第24回 国土技術開発賞 優秀賞受賞

防水層に UFC を用いた プレキャスト PC 床版

UFC とコンクリートの合成構造である UFC 複合床版

〔受 賞 者〕 東日本高速道路株式会社/株式会社大林組

はやし ひでかず

さ さ き かずなり

〔本稿執筆者〕 東日本高速道路株式会社 林 秀和 / 株式会社大林組 佐々木 一成

以下に, 第24回 国土技術開発賞 優秀賞 を受賞した「防水層に UFC を用いたプレキャスト床版」を紹介します。

1. はじめに

東日本高速道路株式会社(以下,NEXCO東日本)では、平成27年3月から高速道路リニューアルプロジェクトとして、橋梁やトンネルなどの大規模な更新工事を実施している。橋梁の床版取替では、既設橋の劣化したRC床版をこれまでより耐久性の高い床版に取り替えることとしており、プレストレストコンクリート床版が標準として採用されている。また、施工中の工事規制の影響をできる限り最小化するために、プレキャスト床版を広く採用し、工程の短縮に努めている。

こうした中、橋梁の床版取替では、床版のさらなる高耐久化と通行規制時間の短縮が求められている。特に、後者は交通繁忙期(年末年始や大型連休、夏季休暇)を避けた時期に施工時期を設けているため、梅雨や雪氷期の影響を受けやすいことから、天候に左右され、かつ工事終盤に施工する床版防水工が通行規制解除のクリティカルとなってしまう。そのため、人知の及ばない天候の影響を受ける工種を現場施工から省くことができれ

ば、工程管理に著しく貢献すると期待される。

そこで、高強度かつ緻密で遮水性に優れる超高 強度繊維補強コンクリート(UFC: Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete)に着目し、 前述の目的を達成するために UFC をプレキャス ト PC 床版の防水層に適用した床版(以下、「UFC 複合床版」という)の開発を試みた。

2. UFC 複合床版の概要

UFC 複合床版の概要を図-1に示す。プレキャスト床版のかぶりの一部にUFC を打ち重ねて一体化した複合構造で、製造および供用中に想定される荷重に対してひび割れが生じないように、床版厚 220 mm のうち、UFC 厚さを 20 ~ 50 mm

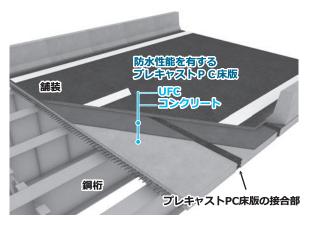


図-1 UFC 複合床版の概要図

で敷設し、これを防水層とした。なお、UFCに は常温硬化型のスリムクリートを用いている。

UFC 複合床版に用いた UFC の配合とその力 学特性を表-1. 2 にそれぞれ示す。表-2 は水 温20℃で養生した材齢28日の特性値である。構 成材料は、ポルトランドセメント、ポゾラン材、 無機粉体. 粒径 5 mm 以下の骨材. 鋼繊維. 高性 能減水剤および水である。反応速度の速いエーラ イトを含むポルトランドセメントを使用すること によって、給熱養生を行わなくても表-2に示す 圧縮強度などの力学特性が得られる。鋼繊維は直 径 0.16 mm, 長さ 13 mm, 引張強度 2,700 N/mm² であり、混入量は 2.0 vol% である。

表-1 使用した UFC の配合

単位量 [kg/m³]							
水	ポルトランドセメント ポゾラン材 無機粉体 等	骨材	高性能減水剤	鋼繊維			
230	1,830	330	32	157			

表-2 使用した UFC の力学特性(材齢 28 日)

圧縮強度 [N/mm²]	ひび割れ 発生強度 [N/mm²]	5 102 (02.122	ヤング係数 [N/mm²]	ポアソン比
180	8.0	8.8	4.6×10 ⁴	0.2

UFC 複合床版の防水性能

UFC 複合床版の防水層の要求性能は、高速道 路の技術基準 □における床版防水層 (グレード Ⅱ) と同等以上とし、設計耐用期間は橋の設計供用期 間²⁾と同じと考え 100 年とした。また、要求水準 は透水係数 1.0×10⁻¹³ m/s 以下とした ³⁾。

防水性能は、UFC複合床版を模擬した試験体 を用い、透水試験にて確認した。図-2に試験体 の概要を示す。UFC は、厚さ 220 mm の UFC 複 合床版の上層 20 mm に打ち重ねた。下層に用い たコンクリートは、実構造物を想定した設計基準 強度 50 N/mm² の早強コンクリートである。ま た, UFC 層の表面に肉眼では確認できない微細

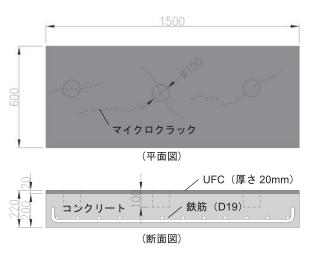


図-2 透水試験に用いた試験体の概要

なひび割れ(以下,「マイクロクラック」という) を水中養生を省略することにより再現した試験体 とした。6章に示すように、UFC複合床版は硬 化していない状態のコンクリートに UFC を打ち 重ねて製造することから、両材料間の収縮差の拘 束や UFC 層の表面からの乾燥の影響を受けやす いためである。

透水係数の計測は、マイクロクラックが発生し た箇所から直径 φ 100 mm, 高さ 100 mm で試験 片を採取して実施した。透水試験はインプット法 により、水圧1MPa,加圧時間24時間で試験片 に水を浸透させた。加圧終了後、マイクロクラッ クに沿って試験片を割裂させて浸透深さを計測し. 割裂面の浸透深さから拡散係数を算出し、その値 を用いて透水係数を求めた。実験結果を表-3に 示す。試験によって得られた透水係数は最大で $1.78 \times 10^{-14} \,\mathrm{m/s}$ であり、いずれも $1.0 \times 10^{-13} \,\mathrm{m/s}$ 以下であることを確認した。

表-3 UFC 複合床版の透水係数の結果

No.	平均浸透	拡散係数	透水係数	最深部		
	No.	深さ Dm [mm]	β_{0}^{2} [×10 ⁻⁶ m ² /s]	<i>k</i> [m/s]	浸透深さ [mm]	透水係数 [m/s]
	1	2.61 2.21	2.13×10^{-3}	8.17×10^{-16}	11.3	1.78×10^{-14}
	2	0.18 0.00	1.18×10^{-5}	4.53×10^{-18}	4.1	2.35×10^{-15}
	3	浸透なし	_	_	浸透 なし	_

また、引張疲労および凍結融解の負荷を与えた 後の防水性能の確認も行った。前述と同様に意図 的にマイクロクラックを再現した試験体を用い、 マイクロクラックが発生した箇所から 100×100 ×400 mm の試験片を採取し、次の試験を実施し た。

引張疲労試験は、床版の設計荷重時の引張応力を模擬して UFC 層の最外縁に 4 N/mm² の引張応力が作用するように曲げ引張を与え、0~4 N/mm² の応力振幅で 200 万回作用させた。また、凍結融解試験は、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」【A 法:水中凍結融解試験方法】による凍結融解を 300 サイクル作用させた。試験の組合せは負荷なし、引張疲労のみ、引張疲労を与えた後に凍結融解を作用させた合計 3 水準とした。透水係数の計測は前述と同様に行い、最大で1.48×10⁻¹⁴ m/s であり、いずれも 1.0×10⁻¹³ m/s 以下であることが確認された 40。

4. UFC 複合床版の一体性

UFC 複合床版は、下層の床版コンクリートが 硬化する前に UFC を打ち重ねるため、これらの 異種材料同士の一体性を確保することが重要であ る。ジョイント箇所としては、アスファルト舗装 とUFC, UFCと下層コンクリートである。また、5章に示すように床版同士の接合部にも現場施工のUFCを適用することで、床版全面をUFCで覆う構造でもある。UFCの打継ぎが必要となるため、UFC同士の一体性の確保も重要となる。

(1) アスファルト舗装と UFC の一体性

アスファルト舗装とUFCの一体性は、NEXCOの技術基準¹⁾で求めるアスファルト舗装とコンクリートに求める一体性の要求水準について検証した。検討の流れを図ー3に示す。各試験条件において、引張接着試験やせん断接着試験を行い、すべてのケースで基準値を満足する結果であった³⁾。

(2) UFC とコンクリートの一体性

UFC とコンクリートの一体性は、引張接着性能, せん断接着性能および梁試験体の曲げ載荷試験により確認した。梁試験体の曲げ載荷試験では, 曲げ破壊型, せん断破壊型の試験体により, 破壊時の UFC とコンクリートとの一体性を確認した。梁の高さは床版厚を想定した 220 mm, UFC 厚さは 20 mm とし, せん断スパンはそれぞれ曲げ破壊型は 1,000 mm, せん断破壊型は

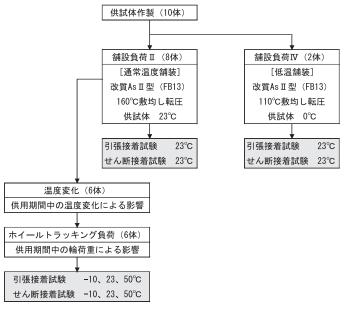


図-3 UFC とアスファルト舗装の接着性の検討の流れ



写真-1 曲げ破壊型試験体の破壊状況

500 mm とした。曲げ破壊状況を写真-1に示す。曲げ破壊型試験体では一般的なコンクリート梁と同様に引張鉄筋が降伏した後、最終的にUFCが圧壊することにより荷重が低下した。

せん断破壊状況を写真-2に示す。せん断破壊型試験体では、引張鉄筋降伏後、最終的に斜めひび割れがUFCを貫通して伸展し、荷重が低下した。いずれの試験体においても、最大耐力に達するまでUFCが剥離するような現象は見られなかったことから、フレッシュな状態のコンクリートにUFCを打ち重ねても一体性が確保できることが確認できた³。



写真-2 せん断破壊型試験体の破壊状況

(3) UFC 同士の一体性

UFC 同士の一体性は、UFC 同士の鉛直打継ぎ部を設けた試験体を作製し、一軸引張試験により、打継面の引張性能を確認した。引張強度の平均値は 6.78 N/mm²で、UFC のひび割れ発生強度 8 N/mm²を下回る結果であったため、鉛直打継部に作用する引張応力を打継ぎ引張強度よりも小さくする配慮が必要となることがわかった。

また、接合部の梁試験体の曲げ載荷試験も実施した。試験体は、5章に示すとおりUFC同士の打継部を鋸歯形状とし、打継部が引張となるよう、UFC層が下面になるように載荷した。なお、試験体は(2)と同様の寸法とし、せん断スパンは1,000 mm とした。UFCの打継ぎ部でひび割れが拡大せず、一体打ちしたUFCの箇所で破壊

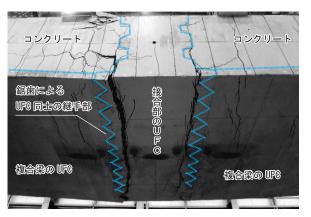


写真-3 接合部の破壊状況

した(写真-3)。UFC 同士の打継面の引張強度 はひび割れ発生強度以下であったが、打継部を鋸 歯形状とすることで UFC 母材と同等以上の引張 性能となることを確認した³⁾。

5. UFC 複合床版の接合部

UFC 複合床版同士の接合部には現場施工に適した常温硬化型のUFCを用いた工法を採用し、上層は図ー4に示す鋸歯形状とした。これは前述のとおり、UFC 同士の鉛直打継面の引張性能がひび割れ発生強度以下であるため、打継面に角度を持たせることによって作用する応力を低減させ、ここが弱点とならないようにするためであ

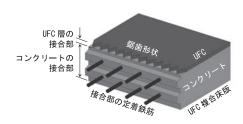


図-4 UFC 複合床版同士の接合部

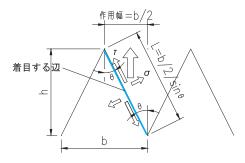


図-5 鋸歯部に作用する応力

る。図-5に示すように UFC 同士の界面を引張 とせん断で抵抗させ、界面が破壊のクリティカル にならないように照査を行う4。

現場施工では、接合部と同時にこの鋸歯形状に UFC を打ち込むことで橋面全体が覆われ、床版 の防水性能を発揮する。

6. UFC 複合床版の製造

UFC 複合床版は、一般のプレキャスト PC 床 版を製作している工場で製作した。UFC 複合床 版ではコンクリートと UFC の一体性が重要であ り、下層のコンクリートが硬化する前に UFC 層 を打ち重ねる必要がある。そのため、下層のコン クリート打込みから約30分経過した段階でUFC 層の打重ねを開始し(写真-4), コンクリート 打込み後2時間以内でUFCの打重ね作業が完了 するように時間管理を徹底しながら作業した。な お、UFCを打ち重ねる面となるコンクリート表 面は木ごて仕上げである。



写真-4 UFC の打重ね

一定時間経過後、金ごてによる表面のならしを 行い、養生マットで覆った UFC の上面を湛水養 生しながら、床版全体には蒸気養生を施した。蒸 気養生完了後. コンクリートが所定の強度に達し たことを確認し、床版にプレストレスを導入し た。その後、7日間の水中養生を施した。

おわりに

UFC 複合床版は、本稿で紹介した他にもさま ざまな検討を行い、東北自動車道 宮城白石川橋 (上り線)で初適用し、その後4橋で施工を行った。

本技術の開発により、高耐久かつ橋面全体に防 水機能を有するプレキャスト床版を実現すること ができた。また、床版防水工が不要となるため、 通行規制期間の短縮や天候不順による工程遅延リ スクの回避も可能となった。今後は本技術を有効 活用するため, 床版取替事業において標準化を目 指していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 東・中・西日本高速道路株式会社:設計要領第一集 舗装 (2020.7)
- 2) 公益社団法人日本道路協会:道路橋示方書・同解説 1 共通編 (2017.11)
- 3) 塩畑英俊, 平野勝彦, 川西貴士, 佐々木一成:防水 層に UFC を用いた複合プレキャスト PC 床版の開 発, コンクリート工学, Vol.59, No.7, pp.574~581 (2021.7)
- 4) 塩畑英俊,安川義行,本間淳史,大場誠道,佐々木 一成:防水層に UFC を用いた複合プレキャスト PC 床版の実用化に向けた検証, 橋梁と基礎, pp.31~36 (2021.10)