

報告

床版上面増厚材料「超速硬型 UHPFRC」の舗装の熱影響に関する実験的検討

藤井保也*, 富井孝喜**, 木須芳男***, 榎本みのり****, 塩足蒼天*****, 綾地諒*****

* (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)

*** (株)大林組, 中国道特定更新 JV 工事事務所 (〒651-1504 兵庫県神戸市北区道場平田 867-15)

**** (株)大林組, 中国道特定更新 JV 工事事務所 (〒651-1504 兵庫県神戸市北区道場平田 867-15)

***** 西日本高速道路株式会社関西支社阪神改築事務所 (〒666-0016 兵庫県川西市中央町 10-20)

***** 西日本高速道路株式会社関西支社 (〒567-0871 大阪府茨木市岩倉町 1-13)

超速硬型 UHPFRC は限られた規制時間で床版上面増厚を完了して、交通解放できる材料である。一方で交通解放強度確認直後に高温の舗装を施工するため、UHPFRC への熱影響が懸念された。そこで、試験体を製作、舗装を撤去し、目視確認とともに採取したコアを用いて、透水性試験、反発度計測を行った。その結果、本検討の範囲では UHPFRC に対して舗装の有無による影響が小さいことを確認した。

キーワード: UHPFRC, 超速硬, 床版上面増厚, 舗装, 温度

1. はじめに

道路橋のコンクリート床版の劣化は、大型車の繰り返し輪荷重の疲労による土砂化、凍結防止剤の散布による塩化物イオンを含む水が床版に浸入して鉄筋腐食をさせる塩害、コンクリートの浮き、はく離などがある。

床版上面の補修・補強対策として一般的に超速硬繊維補強コンクリート (Steel Fiber Reinforced Concrete: 以下, SFRC) を用いた上面増厚工法が採用されているが、床版との一体化不足が原因による鉄筋腐食や浮き、はく離等の再劣化が問題となっている。

SFRC の代替材料として高強度で緻密性を有する超高性能繊維補強セメント系複合材料 (Ultra-High Performance Fiber Reinforced Cement-based Composite: 以下, UHPFRC) を床版上面増厚に使用する検討が行われている。

UHPFRC は、超高強度の材料であり、ひび割れ抵抗性が大きく、ひび割れが発生しても発生したひび割れが大きくなりにくい特性がある¹⁾²⁾。また、透水係数の小さい緻密な材料であるため塩化物イオンや水などの浸透が表層に限定される。

交通量の多い路線では、一定期間固定した占有作業帯が設置できない場合があり、日々交通規制を行い工事終了後に交通開放する必要がある。このような作業条件においての上面増厚工法は、超速硬型 SFRC が使用されている。超速硬型の UHPFRC 材料でも打ち込み終了後 3 時間程度で舗装を伴う次工程が実施でき、交通解放を可

能としているが、材齢初期段階で高温のアスファルト舗装 (以下、舗装) を施工するため、UHPFRC への舗装による熱影響が懸念された。

実施工に向け既設床版を模擬したコンクリート試験体 (以下模擬床版) を製作し、UHPFRC での上面増厚および舗装を施工し、各種試験を行った結果を報告する。

2. 使用材料概要

2.1 超速硬型 UHPFRC の基本配合および使用材料

超速硬型 UHPFRC の基本配合を表-1 に使用材料を表-2 に示す。

「超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針 (案)」³⁾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を使用した。施工性を考慮した遅延剤と高性能減水剤の添加量を調整し、必要な流動性と可使時間を確保した。

2.2 超速硬型 UHPFRC の概要

UHPFRC の目標値と実測値を表-3 に示す。モルタルフローは、5~10%の道路勾配においても仕上げが可能となるよう管理基準を 150mm~280mm と設定した⁴⁾。また、従来の SFRC と同等の超速硬性を確保するために、材齢 3 時間での圧縮強度は 24N/mm² 以上、接着強度は 1.0N/mm² 以上、材齢 28 日における圧縮強度は 120N/mm² 以上を目標値とした。

SFRC による床版上面増厚工法は、既設床版上面を 10mm 程度切削、研掃してその上に SFRC を 50mm 以上

表-1 UHPFRC の基本配合

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-2 UHPFRC の使用材料

種類	記号	備考
練混ぜ水	W	上水道水
プレミックス材	P	高強度用プレミックス結合材
混和剤	SP	高性能減水剤
急硬材	HA	粉体系
補強用鋼繊維	SF	φ0.16×13mm
遅延剤	CR	粉体系

表-3 UHPFRC の目標値と実測値

項目		UHPFRC (仕様)	
		目標値	実測値
モルタルフロー (mm)	JIS R 5201 (静置)	150~280	189
空気量 (%)	JIS A 1128	4.0 以下	3.2
圧縮強度 (N/mm ²)	JIS A 1108	24.0(3 時間)	36.2(3.5 時間)
		120(28 日)	139(28 日)
接着強度 (N/mm ²)	JIS A 1171	1.0(3 時間)	1.6(3 時間)

表-4 模擬床版コンクリートの配合

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
	W	C	S	G	SP
53	170	321	830	978	6.42

表-5 模擬床版コンクリートの使用材料

種類	記号	備考
練混ぜ水	W	地下水
セメント	C	早強ポルトランドセメント
細骨材	S	砕砂
粗骨材	G	碎石
混和剤	SP	AE 減水剤

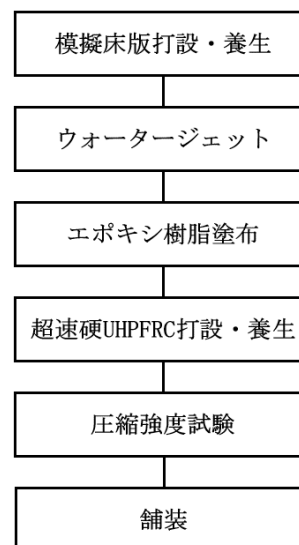


図-1 試験体製作フローチャート

増厚する工法であるが、今回の実施工では、既設床版上面の鉄筋被りが小さく中性化塩害対策として有効な UHPFRC の使用を検討している⁵⁾。本施工で想定している UHPFRC による床版上面増厚工法では、塩化物イオンの拡散係数から耐久性を考慮した結果 UHPFRC20mm でも SFRC と比べて十分な耐久性を確保できることを確認し 25mm 程度の増厚とした。

2.3 模擬床版用コンクリートの配合および使用材料

模擬床版に使用したコンクリートの配合を表-4 に使用材料を表-5 に示す。模擬床版のコンクリートは、RC 床版の設計基準強度 24N/mm² とした。

3. 試験概要

実際の現場では、日々夜間交通規制を行い、UHPFRC 打ち込み後に舗装 80mm を 2 層舗設して仮復旧を行い、交通開放する。また、橋面の UHPFRC 打ち込みがすべて完了した後、仮復旧の舗装を撤去し、橋梁レベリング層用グースアスファルト混合物（以下 BLG）40mm、表層 40mm で本復旧することとなっている。

本試験では、模擬床版に UHPFRC 打ち込み後、交通解放強度 24N/mm² 確認直後に舗装を施工して交通解放することを想定した試験体を製作した。

実施工を想定し、BLG の規定温度 180℃程度⁶⁾で舗設された舗装の熱による UHPFRC のひび割れや強度低下

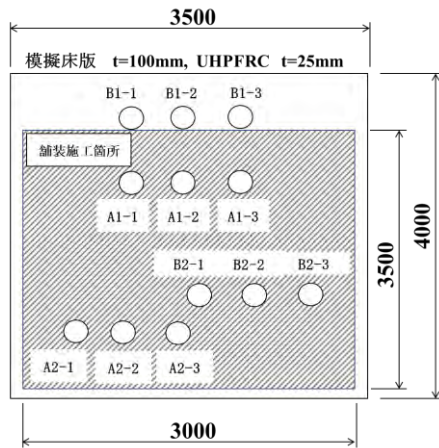


図-2 模擬床版概要図

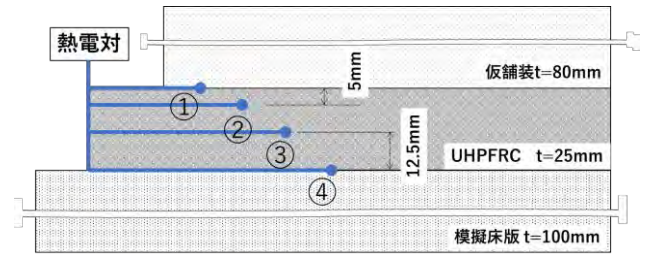


図-3 断面図および温度測定位置



写真-1 UHPFRC 施工状況



写真-2 舗装施工状況

が懸念されたため、透水性試験および反発度測定を実施した。

3.1 試験体製作

試験体製作のフローチャートを図-1に示す。製作した模擬床版および斜線で示した舗装寸法を図-2に示す。

模擬床版コンクリート養生後にウォータージェットにて表面処理を行った。ウォータージェット表面処理完了後、表面が乾燥したことを確認して、2液混合型のエポキシ樹脂接着剤を $1.4\text{kg}/\text{mm}^2$ 塗布し、エポキシ樹脂が硬化しないうちにUHPFRCを打ち込みした。

本試験では、実施工を想定し、UHPFRCの厚さは25mmとした(図-3)。UHPFRC打ち込みおよび敷き均し後は、シート養生を行った。UHPFRC施工状況を写真-1に示す。

アスファルト合材は、仮復旧で使用する表層用混合物タイプA(骨材最大粒径13mm)を使用した。アスファルト合材出荷温度は、BLGの規定温度 180°C より高い 200°C で出荷した。舗装施工状況を写真-2に示す。

本試験では、試験に影響がないため舗装を撤去しやすくようにタックコート等の塗布は省略した。

表-6 試験項目一覧

No	試験種類	供試体種類
A1-1～A1-3	透水試験	表面変色なし
A2-1～A2-3		表面変色あり
B1-1～B1-3	反発度試験	舗装施工なし
B2-1～B2-3		舗装施工あり

UHPFRC施工3.5時間後の圧縮強度は、交通解放目標強度 $24\text{N}/\text{mm}^2$ を超え $36.2\text{N}/\text{mm}^2$ であることを確認した後すぐに舗装を80mmの厚さで施工した。舗装の厚さは、想定される現場での寸法とし、放熱をできるだけ少なくするため1層で施工した。

また、UHPFRCへの舗装の温度による影響を確認するため図-3に示す位置に東京測器研究所製の熱電対を設置した。

3.2 試験項目

供試体の採取は、UHPFRC打ち込みから3週間後に実施した。供試体は、舗装を撤去し、湿式のコアボーリングマシンを使用し、 $\phi 100$ で採取した。採取位置を図-2に示す。舗装の熱がUHPFRCに与える影響を確認



写真-3 舗装撤去表面状況

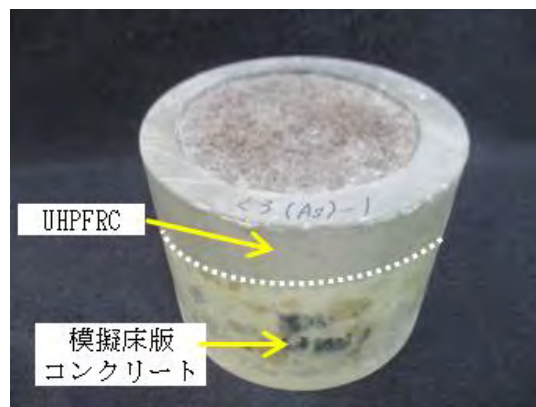


写真-4 透水試験供試体

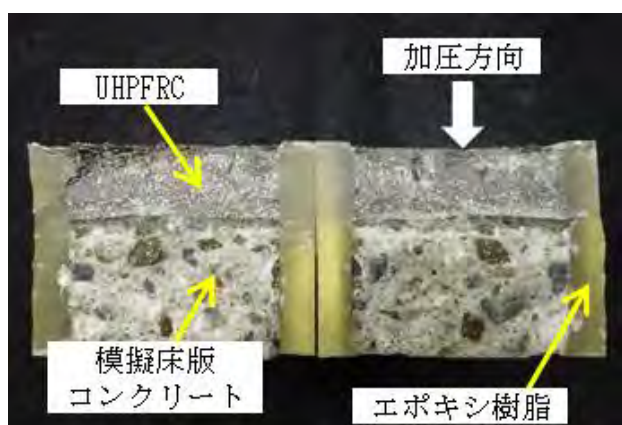


写真-5 供試体割裂状況

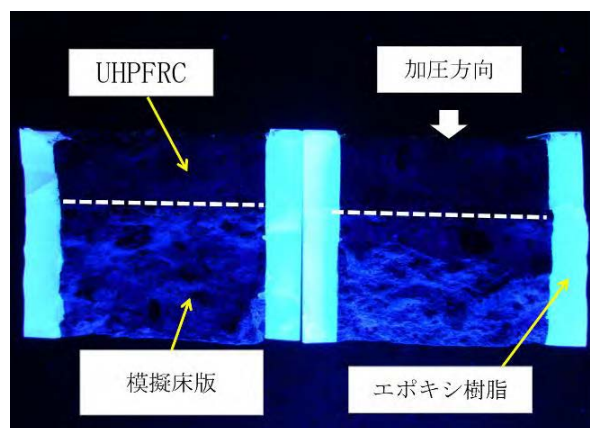


写真-6 供試体溶液確認状況

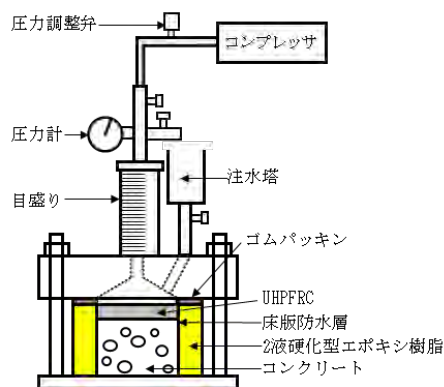


図-4 透水性試験概要図



写真-7 反発度測定状況

する試験の種類は、透水性試験、反発度測定の2種類について行った。各試験は、28日以上経過した後に実施した。試験項目の一覧を表-6に示す。

3.3 透水性試験

舗装撤去後にUHPFR表面を目視確認したところ一部黒色に変化した箇所があるのを確認した(写真-3)。

既往の知見により、アスファルト舗装の敷き均しによ

る熱の影響が大きいと考えられるUHPFRC表面が変色した箇所と変色まで至っていない箇所について透水性試験による検証を行った。UHPFRCの強度は、舗装の施工有り無しの箇所で反発度測定による検証を行った。

試験は、「道路橋床版防水便覧」付録-1 試験方法3. 防水性試験Ⅱ⁷⁾に準じて行った。供試体をφ125mm×95mmの塩ビ管の中央に静置し、UHPFRC側を加圧面とし、周囲に2液混合型のエポキシ樹脂を充填した。エポ

表-7 透水性試験減水量結果

No	減水量 (mL)									減水量 合計	溶液 の浸透
	0~1 分	1~10 分	10~20 分	20~30 分	30~1 時間	1~2 時間	2~3 時間	3~6 時間	6~24 時間		
A1-1	0.9	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	1.5	なし
A1-2	0.8	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	1.4	なし
A1-3	0.9	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	1.5	なし
A2-1	0.7	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	1.4	なし
A2-2	1.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.2	1.7	なし
A2-3	0.7	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	1.3	なし

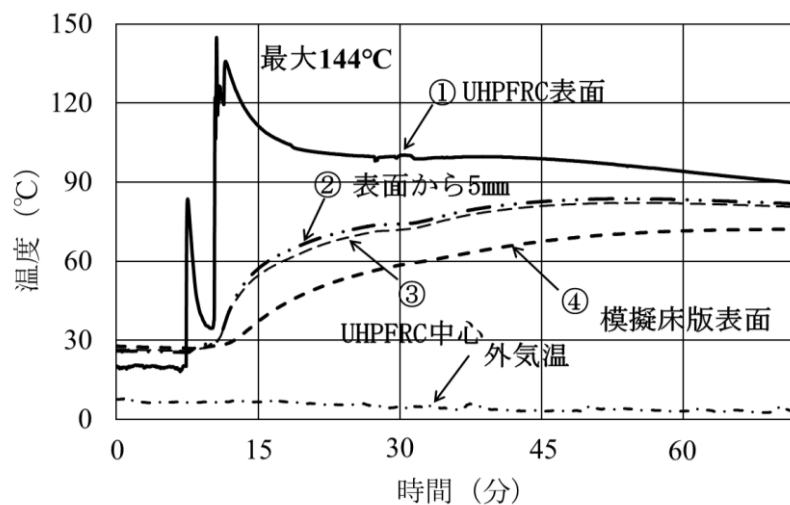


図-5 舗装施工時の温度履歴

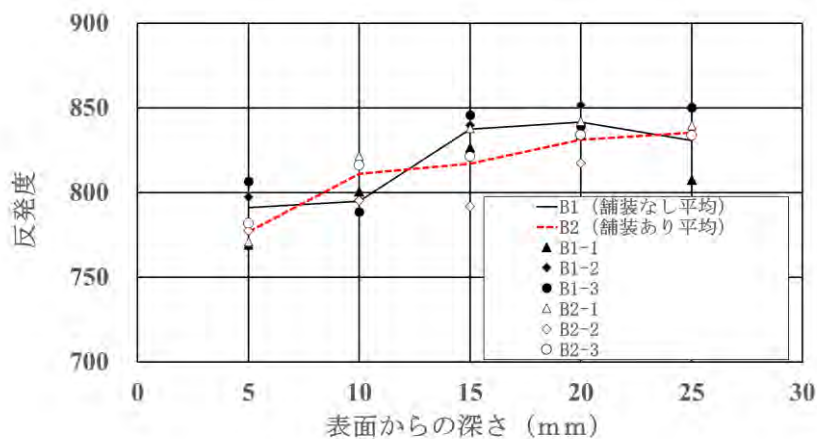


図-6 反発度測定結果

キシ樹脂硬化後、塩ビパイプを取り外し写真-4に示すような円柱状の防水性試験用の供試体を製作した。

透水性試験は、UHPFRC 側を加圧側として透水性試験機に固定し実施した。透水性試験の概要を図-4に示す。

ウラン溶液（以下溶液）を注入口から流し込み、透水性試験機の加圧内部を溶液で満たした。温度 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ の試験室においてコンプレッサーを用いて 0.5MPa の圧

力で 24 時間加圧した。加圧中は、所定時間ごとに溶液の減水量を 0.1mL 単位で測定した。

24 時間加圧後、供試体を試験機から取り外し UHPFRC の加圧面からコンクリートカッターを用いて、切り込みを 20mm 入れた状態で写真-5のように割裂した。溶液の浸透確認は、写真-6のように断面にブラックライトを照射し行った。

3.4 反発度測定

供試体は、図-1に示す舗装のない箇所（B1-1～3）および舗装を施工した箇所（B2-1～3）で各3本φ100のコアにて採取した。反発度供試体採取位置を図-1に示す。

測定は、写真-7のようにコア中心でコンクリートカッターを用いて切断し実施した。反発度測定は、切断面で行い、UHPFRC 厚さ方向に 5mm 間隔とし表面から 5mm, 10mm, 15mm, 20mm の位置で、水平方向に 20 点測定し平均値をとった。測定機械は、写真-7に示すエコーチップピッコロ試験機を使用した。

4. 試験結果

4.1 温度計測結果

温度は、データロガーにて計測した。温度計測結果を図-5に示す。舗装施工時の外気温が約 7℃であった。温度の最大値は、UHPFRC 表面の温度計測箇所①で 144℃を示した。UHPFRC 表面から 5mm の温度計測箇所②および UHPFRC 中心の計測箇所③では舗装施工後約 45 分で最大値約 70℃、UHPFRC 表面④では舗装施工後約 45 分で最大値約 83℃を示した。積算温度は、1 時間あたり計測箇所①で 99.4℃・時間、計測箇所②で 75.2℃・時間、計測箇所③で 73.4℃・時間、計測箇所④で 60.6℃・時間であった。

4.2 透水試験結果

溶液の減水量計測結果および、溶液の浸透状況の結果を、表-7に示す。溶液の減水量は、供試体 A1-1～A1-3 で 1.4～1.5mL、供試体 A2-1～A2-3 で 1.3～1.7mL であった。採取位置による減水量の違いは見られなかった。溶液の浸透状況結果は、すべての供試体に加圧面側から底面側のコンクリートまで溶液が浸透していないことが確認できた。

このことから、舗装の熱の影響による UHPFRC の透水性への影響はないことが確認できた。

4.2 反発度測定結果

測定した平均反発度を図-6に示す。舗装の有無で反発度の違いは確認できなかった。反発度は、表層に近い箇所では低下する傾向が見られた。これは、縁端距離が小さいためと考えられる。舗装の熱の影響による UHPFRC の反発度への影響はないことが確認できた。反発度が変化しないことから UHPFRC の圧縮強度への影響は少ないと考えられる。

7. まとめ

本試験から以下の点が明らかとなった。

- 1) 透水性試験では、全ての供試体で溶液の浸透がないことを確認した。UHPFRC への舗装の熱による透水性の影響がないことを確認した。
- 2) 反発度測定において、舗装の有無による反発度の違いが見られなかった。UHPFRC への舗装の熱による反発度の影響は確認できなかった。

これらの結果より UHPFRC の初期材齢において舗装を敷設することで 150℃程度まで UHPFRC の温度が一時的に上昇することが確認されたが、UHPFRC の温度上昇による防水性への影響および圧縮強度への影響は確認されなかった。

材齢初期に高温履歴を受けていることにより今後はエトリングait遅延生成について確認することとしている。

参考文献

- 1) 青木峻二, 富井孝喜, 佐々木一成, 相本正幸: 床版上面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: コンクリート工学会年次論文集, Vol.45, No.1, 2023
- 2) 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: コンクリート工学会年次論文集, Vol.45, No.2, 2023
- 3) 超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針(案): 土木学会, 2004
- 4) 桑原英明, 樺木達也, 富井孝喜, 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 2021 月)
- 5) 青木峻二, 富井孝喜, 伊藤智章, 伊藤隆紘: 床版上面増厚工法用超速硬型高性能繊維補強コンクリートの物性および耐久性: 令和4年度 土木学会全国大会第77回年次講演会 V-234
- 6) 橋梁レベリング層用グースアスファルト混合物 設計・施工管理要領: 令和2年7月 西日本高速道路
- 7) 社団法人日本道路協会: 道路橋床版防水便覧(平成19年3

(2024年7月12日受付)