

報告

超速硬型のUHPFRCを用いた床版上面増厚の実橋梁への半断面施工の適用事例

青木峻二*, 中村裕司**, 本間順***, 乾誠****, 島田敏英*****¹, 牧野卓也*****²

*工修, (株)大林組, 本社リニューアル技術部 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2)

**(株)大林組, 本社リニューアル技術部 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2)

***大林道路(株), 本店技術部 (〒101-8228 東京都千代田区神田猿楽町2-8-8)

****大林道路(株), 大阪支店京滋営業所 (〒915-0094 福井県越前市横市町22-29-5)

*****中日本高速道路(株), 金沢支社福井保全・サービスセンター (〒910-2177 福井県福井市稻津町16-7)

*****中日本高速道路(株), 金沢支社構造技術部 (〒920-0365 石川県金沢市神野町東170)

床版上面増厚工法の材料として、超速硬型の鋼纖維補強コンクリート (SFRC) に替わる材料として、100N/mm²以上の圧縮強度を有する超高性能纖維補強セメント系複合材料 (UHPFRC) が注目されている。UHPFRC は、自己充填性を有する流動性から確実な充填が期待でき、緻密なマトリックスを形成することで遮水性、遮塩性等にも優れた材料である。本報文では、橋長 26m の PC 合成桁の床版上面に對して、高速道路片側 2 車線のうち 1 車線規制で超速硬型 UHPFRC を用いて上面増厚を行った事例を報告する。

キーワード: UHPFRC, 超速硬型, 床版上面増厚, 半断面施工

1. はじめに

既設の床版は、輪荷重の繰り返し作用によるコンクリートの土砂化や鉄筋かぶり部の浮き・はく離、塩化物イオンの侵入による鋼材腐食が発生することがある。その対策として行われている床版上面増厚工法（以下、本工法）では、SFRC が使用されているが、耐久性の向上などを目的として、近年、SFRC の代替材料として、高強度かつ緻密な UHPFRC を床版上面増厚に用いることで既設床版の補修を行う検討が行われている¹⁾。

UHPFRC は、製造や施工に関する技術的な知見が少ないことなどから、供用中の実橋梁での施工事例²⁾は少ないが、UHPFRC を用いた本工法の適用を拡大するうえで供用車線での施工は重要となる。本報文では、供用中の高速道路の片側 2 車線のうち 1 車線規制の中で超速硬型 UHPFRC を製造し、機械による連続打設を初めて行った事例を報告する。

2. UHPFRC を用いた床版上面増厚工法

本工法は、既設床版の上面を 10mm 程度切削して、表面を研掃したのち、SFRC を 50mm 以上増厚することが一般的であるが、耐久性の向上などを目的として増厚層を SFRC から UHPFRC (30~40mm 程度) に代替したものである。

UHPFRC は、超高強度の材料で緻密であることに加えて、ひび割れ発生強度が高く、鋼纖維の多量混入により、ひび割れが発生してもその幅が大きくなりにくい特性があることから、SFRC と比較して、ひび割れの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、UHPFRC による本工法では、SFRC と同様の施工方法ではあるが、超高強度材料という特性と粗骨材を混入しないことから、SFRC より薄層での補強が可能となり、長期耐久性にも優れている³⁾ (図-1)。

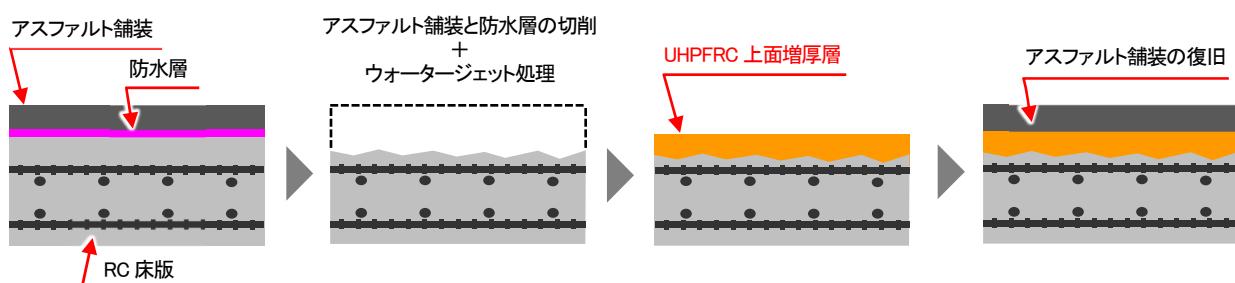


図-1 上面増厚工法施工ステップ

表-1 使用材料

種類	記号	備考
練混ぜ水	W	
プレミックス材	P	高強度用プレミックス結合材
混合剤	SP	高性能減水剤
急硬材	HA	粉体系
補強用鋼纖維	SF	$\phi 0.16 \times 13\text{mm}$
遅延剤	CR	粉体系

表-2 基本配合

W/P (%)	単位量(kg/m^3)			添加量(kg/m^3)		
	W	P	SP*	HA**	SF	CR
10	210	2024	8~30	140	157	4~10

*: 練混ぜ水に含む **: P に含む

表-3 材料特性

試験項目	材齢	基準値	試験方法	超速硬型 UHPFRC
圧縮強度	28 日	100N/mm ² 以上	JIS A 1108	120N/mm ²
	交通開放時 (1 日)	24N/mm ² 以上		24N/mm ²
ヤング係数	28 日	40kN/mm ² 以上	JIS A 1149	45kN/mm ²
ひび割れ発生強度	28 日	5.8N/mm ² 以上	JIS A 1113	6.0N/mm ²
引張強度	28 日	9.0N/mm ²	直接引張試験 ^⑥	10.5N/mm ²
引張強度時のひずみ	28 日	1500 $\mu\text{m}/\text{m}$ 以上		2091 $\mu\text{m}/\text{m}$

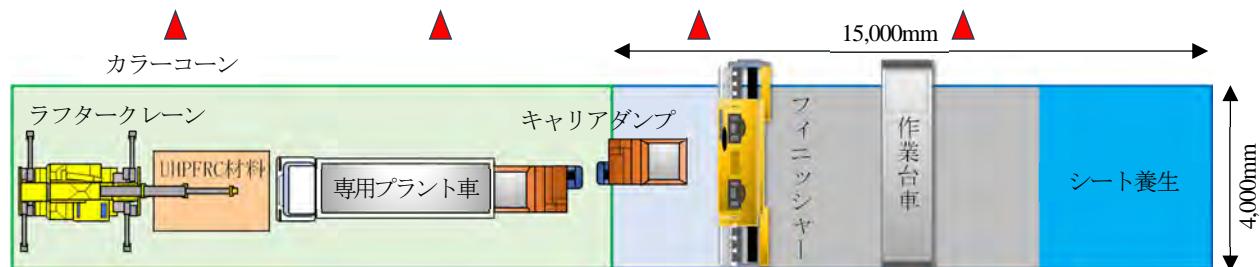


図-2 施工イメージ

2.1 超速硬型 UHPFRC の配合

UHPFRC の使用材料を表-1 に、配合を表-2 に示す。超速硬型の UHPFRC は、「超高強度纖維補強コンクリート（以下、UFC）設計・施工指針（案）」⁴⁾に準拠した材料をベースとし、早期の強度発現性を実現するために急硬材 $140\text{kg}/\text{m}^3$ を使用した。ひび割れに対する抵抗性を確保するため、UFC でも使用されている鋼纖維を 2.0vol.% 添加した。また、可使時間と流動性を調整するために、遅延剤と高性能減水剤を使用した⁵⁾。

2.2 超速硬型 UHPFRC の材料特性

本工事における UHPFRC の基準値に対する超速硬型 UHPFRC の物性値を表-3 に示す。本工事においては、交通開放までの期間は数日間あるが、圧縮強度の交通開放時は次工程の前として、材齢 1 日とした。

3. 試験施工

試験施工は、1 車線規制内での施工を想定して、車線幅 4.0m、延長 15.0m の範囲で実施した。設備や施工範囲のイメージを図-2、写真-1 に示す。

3.1 製造

製造は、超速硬型 UHPFRC 専用のプラント（以下、専用プラント）を使用した（写真-2）。UHPFRC は製造に



写真-1 UHPFRC 製造状況



写真-2 専用プラント

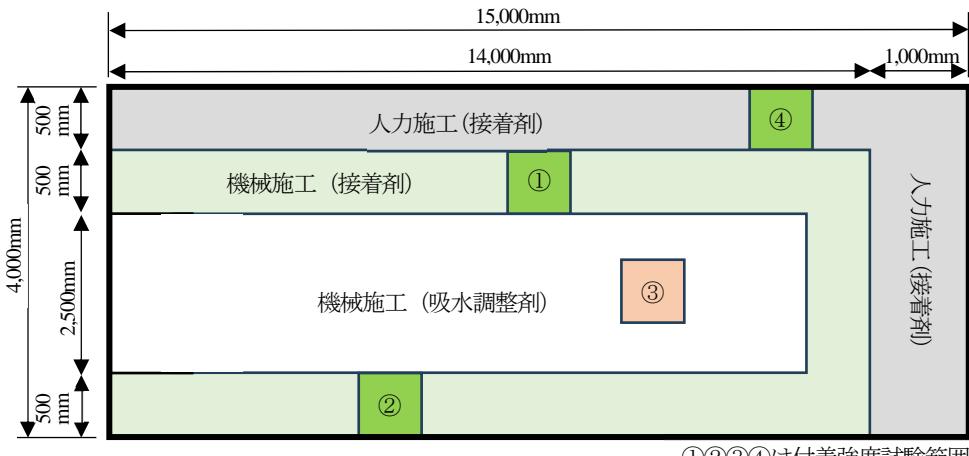


図-3 試験施工平面図

30~40分/バッチ程度かかるため、ミキサ1台で製造すると連続的に打設できることにより施工目地が発生してしまう。そこで、1車線規制内でも連続的に材料を供給するため、1台のプラント車にミキサ(練混ぜ量1.0m³)を2台搭載して、その排出をベルコンで行う専用プラントを用いることで、3.0m³/時間の製造が可能な設備を用いた。なお、専用プラントへの材料投入は、ラフターカーで実施した。

3.2 運搬

運搬には、専用のベッセルを搭載したキャリアダンプ(積載量0.5m³)を2台用いた(写真-3)。キャリアダンプは1車線規制内ですれ違うことができ、Uターンをしないでも両方向に進むことができる仕様とした。

3.3 打設

既設床版との境界面は、既往の研究⁷⁾で一体性を確保できる方法のうち、現場での施工を考慮して、接着剤とアクリル系プライマー(以下、吸水調整剤)を組み合わせて使用した。打設範囲の端部から幅500mmの範囲は、SFRC施工と同様に接着剤を使用した。接着剤を使用しない範囲には吸水調整剤を使用した。人力施工範囲は接着剤を使用した。また、人力施工と機械施工の施工目地は、打設範囲の端部と合わせて接着剤を使用した。平面図を図-3に示す。

まず、本施工では、地覆から0.5mと伸縮装置から1.5mの範囲は、コンクリートフィニッシャー(以下、フィニッシャー)で施工できないため、エンジンスクリード(以下、スクリード)を用いた人力で打設した(写真-4)。人力施工は、専用プラントで0.5m³の製造を行い、キャリアダンプで運搬して、スクリードで敷き均しを行った。

次に、人力施工範囲の硬化を確認後、残りの範囲を機械で施工した。機械施工は、キャリアダンプで運搬してきたUHPFRCをフィニッシャー(写真-5)の前に荷下ろしして、敷きならす方法とした。なお、図-3に示す位



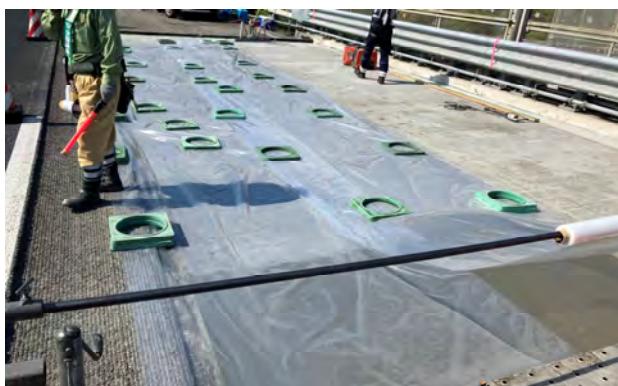
写真-3 キャリアダンプ



写真-4 エンジンスクリード



写真-5 コンクリートフィニッシャー



置①で周囲より 30mm 深く掘り下げた劣化部を想定した範囲をつくり、施工厚さ 70mm とした範囲を周囲の施工厚さ 40mm と同時に一体施工とした。フィニッシャーは、幅 4.0m を速さ 0.6m/分で敷きならすことができる性能を持つことから、施工厚さ 40mm の場合、最大約 5.7m³/時間の施工が可能であるが専用プラントの製造能力から本施工では 3.0m³/時間の施工となった。

なお、人力施工やフィニッシャーの端部は、振動コテ（写真-6）も併用して、確実な締固めを行った。表面仕上げは、フィニッシャーとは別に作業台車を用いて、膜養生材を併用してコテ仕上げを行った。表面が動かない程度まで硬化後、ポリエチレンシートによる養生を交通開放強度（24N/mm² 以上）までおこなった（写真-7）。

3.4 試験結果

フレッシュ性状試験の項目と結果を表-4、5 に示す。モルタルフロー（0 打）は、環境温度や材料温度を考慮して高性能減水剤と遅延材の添加量で調整可能で、橋梁勾配においても仕上げが可能となるよう管理基準を 150～280mm と設定している。本施工におけるモルタルフロー（0 打）は、橋梁勾配が最大 2% と大きくないため、200～230mm を目標として調整した。1 バッチ目は人力施工場所への打設に使用し、2 バッチ目以降は機械施工に使用した。1 バッチ目と 2 バッチ目以降は、外気温が異なる条件であったが、高性能減水剤と遅延材の調整より、同様の性状が得られた。

表-4 フレッシュ性状試験項目

項目	試験規格
モルタルフロー	JIS R 5201: 2015 「セメントの物理試験方法」
空気量	JIS A 1128: 2020 「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法: 空気室圧力方法」
練上がり温度	JIS A 1156: 2014 「フレッシュコンクリートの温度測定方法」

表-5 フレッシュ性状試験結果

バッチ No.	打設場所	外気温 (°C)	フロー (mm)	空気量 (%)	温度 (°C)
			規格値 150～280	規格値 4.0 以下	規格値 10 以上
1	人力	7.3	232	3.1	13.4
2	機械	10.4	217	3.1	17.2
3	機械	10.8	217	3.1	17.0
4	機械	10.6	208	3.1	17.7

表-6 硬化性状試験結果一覧

試験項目	材齢	規格値	試験値
圧縮強度	1 日	24N/mm ² 以上	61.4 N/mm ²
	28 日	100N/mm ² 以上	156 N/mm ²
ヤング係数	28 日	40kN/mm ² 以上	46.8k N/mm ²
ひび割れ発生強度	32 日	5.8N/mm ² 以上	10.0 N/mm ²
引張強度	28 日	9.0N/mm ² 以上	13.4 N/mm ²
引張強度時のひずみ	28 日	1500 μ m/m 以上	1,600 μ m/m

表-7 引張付着試験

位置	施工方法	表面状態	打設厚さ (mm)	番号	引張接着強度		破壊位置
					試験値 (N/mm ²)	平均値	
①	機械	接着剤	70	1	2.41	2.18	界面
				2	2.05		界面
				3	2.08		模擬床版+界面
②	機械	接着剤	40	1	3.11	3.14	増厚層
				2	3.04		増厚層
				3	3.26		模擬床版
③	機械	吸水調整剤	40	1	2.50	2.35	界面
				2	2.46		界面
				3	2.08		界面
④	人力	接着剤	40	1	1.82	2.03	増厚層
				2	2.19		増厚層
				3	2.08		増厚層

硬化性状試験の結果を表-6 に示す。強度試験は、すべての項目で規格値を満足する結果であった。

引張付着試験は、材齢 1 日で実施し、機械施工と人力施工における接着剤と吸水調整剤の施工条件の組み合わせで実施した。試験方法は、NEXCO 試験法 434⁸⁾に準じて、建研式引張試験（直径 ϕ 100mm）とした。全箇所で付着強度の基準値 1.0N/mm² 以上を満足する結果となった（表-7）。なお、本試験の範囲では、機械施工は人力

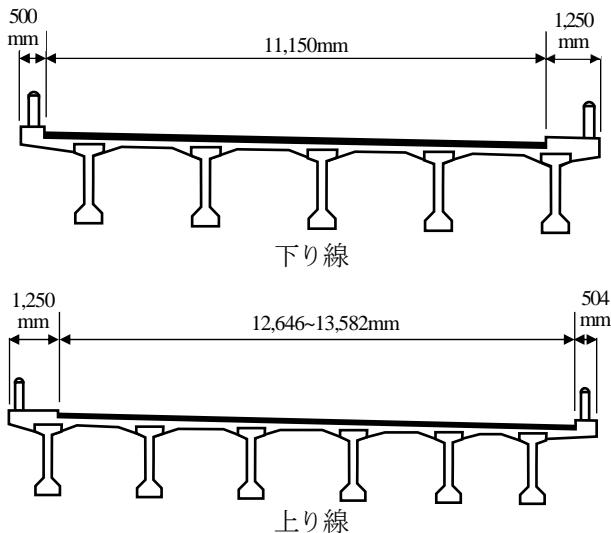


図-4 断面図

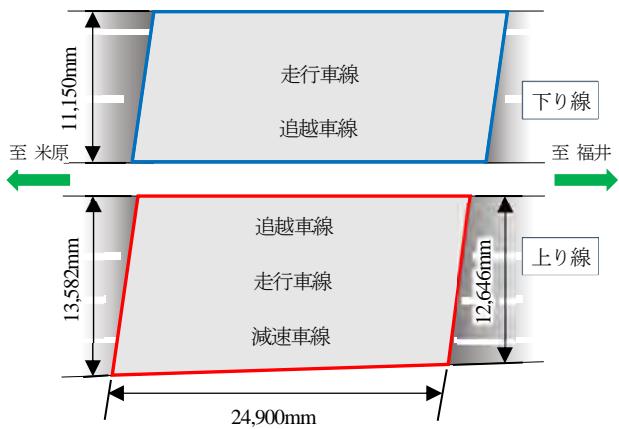


図-5 平面図（打設範囲）

表-8 工事概要

工事名称	北陸自動車道（特定更新等）杉崎第1橋床版増厚工事
発注者	中日本高速道路 金沢支社 福井保全・サービスセンター
施工場所	福井県 越前市 庄町
工期	令和5年10月19日～令和6年10月12日
橋長	25.570m
構造形式	PC単純合成桁
横断勾配	2%
主要工種	UHPFRC工 約0.6千m ² , 橋梁レベリング層用グースアスファルト工 約0.6千m ² , 端部防水工 約0.1千m ² , オーバーレイ工 約0.8千m ²
施工期間	令和6年5月～令和6年7月

施工に比べて付着強度が高くなり、接着剤は吸水調整剤に比べて付着強度が高くなつた。また、打設厚さが厚い場合に付着強度が低くなつた。人力施工と機械施工で打設厚さが厚い場合は、機械施工で打設厚さが薄い場合と比べて、界面位置の締固め能力が低いことが付着強度に影響を与えた可能性はあるが、破壊位置の違いが明確でないことや試験ケースが少ないとから今後の検討が必要である。

4. 実橋梁での適用事例

北陸自動車道杉崎第1橋は、橋長 25.570m の PC 単純合成桁で、武生インターチェンジの近くに位置することから、幅員が下り線で約 11m、減速車線を含む上り線で約 13m と広く（図-4）、施工対象の橋面積は約 600m² であった（図-5）。工事概要を表-8 に示す。

交通規制は、1 車線の昼夜連続車線規制として、上り線と下り線の追越車線と走行車線（上り線は減速車線を



写真-8 専用プラント設置状況



写真-9 フィニッシャー打設状況

含む）を分けて、合計で4回施工した。専用プラント、ラフタークレーンなどの設備は、すべてを車線規制内の作業ヤード内に配置した（写真-8）。

施工は、まず、既設のアスファルト舗装切削後に、既設床版上面をウォータージェットで 10mm はつりとつた。次に、UHPFRC 層 40mm を打設し（写真-9）、その上に防水工として橋梁レベリング層用グースアスファルトを



図-6 全体フロー



写真-10 打設完了

35mm, 最後にアスファルト舗装を 40mm 施工した。全体フローを図-6 に示す。表面状態は、試験施工と同様に接着剤と吸水調整剤の組み合わせとした。

フィニッシャーは、直線的にしか施工できないことやキャタピラーが載る地覆周りは施工することができない。そこで、試験施工と同様に、地覆と伸縮装置の周りを先行して人力で打設した。次に、機械施工として、フィニッシャーで走行車線(上り線は減速車線を含む)を 2 列、追越車線を 1 列として、橋軸方向に並行して、車両走行方向に向けて敷き均しを行った。製造完了から表面仕上げ完了までは、可使時間 40 分以内で実施した。打設後は、交通開放強度までシートで養生を行った。

打設完了後、表面を目視により観察した範囲では、防水工までにひび割れは発生せずに良好な状態を確認した(写真-10)。

5. まとめ

UHPFRC を用いた床版上面増厚工法を実橋梁へ適用した例は少なく、これまでの知見が少なかったが、本事では、供用中の高速道路の 1 車線規制内で材料の製造から機械施工までを初めて実施し、施工と品質の両面において良好な結果を得ることができた。

本適用事例から、1 車線規制内の限られた施工ヤードでも、超速硬型 UHPFRC 専用のプラントを用いて 3.0m³/時間の製造を行い、キャリアダンプとコンクリートフィニッシャーを用いて連続的に施工できることが確認できた。

参考文献

- 1) 牧田通, 渡邊有寿: 既設部材の補修・補強に用いる場所打ち UHPFRC の引張特性および拘束条件下における挙動に関する研究, 土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造), Vol.77, No.3, pp.92-107, 2021
- 2) 富井孝喜, 桑原秀明, 樋木達也, 大場誠道, 青木峻二, 富山裕司, 福井真男, 玉滝浩司: 超高性能繊維補強材料 (UHPFRC) を床版補修補強工事に適用, 土木学会土木建設技術発表会, III-6, 2021
- 3) 佐々木一成, 青木峻二, 富井孝喜, 大場誠道: 超高性能繊維補強セメント系複合材料により上面増厚された床版の押抜きせん断に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.2, 2023
- 4) 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), 2004
- 5) 富井孝喜, 青木峻二, 玉滝浩司, 藤野由隆: 床版上面増厚工法用超速硬型超高性能繊維補強コンクリートの配合設定, 土木学会, 第 77 回年次学術講演会, V-233, 2022.9
- 6) 中日本高速道路株式会社: 試験方法 UHPFRC の直接引張試験, 北陸自動車道(特定更新等)杉崎第1橋床版増厚工事特記仕様書(契約図書), 別紙6, 2023.8
- 7) 青木峻二, 富井孝喜, 佐々木一成, 相本正幸: 床版上面増厚へ適用する超速硬型の超高性能繊維補強セメント系複合材料の一体性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.1, pp.1570-1575, 2023
- 8) 東・中・西日本高速道路株式会社: NEXCO 試験方法第 4 編 構造関係試験方法, 2020.7

(2024 年 7 月 12 日受付)