

UHPFRCによる道路床版打替え・補強工法に向けた実大施工実験

鹿島建設(株)	正会員	工修	○渡邊	有寿
鹿島建設(株)	正会員	工修	柳井	修司
中日本高速道路(株)	正会員	Dr. ès sc.	牧田	通
中日本高速道路(株)			北川	寛和

キーワード：超高性能繊維補強セメント系複合材料，床版打替え・補強，機械施工

1. はじめに

高速道路橋において、RC中空床版橋では凍結防止剤の散布の影響などによる上面の劣化、鋼床版では重交通による疲労損傷が顕在化している。このような状況において、高速道路のリニューアルプロジェクトでは、物質移動抵抗性が高く高強度な超高性能繊維補強セメント系複合材料（以下、UHPFRC）によって床版上面を打替えまたは増厚補強し、耐久性や耐荷性能を向上させるべく、新たな工法を研究開発している。本報告では、その最終段階として実施した大規模な施工実験における場所打ちUHPFRCの施工性および硬化後の品質について報告する。

2. 開発背景

UHPFRC (Ultra-High Performance Fibre Reinforced cement-based Composites) は、圧縮強度が150MPa以上、ひび割れ発生強度が4MPa以上、引張強度が5MPa以上であり、普通コンクリートと比較して透気係数は約1/1,000、塩化物イオン拡散係数は約1/100という優れた強度特性と物質浸透抵抗性を有するセメント系材料である。この



写真-1 海外での施工事例

UHPFRCは、スイスで2004年に初めて現場打ち工法にて橋梁床版の補修に使用されて以降、写真-1に示すような総延長約2kmの大規模なものも含め50橋以上に適用され¹⁾、近年はドイツやアメリカなどでも適用が広がっている。なお、前述の材料特性を有する材料として、日本ではUFC²⁾という呼称で指針類が整備されているが、報告では世界的にみて一般的な呼称であるUHPFRCを用いることとする。

このような背景の中、著者らは高速道路のリニューアル技術のひとつとしてUHPFRCを活用した工法の開発を進めている。既報³⁾でも一部を報告したが、(1)既存UFCの適用性³⁾、(2)材料・配合や要求性能^{4) 5) 6)}、(3)施工方法・施工機械に関する3つに大別し、小規模な施工実験で課題の抽出や工法の実現性に見通しをつけたのち、供試体レベルや部材レベルの詳細検討を重ねてきた。

3. 実大施工実験

3.1 実験概要

これまでの開発において、100L/バッチ程度の試験練り用ミキサ(強制二軸式およびパン型)でUHPFRCを製造した場合、屋外で打込み、常温養生された供試体および部材の強度特性や耐久性は蒸気養生(85℃-24時間)されたものと遜色ないことを確認してきた。一方で、実工事を想定した場合、大型ミキサによって製造され、現場の施工機械によって敷均し、締め固められたUHPFRCの強度特性や耐久性が室内レベルと同等であることを確認する必要がある。そこで、実橋のRC床版や鋼床版を模擬したヤードを用意し、表-1に示すケースおよび着目点にて各種検討を行った。

表-1 検討ケースおよび着目点

No.	施工条件						配合 繊維量 (vol.%)	主な着目点
	想定	充填時 障害物	施工厚 (mm)	勾配 (%)	パイプレタ 回転数	接着剤 区間		
0	RC床版 打替え (耐久性)	鉄筋	100	2	大・小	あり	3.0	・敷均し機械の締固めエネルギー(加速度)の調整
1					小	あり	3.0	・各締固めエネルギーにおける施工性(締固め性)
2					大	あり	3.0	・鉄筋背面への充填性
3					大	なし	2.0	・界面の付着性
4					大	なし	3.0	・フロー低下の想定(流動性・充填性の限界)
5			150		大	なし	3.0	・施工厚(エネルギー伝搬距離)の増加による影響
5			100	9	大	なし	3.0	・最大勾配に対するだれ止め性・施工性
6	鋼床版 増厚 (補強)	スタッド 添接板	40	5	小	あり	3.0	・スタッドや添接板まわりの充填性 ・橋面の不陸と接着剤の塗布厚(だれ, 巻込み) ・締固めエネルギーと鋼床版の共振・振動
7			75				あり	
						2.0		
						3.0		

実験ヤードの規模：幅員 5.0m, 延長 8~12m/ケース

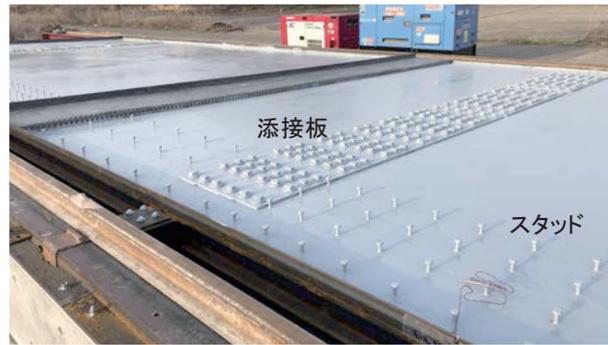


写真-2 施工状況 (RC床版, 鋼床版)

写真-2に施工状況を示す。施工実験ヤードには容量3.0m³の強制二軸式ミキサを用意し、時間あたり3.0m³ (1.5m³/バッチ/30分) の能力でUHPFRCを製造し、2車線規制を想定して打込みレーン(幅員5m)の隣のレーンからホイールローダーにて供給した。敷均し機械には、鋼橋RC床版の補修・補強用の超速硬型鋼繊維補強コンクリート舗装に由来から用いられてきたものを採用し、敷均し~締固め~表面仕上げまでを一方向に連続して施工した。なお、敷均し時の機械の走行速度は0.5m/分で一定とした。

3.2 使用材料および養生

施工実験に用いたUHPFRCは、国内で場所打ちによる橋梁建設⁷⁾に使用された実績のあるエトリングイト生成系UFCを基本に、鋼繊維の混入率を2.0および3.0vol.%の2水準とした。フレッシュ性状は、横断勾配に応じて鉱物由来の無機系粉末(だれ止め材)の量を調整することでコントロールし、モルタルフロー(JIS R 5201, 落下・打撃なし)が175~225mmの範囲で打込みを行った。養生は、打込み直後のプラスチック収縮ひび割れを防止するため、表面仕上げの後には速やかに後続台車からシートをかけたが、翌日には撤去した。供試体は打込み翌日に脱型し、以後は常温養生(封緘なし)とした。

3.3 実験結果

施工実験での測定・評価項目を表-2に示す。本報告では、このうち(1)締固めエネルギーの計測結果、(2)UHPFRCの強度試験結果および(3)UHPFRCの長さ変化測定結果について示す。

(1) 締固めエネルギー

敷均し機械がUHPFRC-床版間の界面を良好に一体化させる締固め能力を備えていることを確認する

表-2 測定・評価項目一覧

測定項目	測定方法	備考
締固め性	加速度	加速度計
	細孔量	水銀圧入法
	付着強度	JIS A 6909 JHS-434
施工性 (打込み時)	打込み性	—
	充填性	目視観察
	表面仕上げ性	
フレッシュ 特性	練上がり温度	JIS B 7411
	モルタルフロー	JIS R 5201
	空気量	JIS A 1128
強度特性	圧縮強度	JIS A 1108
	ひび割れ発生強度	UFC 指針 ²⁾ による
	引張強度	
表面仕上げ性 (硬化後)	平坦性	JHS 220, JHS 223
	すべり抵抗性 (UHPFRC 舗装を想定)	JHS 221, ASTM E 303 ASTM 1911-98
床版の挙動	ひび割れ	目視観察
	全ひずみ	埋込み型ひずみ計
物質浸透 抵抗性	透気係数	Torrent 法
	塩化物イオン拡散係数	UFC 指針 ²⁾ による

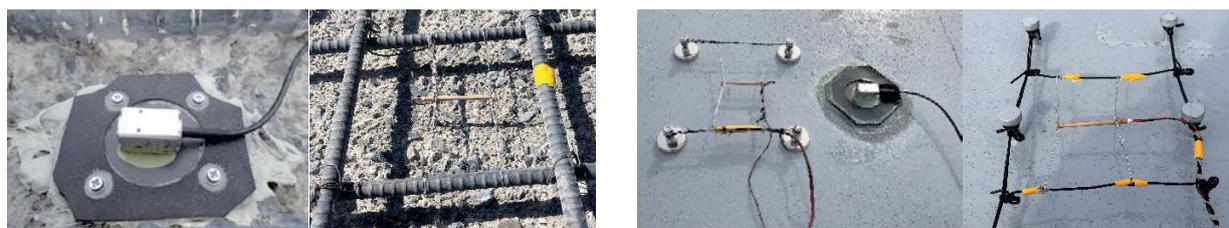


写真-3 加速度計・ひずみ計設置状況 (RC床版, 鋼床版)

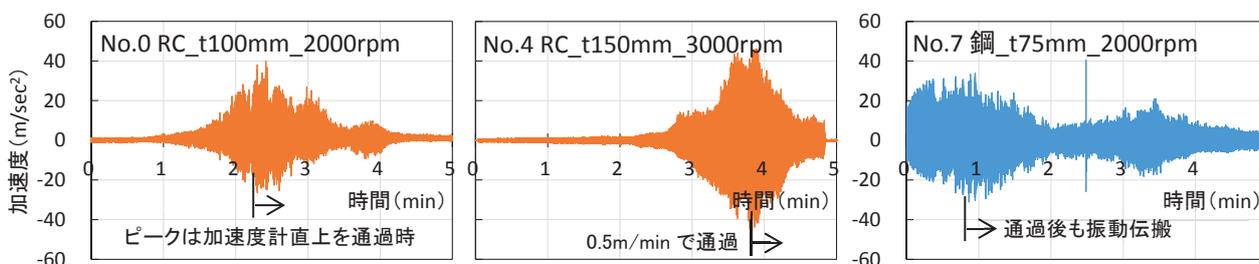


図-1 UHPFRC-床版界面の加速度計測結果

ことを目的に加速度を計測した。写真-3に示すように界面に設置した加速度計は、締固めエネルギーが最も伝わりにくい床版の端部側とした。図-1に結果の一例を示す。RC床版では、UHPFRCの厚さが100から150mmに1.5倍となることに併せて敷均し機械の回転数も2,000から3,000rpmに1.5倍とした場合、回転数の方が卓越していることが分かる。また、鋼床版では、敷均し機械が通過後も振動が伝わっていることが分かる。本計測結果と付着強度の関係については別途報告する。

(2) 強度試験結果

床版と同じ常温環境 (封緘なし) で養生した供試体の強度試験結果の一例 (速報) を表-3に示す。材齢28日時点で、冒頭で示したUHPFRC (UFC) の特性値を満足する結果となっている。供用中、とくに交通量の多い高速道路を補修・補強する場合、早期解放が必要な際には十分な湿潤養生ができない可能性があるが、材齢ごく初期のシート (封緘養生) のみでも強度発現は良好である。今後も材齢を追って評価していく。

表-3 強度試験結果

項目	結果(速報)	
	材齢 7 日	材齢 28 日
圧縮強度 (MPa)	134 最大 137 最小 131	172 最大 177 最小 160
弾性係数 (GPa)	42	46
ひび割れ発生強度 (MPa)	7.5 最大 9.1 最小 5.8	8.2 最大 9.9 最小 6.4

その他項目の結果は別途報告

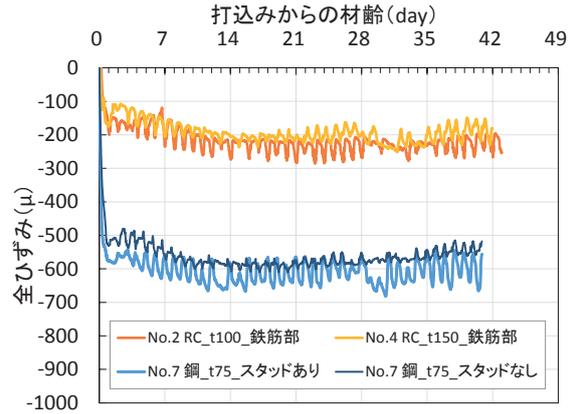


図-2 ひずみ計測結果

(3) 長さ変化

埋込み型ひずみ計によるUHPFRCのひずみ計測

結果を図-2に示す。ひずみは打込み直後から計測しており、材齢1日で急激に収縮していることが分かる。また、この間はシート養生を行っているため、自己収縮が主であると判断できる。ひずみ量は鋼床版に対してRC床版の方が小さい結果となり、既報³⁾での知見と同様にUHPFRCの収縮が周囲の鉄筋や下面のコンクリートに拘束されているためと考えられる。なお、本検討の条件では、RC床版ではUHPFRCの打込み厚さ、鋼床版ではスタッドの有無による影響は小さい結果であった。

床版の拘束によってUHPFRCには引張応力が生じていることになるが、材齢42日の時点ではひび割れは確認されていない。床版の拘束条件とUHPFRCのひび割れ抵抗性やクリープによる緩和特性などの関係について現在分析、整理しているところである。

4. おわりに

高速道路床版の新たなリニューアル工法として、増厚や打替えにUHPFRCを適用するための研究開発の概要と成果について記した。実工事を想定した規模での施工実験によって、これまでの取組みが実装できる見通しがつきつつある。本報で報告できなかった結果や、得られた知見および課題は順次発表していきたいと考えている。

参考文献

- 1) Brühwiler, E. : “Structural UHPFRC” ; Welcome to the post-concrete era!, Proceedings of the First International Interactive Symposium on Ultra-High Performance Concrete, Des Moines, Iowa, July 18-20, 2016
- 2) 土木学会 : 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案), CL113, 2004
- 3) 柳井, 渡邊, 牧田, 北川 : 超高強度繊維補強コンクリートの道路床版打替え工法への適用に関する研究, プレストレストコンクリート工学会 第26回シンポジウム論文集, pp. 469-474, 2017
- 4) 牧田, 北川, 横田ら : 直接引張試験によるUHPFRCの引張特性に関する研究, 土木学会 第72回年次学術講演会 講演概要集, pp. 1083-1084, 2017
- 5) 牧田, 熊谷, 立松, 北川 : UHPFRCにより床版上面を打替えたRC中空床版橋の構造特性に関する検討, 構造工学論文集Vol. 65A, pp. 674-687, 2019. 3
- 6) 渡邊, 高木, 柳井ら : 道路橋床版の打替え・補強工法におけるUFC界面の付着特性に関する検討, 土木学会 第73回年次学術講演会 講演概要集, pp. 277-278, 2018
- 7) 渡邊, 柳井, 入内島, 栖原 : 超高強度繊維補強コンクリート (UFC) を場所打ち施工したPC橋一小滝川橋一, コンクリート工学 Vol. 53, No. 7, pp. 629-634, 2015