作業工程を減らし、工事による規制期間の短縮を図ることが可能となる。

3. U H P F R Cの配合および仕様

開発したU H P F R Cの配合を表-1に示す。構成材料は、U F C指針に準拠した材料を改良し、早期開放を目的とした超早強材料は粉体系の急硬材を使用する。

U H P F R Cの目標性能を表-2に示す。

表-1 U H P F R Cの配合

プレミックス材 (kg/m ³)	急硬材 (kg/m ³)	膨張材 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	高性能減水剤 (kg/m ³)	遅延剤 (kg/m ³)	超高強度繊維 (vol%)
2004	140	20	210	8～30	4～10	2.0

専用プレミックス材料：常温硬化型結合材

急硬材：市販の粉体急硬材

膨張材：JIS A 6202 エトリンガイト石灰複合系低添加型膨張材

超高強度繊維：長さ13mm、直径0.16mm、アスペクト比81.25

表-2 U H P F R Cの目標性能

項目		目標値	実測値
圧縮強度 (N/mm ²)	材齢3時間	24 N/mm ²	34.8 N/mm ²
	材齢28日	130 N/mm ²	150 N/mm ²
ひび割れ発生強度	JIS A 1113 割裂引張強度	6.0 N/mm ²	9.25 N/mm ²
引張強度	JIS A 1113 割裂引張強度	9.0 N/mm ²	14.0 N/mm ²
接着強度	材齢3時間	1.0 N/mm ²	1.48 N/mm ²
モルタルフロー	JIS R 5201 (静置)	150～280mm	185mm
空気量	JIS A 1128	4.0%以下	3.0%
収縮	試験法439	250μ以下	+210μ



写真-2 モルタルフロー

モルタルフローについては、施工部の勾配に合わせてフロー調整するため、150～280mmと幅を設けており、勾配が大きいほどフローを小さく設定する。実橋では5%，試験では10%程度の勾配に対応できた。フローの調整は、外気温から、高性能減水剤と遅延剤の添加量を設定し調整した。

4. 実橋での施工

実橋での施工は、ネクスコ西日本管内の高架橋 RC 床版で実施した。橋梁の平面図を図-3 に示す。今回の施工は、路肩を含む走行車線 1 車線、3 径間を 3 回で施工するものである。

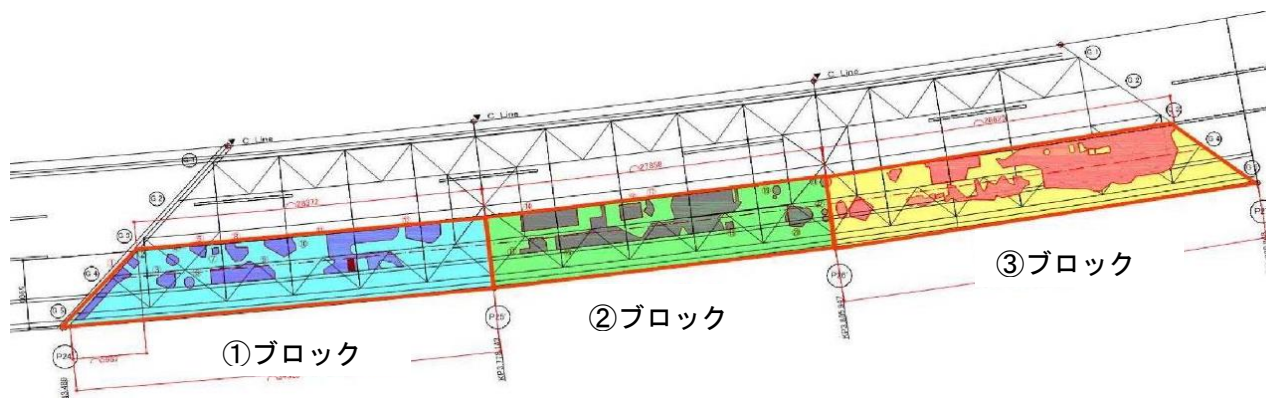


図-3 施工対象径間平面図

劣化状況を写真-3, 4 に示す。重交通の増加などから、RC 床版の上下面において、浮きやはく離が発生しており、途中 S F R C による上面増厚による補強も実施されてはいたが、増厚部のはく離も確認されており、従来の機能が発揮されていなかった。



写真-3 床版上面劣化状況(マーキング部)



写真-4 床版下面劣化状況

(1) 機械配置およびブロック施工

機械配置概要図を図-4 に示す。機械配置は、舗装切削研掃、劣化部除去完了後に行った。ミキサーや発電機等は車上プラントとし、使用材料はユニック車のクレーンで吊り込める範囲に配置した。製造設備は、既存の現場施工用の U F C 練り混ぜ装置を使用した。材料は、0.5m³に計量したフレコンパックを使用し、図-5 に示すフローで練り混ぜを行った。実機での練り混ぜ試験において、超速硬型の U H P F R C については、練り混ぜ時間は20分程度であるが、超速硬であることから毎バッチミキサー洗浄を実施しなければならず、製造サイクルが30～40分程度になること

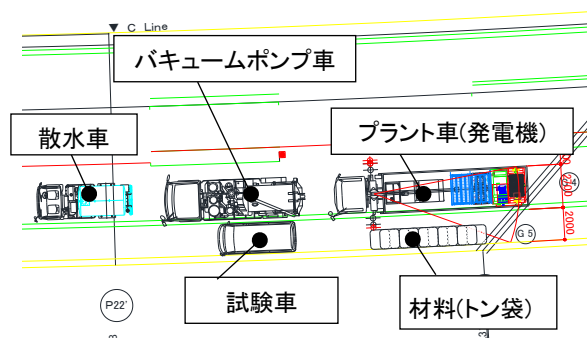


図-4 機械配置概要図

がわかった。このことから、バッチ毎に仕切りの型枠を設け、ブロックごとに施工目地を設けることとした。

施工目地部の処理については、補強材の設置、せん断キーのような形状にすること等も検討したが、短い交通規制時間内での複雑な処理ではなく、今回は鉛直継目に速硬化型2液混合エポキシ樹脂系接着剤を塗布することで対応することとした。

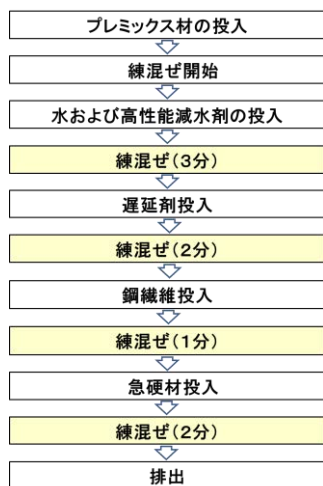


図-5 練り混ぜフロー



写真-5 車上プラント配置状況

劣化除去部は、先行して充填することとした。これは、打ち込み厚さの変化で、UHPFRCの表層の変形性能に影響があると判断し、できるだけ均一の厚さで打ち込み仕上げが行えるようにした。

(2) 施工方法

現場での配合設定は、外気温に合わせた高性能減水材料と遅延剤量をあらかじめ10℃、20℃、30℃、40℃環境温度で試験を実施し、1℃毎に設定した一覧表にて管理を実施した。昼夜間での施工なので、日射を受けるような場合や、勾配の変化に対応できるよう各温度によって、上中下の3段階にフローを調整できるようにしている。

施工状況写真を写真-6～11に示す。一車線規制の狭隘な施工範囲内での作業帯であることから、運搬は手押し車を使用し、締固めは電動振動コテおよび施工ブロック幅に合わせたエンジンかけの大型スクリードを使用した。打ち込みは、UHPFRCの流動性や粘性を考慮し、勾配の高い方から均等に荷下ろしを実施した。ブロック外周部は電動振動コテにて入念に締固めを実施し、必要に応じて、仕上げ助剤を兼用した養生剤を使用した。使用した養生剤は、あと施工するアスファルト舗装との接着性を阻害しないものを選定した。いずれも目標性能を満足できた。また、5%勾配での出来形も良好であった。



写真-6 手押し車運搬



写真-7 打ち込み状況



写真-8 大型エンジンスクリード使用



写真-9 電動振動コテ使用状況



写真-10 接着剤塗布およびポリシート養生実施

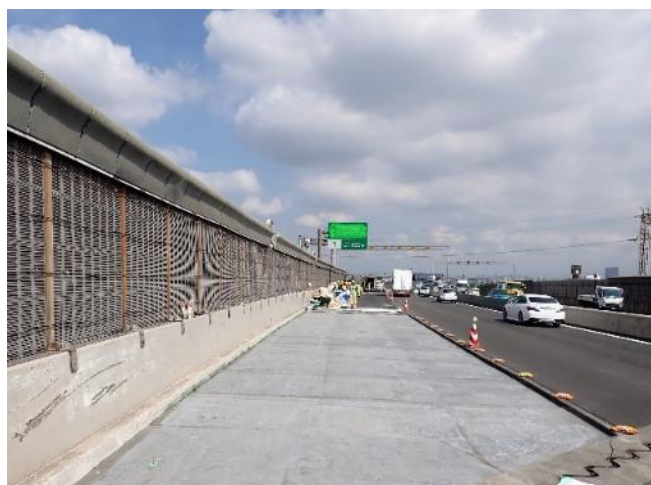


写真-11 上面増厚工完了全景

今回は、既設床版との一体性を考慮して、施工部分全面に接着剤を塗布することとした。接着剤の可使用時間を考慮して、前ブロック打ち込み完了直後にリシンガンにて設定量を均一に吹付塗布した。

打ち込み仕上げ完了後は、UHPFRCの硬化の程度を考慮してポリシート養生を実施した。シート設置が早すぎるとシートのよれや固定用の錘の跡が表層についてしまうためである。

施工サイクルとしては、1バッチ(0.5m³)あたり30～45分程度の練り混ぜ能力で決まる工程となった。

(3) フレッシュ性状

鉄筋下部の充填性を考慮して、断面修復部分についてはフローを上方に設定したが、練り上がり直後のフローは185mm～242mmと比較的安定していた。高性能減水剤や遅延剤の添加量の調整により、練り上がりから30分程度までは、振動コテで締固め仕上げが実施できる性状であった。

今回の施工方法では、練り混ぜから打ち込み仕上げ完了まで各ブロックとも10分程度であったため、直射日光を受ける時間帯でフローの低下が若干速くなる傾向があったが、施工には影響しなかった。

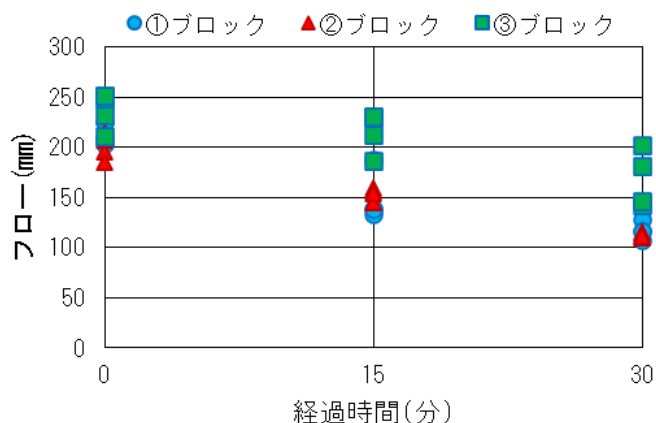


図-6 モルタルフローの経時変化

(4) 強度試験結果

強度試験結果を図-6に示す。材齢3時間で 24N/mm^2 以上、7日でほぼ 100N/mm^2 は越えており、28日で 130N/mm^2 以上と目標強度は達成している。コンクリートの付着強度についても3時間で 1.0N/mm^2 を満足することができた。

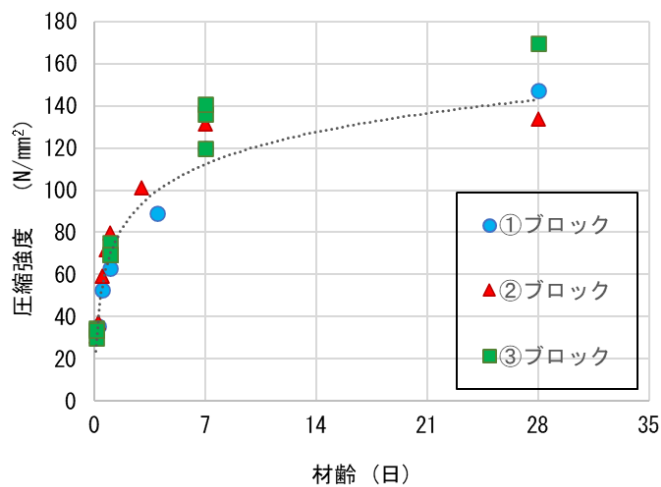


図-7 圧縮強度試験結果



写真-12 建研式付着強度試験状況

(5) 出来形管理結果

出来形測定については、3Dレーザースキャナを併用して測定した。計画高さに対して、 $\pm 10\text{mm}$ 以内に出来形管理ができていた。設計厚さ 30mm に対して、平均厚さは 35.6mm となり、今回の施工方法での施工精度は良好であった。

5. まとめ

UHPFRCを使用した上面増厚工法を実橋へ適用した事例は少ないが、超速硬性による硬化速度の調整や勾配による材料の変形などの問題があり、施工が極めて困難であった事例があるという。今回、筆者らが開発したUHPFRCにおいては、品質も安定しトラブルなく施工が実施できた。アスファルト舗装施工直前まで表面観察を実施したが、ひび割れは確認できなかった。

6. 今後の展望

UHPFRCについては、設計施工指針類が整備されていないことから、明確な設計手法がないため、今後委員会等による制定が望まれる。補修前後での桁の振動、床版下面および上面増厚部のひずみの計測などを実施中で、補修効果の検証を行う予定である。

今後は、輪荷重走行試験等を実施し、高い引張強度を活かした疲労耐久性や既設床版との一体性等の評価をする予定である。

また、今回の施工においては、既存の製造設備にて製造を実施していたため、練り混ぜ時間の長いUHPFRCでは施工時間が大幅に長くなってしまった。大規模修繕に対応するには現状の製造設備では対応できないことから、効率の高い製造設備の開発が不可欠であり、その製造能力に合致した運搬および敷設機械等の開発も重要である。

材料開発を含め、規制期間の短縮も視野に入れた総合的な開発を今後も進めていく予定である。

【参考文献】

- ※1 繊維補強コンクリートの構造利用研究小委員会(第2期)委員会報告 繊維補強コンクリートの構造設計とその課題, I-7, 図1.1.1 土木学会