

高強度繊維補強材料を活用した床版取替工事（新中島橋） ～UFC 床版と目地部 VFC の直轄国道への適用～

鹿島建設(株)	正会員	吉野 貴仁	正会員	○松井 雅紀
	正会員	齋藤 公生	正会員	熊部 淳
	フェロー会員	柳井 修司	正会員	一宮 利通
国土交通省近畿地方整備局		小山 雅弘		雲丹亀 和博

1. はじめに

国道 29 号は兵庫県姫路市と鳥取県鳥取市を結ぶ南北方向に伸びる一般国道である。古くから播磨，因幡間における往来の主要を担っており，国道 29 号を舞台とした映画が製作されるなど，優れた景観を有する。一方で，急峻な山岳地を通過しているため，冬期には積雪や凍結による交通障害が起きやすい。国道 29 号新中島橋（以下，新中島橋）は，兵庫県宍粟市波賀町小野地先に位置し，1962 年の竣工から 60 年以上が経過した単純合成鋼鈑桁橋である（図-1，写真-1，図-2）。この地域も冬期に降雪があり，凍結融解作用や凍結防止剤の散布が繰り返されることにより，鉄筋コンクリート床版（以下，RC 床版）に劣化が生じていた。過年度の定期点検における健全性の診断結果は「早期措置段階」であり，劣化した RC 床版を早期に補修する必要があった。

国道 29 号新中島橋補修工事の発注者である姫路河川国道事務所は，「新技術導入促進計画」において採択された技術テーマ「繊維補強コンクリート床版技術」の現場実装に向けて取り組んでいたことから，新中島橋の床版取替えに超高強度繊維補強コンクリート（Ultra high strength Fiber reinforced Concrete；以下，UFC）¹⁾を用いた薄肉，軽量で高耐久な PC 床版（以下，UFC 床版）²⁾を採用した。

本工事では，国道 29 号の交通機能を確保するために，上り線と下り線を 1 車線ずつ規制しながら施工する幅員方向分割施工を採用し，Ⅰ期施工で上り線の床版（一次床版），Ⅱ期施工で下り線の床版（二次床版）の取替えを行った。さらに，床版同士の接合部（横目地），床版と鋼鈑の接合部（桁上目地）および一次床版と二次床版の接合部（縦目地）には，冬期の厳しい低温下でも早期に強度が得られ，UFC とほぼ同等の性能を有する高強度繊維補強セメント系複合材料（Very high strength Fiber reinforced Cementitious composites；以下 VFC）を開発・導入した¹⁾。本稿では，直轄国道では初となる UFC，VFC を活用した床版取替工事の概要ならびに施工実績について報告する。

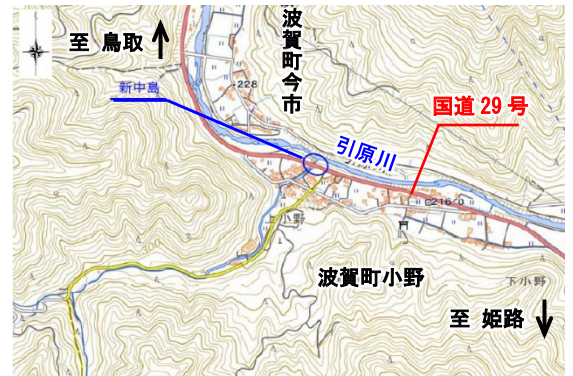


図-1 位置図



写真-1 新中島橋（補修前）

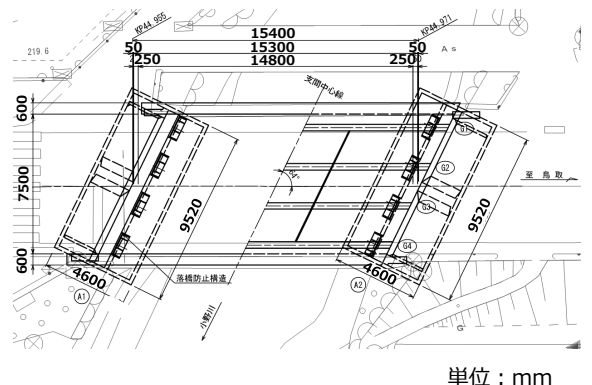


図-2 新中島橋平面図

キーワード 直轄国道，幅員方向分割施工，床版取替え，UFC 床版，VFC

連絡先 〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見 2-2-22 マルイト OBP ビル 鹿島建設(株)関西支店土木部 TEL06-6946-3311

2. 工事概要

新中島橋の補修前後における橋梁諸元を表-1 に示す。本橋は、橋長 15.4m、幅員 8.7m、斜角 64° の河川横断橋として一般的な規模の単純合成鋼鈑桁橋である。また、図-3、図-4 に、新中島橋の床版取替えにおける断面図および UFC 床版の割付図を示す。UFC 床版を採用することで、床版厚を 140mm と薄く、軽くできることから、路面高さの変更が小さく、かつ、鋼桁の補強量が最少化される。UFC 床版は橋軸方向に 7 分割、橋軸直角方向に 2 分割し、標準版の平面形状は短辺 2,140mm、長辺 4,729mm で鋭角の角度が 64° の平行四辺形である。

本工事では、交通規制による社会的影響を最小化するため、上り線および下り線で分割し、上り線、下り線の順に床版を取り替えた後、ごく短期間の全面通行止めを行い、縦目地で接合する。

表-1 橋梁諸元

	補修前	補修後
橋梁名	新中島橋	←
竣工年次	1962 年	2025 年
上部構造形式	単純合成鋼鈑桁橋	←
床版形式	鉄筋コンクリート床版 (160mm)	UFC 床版 (140mm)
下部構造形式	控え壁式橋台	ひび割れ補修
径間数	1 径間	←
橋長	15.4m	←
全幅員	8.7m	←
支承形式	線支承 (A1：固定, A2：可動)	←

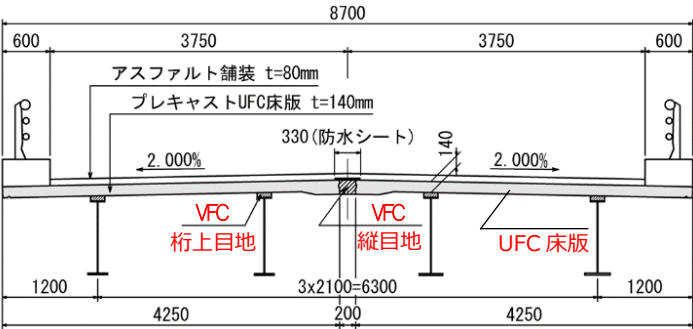


図-3 新中島橋断面図

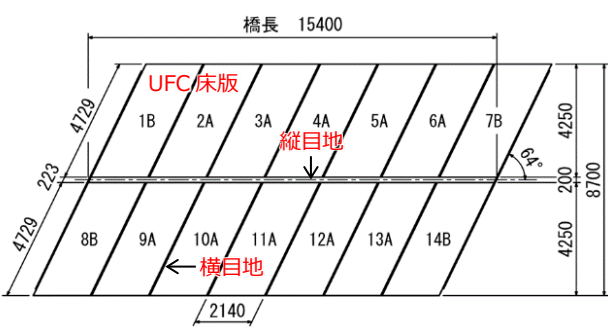


図-4 UFC 床版割付図

3. 施工手順

床版取替えに関連する主な施工手順を図-5 に示す。現地着工前に、UFC 床版をプレキャスト製品工場で製作し (①)、先行する上り線では②～⑥および⑧、後行する下り線では②～⑧の施工を行う。以下に、①～⑦のうち特徴的な手順について述べる。

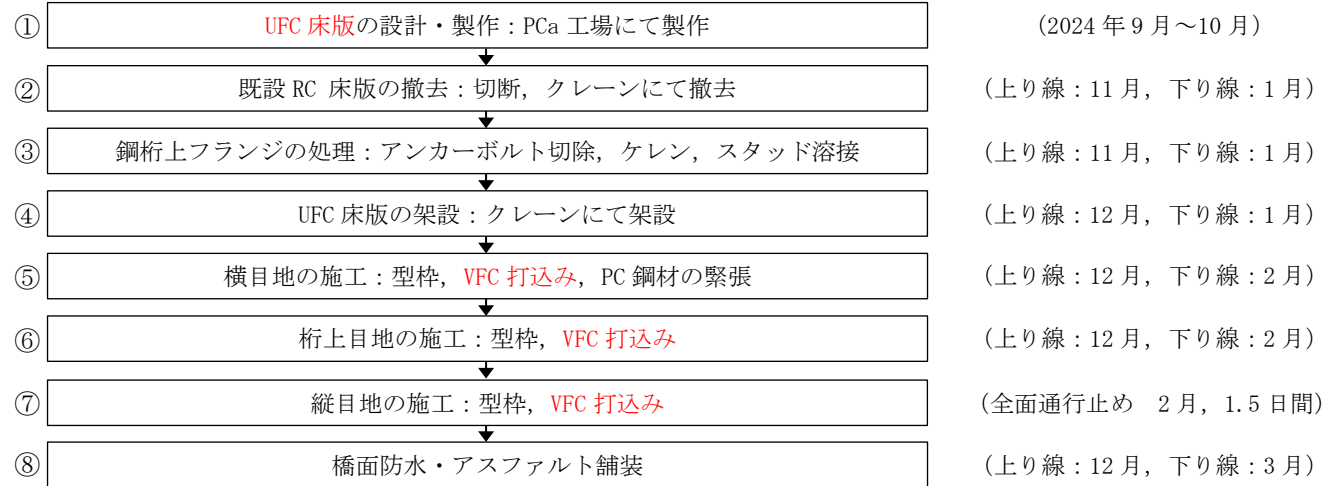


図-5 床版取替えに関する主な施工手順と施工時期

(1) UFC 床版の設計・製作（手順①）

UFC の圧縮強度は 180N/mm^2 と一般的な PC 床版に用いられるコンクリートの約 3 倍である。UFC はプレキャスト製品工場で使用され、初期養生および給熱養生の工程を要する。また、一般的なコンクリートでは引張強度を設計で考慮できないが、UFC では鋼繊維の補強効果により 8.8N/mm^2 の引張強度を設計で考慮できる。UFC 床版では、UFC の高い圧縮強度を活かして橋軸方向および橋軸直角方向に高いレベルのプレストレスを導入すること（図-6）、鋼繊維の補強効果により床版の特徴的な破壊モードである押抜きせん断に対する抵抗性が高いことから、床版の薄肉化が可能となる。なお、UFC 床版は実大試験体を用いた輪荷重走行試験により、供用期間 100 年相当以上の耐疲労性を有することを確認している³⁾。厚さ 160mm の既設 RC 床版と比較して UFC 床版では 140mm と薄くできるため、取替え後の路面高さの変更を小さくできる（図-7）。また、一般的な PC 床版（厚さ 220mm）よりも軽量となるため床版取替えに伴う鋼桁の補強量を低減できる。さらに、凍結融解に対する抵抗性や遮塩性に優れ、メンテナンスフリーが実現可能となる。

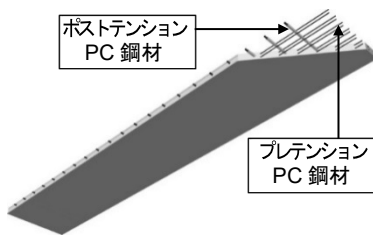


図-6 UFC 床版概念図

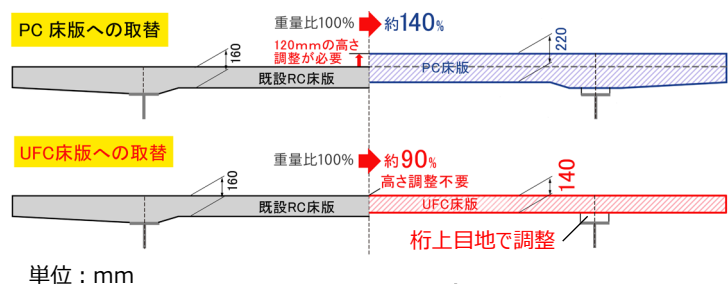


図-7 床版の比較

(2) VFC による目地部の打込み（手順⑤、⑥、⑦）

本工事においては、橋面上に可搬型のミキサ（容量：120L）を設置し、VFC を練り混ぜ、接合部に打ち込む。工程確保の観点から、横目地においては VFC を充填後、翌朝には橋軸方向の PC 鋼材の緊張を行う。

本工事で適用した VFC の圧縮強度は 150N/mm^2 と UFC より小さいものの、一般的な PC 床版の目地部に用いられる無収縮モルタルの 2 倍以上である。UFC と同じく鋼繊維を使用しており、UFC とほぼ同等の強度、耐久性を有する。また、プレキャスト製品工場で用いられる UFC とは異なり、収縮低減を図った上で、主に現場打ちの施工に用いられる。

4. VFC の施工における課題（工程上のクリティカルパス）

本工事には、品質および工程確保の観点からさまざまな工夫が必要とされたが、特に、クリティカルパスとなる目地部 VFC の施工に課題があった。VFC には、床版同士や床版と鋼桁の狭隘な目地部を円滑かつ密実に充填するために、打込みが完了するまで、高い流動性を保持する必要がある。一方で、横目地では、打込みから 17 時間後において橋軸方向の PC 鋼材の緊張に必要な強度 30N/mm^2 や、車両の走行が可能となる強度 100N/mm^2 が早期に求められ、かつ管理材齢 28 日において設計基準強度 150N/mm^2 に達する必要がある。すでに適用実績がある阪神高速 12 号守口線本線⁴⁾ や名神高速道路河内橋⁵⁾ では、施工時の外気温が 20°C 以上であり、VFC の練上がりから 17 時間程度で PC 鋼材の緊張に必要な 30N/mm^2 を確保できたが、寒中（環境温度 5°C ）においては、初期強度が著しく低下することがわかっていた（図-8）。本工事の間詰め施工時期は 12 月および 2 月となる予定であることから、日平均気温が氷点下となることも予想され、低温環境下において、PC 鋼材の緊張に必要な初期強度の確保が課題となった。

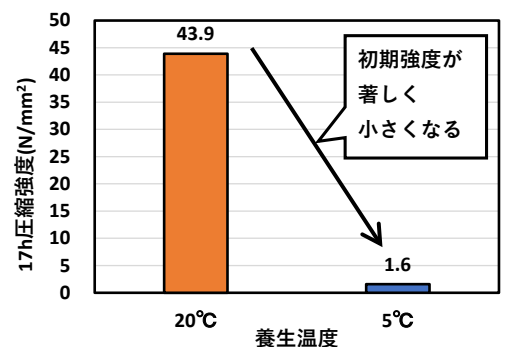


図-8 養生温度による初期強度の違い

5. 課題解決に向けた取組み（施工条件に対応した VFC の検討）

床版更新工事が冬期に実施されることを想定し、寒中でも初期強度を発現する VFC の検討に取り組んだ。目標とする性能は、練上がりから 30 分経過後においてもモルタルフローが 250mm 以上の流動性を有すること、5℃の低温環境で打込み完了から 17 時間後に 30N/mm²の圧縮強度に達すること、材齢 28 日において 150 N/mm²を発現することとした。

室内試験では、実施工と同じ可搬型ミキサ（容量 120L）を使用し、練混ぜ量を 100L/バッチとした。低温の環境を再現するため室内の環境温度を 5℃とし、使用材料も同じ環境で前日から保管した。なお、練混ぜ水には温水（40℃）を用い、練上がり時のモルタル温度が 20℃程度となるようにした。

VFC の結合材に早強ポルトランドセメントを用いること、硬化促進剤を添加し、その添加率と添加時期を工夫することで、目地の充填に必要な流動性を保持しつつ、5℃環境下においても初期強度を確保できる配合を決定した⁶⁾。硬化促進剤の添加率の違いによる 17 時間強度の比較を図-9 に示す。ここで硬化促進剤を 6% 添加した配合においては、目標の強度を満たしているものの、練上がりから 30 分後のモルタルフローが 250mm を下回っていたため、桁上目地の充填性が不十分と考え不採用とし、硬化促進剤の添加率は 4% とした。

また、採用した配合において、凍結融解に対する抵抗性を確認した。実施工での環境温度および工程を想定し、5℃環境で養生した供試体を材齢 7 日から試験に供する条件で、JIS A 1148 の A 法（水中凍結水中融解）および B 法（気中凍結水中融解）の両方で試験を実施した。その結果、図-10 に示すように、300 サイクルを超えても相対動弾性係数は 60% 以上で、低下も全く認められず、材齢初期段階から凍結融解作用を受けても、優れた抵抗性を発揮できることが示された。

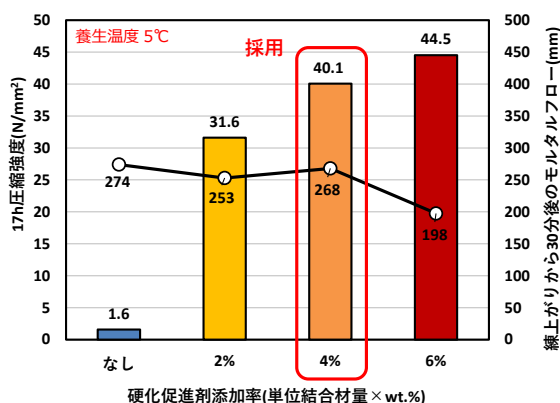


図-9 5℃環境における材齢 17 時間での圧縮強度比較と練上がりから 30 分後のモルタルフロー

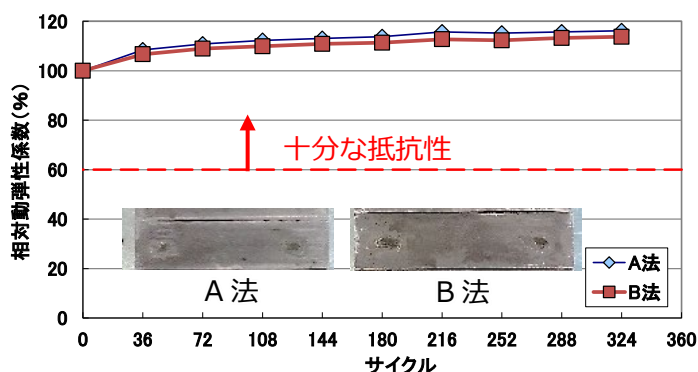


図-10 凍結融解試験結果（A 法，B 法）

6. 施工時の工夫と施工実績

本工事では、目地部 VFC における課題解決の他に、さまざまな工夫を取り入れて施工を進めた。以下に、主な施工実績を示す。

（1）UFC 床版の架設

UFC 床版を採用し、床版の重量を約 3t/枚に抑えたことで、15t トラック 1 台に床版 4 枚の積載が可能となり、搬入車両の台数を削減することができた。さらに、70t ラフタークレーンのアウトリガーを 1 車線幅内で張り出すのみで、片側交互通行を維持した状態での床版架設が可能となった。

ずれ止めに最大径の頭付スタッド（φ25）を採用し、ジベル孔 1 箇所当たり 3 本の頭付スタッドを配置することで、床版 1 枚当りのジベル孔を最少 12 箇所、最多でも 16 箇所に抑えた。その結果、床版の設置位置の調整が容易となり、円滑な床版架設が可能となった。

(2) 横目地

UFC 床版の横目地における縦締め PC 鋼材を、斜角に対応したポリエチレン製の中子シースによって接続した。その結果、 64° の斜角を有する横目地においても確実なシース接続が可能となり、接続部からシース内へ VFC が浸入するリスクを大幅に低減できた。

UFC 床版の橋軸方向にプレストレスを与える縦締め PC 鋼材(SWPR19L)の径を 21.8mm から 28.6mm に太くし、本数を 26 本から 18 本に減らした。その結果、緊張回数ならびに PC グラウト条数が減少し作業時間の短縮が可能となった。また、端部版における定着部切欠きと伸縮装置取付用アンカーの干渉回避が可能となった。

横目地における VFC の充填箇所においては、目地下縁の幅を 30mm として、底型枠組立て・解体を簡素化した。一方、上縁から VFC を打ち込むので、作業性を考慮し、上縁の幅を 50mm とした(図-11)。前述のとおり、VFC は橋面で製造した。施工期間において、気温が最も低い日の最高気温は -1°C 、最低気温は -6°C の真冬日であったが、 40°C に温めた練混ぜ水を使用することで、練上がり時のモルタル温度 20°C を確保した。VFC はバケツを用いて人力によって横目地に打ち込んだ(写真-2)。硬化促進剤 4% を VFC の練混ぜ終了の直前に添加することで、練上がり時の流動性を確保し(平均モルタルフロー 304mm)、30 分以内に問題なく充填を完了した。充填後は橋面上の保温シートと吊り足場に設置したジェットヒーターによる養生(写真-3)で環境温度を 5°C 以上(最高 40°C)に保った。練上がりから 17 時間後、現地でポータブルアムスラーによる圧縮試験を行ったところ、 $30\text{N}/\text{mm}^2$ を満足する強度が得られ(実強度: 平均 $56\text{N}/\text{mm}^2$)、PC 鋼材の緊張までの工程を確保することができた。また、材齢 28 日において設計基準強度 $150\text{N}/\text{mm}^2$ を満足する強度が得られた(実強度: 平均 $164\text{N}/\text{mm}^2$)。

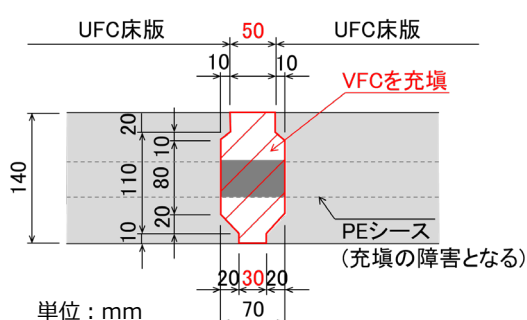


図-11 横目地の断面図



写真-2 横目地の打込み状況



写真-3 給熱養生状況

(3) 桁上目地

桁上目地の VFC 打込みは、PC 緊張後、1 日あけて行った。桁上目地の充填箇所(図-12、写真-4)ではスタッドジベルが障害となり、かつ床版下の目視できない部分にまで充填が必要であるため、流動性の確保と、未充填を作らない打込み方法が重要であった。橋軸方向の勾配の低い側の端部から片押しで打ち込み、隣のジベル孔が充填されたのを確認してから隣のジベル孔に打ち込むというステップバイステップの打込み方法で充填した。充填後は横目地と同様の養生を行い、材齢 28 日において設計基準強度 $150\text{N}/\text{mm}^2$ を満足する強度(実強度: 平均 $160\text{N}/\text{mm}^2$) が得られた。

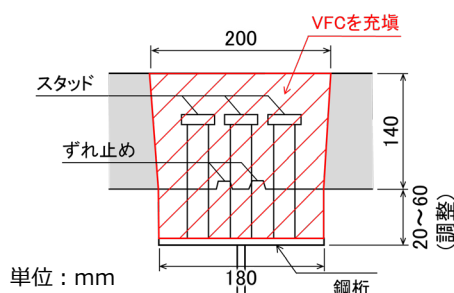


図-12 桁上目地の断面図

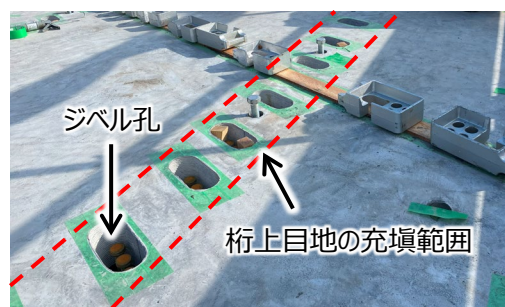


写真-4 桁上目地の外観

(4) 縦目地

縦目地の充填箇所(図-13, 写真-5)は幅 200mm ではあるが, あき重ね継手の鉄筋が障害となるため流動性の確保が必要であった。また, 縦目地の施工期間のみ, 全面通行止めが必要であり, 迂回路を用意する必要があった。迂回路は山道であり, 施工期間において降雪の予報もあったことから, 迂回中の交通事故の懸念もあり, 早期の交通開放が求められた。通行止めの期間は最大で 68 時間を予定しており, VFC はそれまでに強度 100N/mm^2 以上を発現する必要があった。縦目地においてもこれまでの同様の方法で問題なく充填を完了し, 充填後は橋面上への保温シートの敷設と橋面上および吊り足場に設置したジェットヒーターによる養生(写真-6)で環境温度を 5°C 以上(最高 40°C) に保った。その結果, 練上がりから 26 時間において交通開放が可能な強度となり, 全面通行止めから 30 時間後に片側の通行止めを解除することができた。これにより, 通行止め期間を当初予定から 56%短縮することができ, 迂回路での事故もなく施工を完了することができた。また, 竣工時(材齢 23 日)に圧縮強度試験を行い, 設計基準強度 150N/mm^2 を満足する強度が得られた(実強度: 156N/mm^2)。

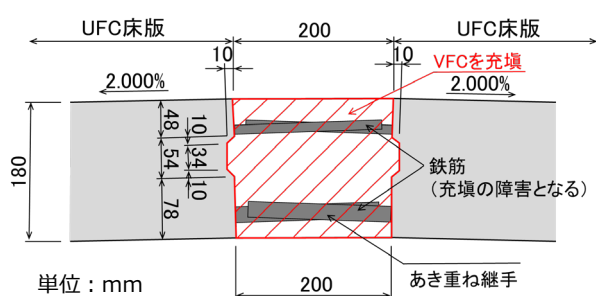


図-13 縦目地の断面図



写真-5 縦目地の打込み状況



写真-6 給熱養生状況

(5) 橋面防水・アスファルト舗装

床版取替後, 縦目地表面に防水シートを敷設し, 床版全面から地覆の立上りにかけて, 防水塗装を施した。その上に基層 40mm, 表層 40mm のアスファルト舗装を行い, 補修工事を完了した。

7. おわりに

国道 29 号新中島橋補修工事において, 「新技術導入促進計画」の取り組みを通じて, 薄肉, 軽量で高耐久な UFC 床版と目地部 VFC を用いた工法を導入した。また, 事前に想定された課題への取り組みや綿密な施工計画とその管理によって, 全面通行止め期間を短縮して床版取替えを終えることができた(写真-7)。本稿が同種工事の一助になれば幸いである。



写真-7 施工完了後全景

参考文献

- 1) 土木学会, 超高強度繊維補強セメント系複合材料の設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー166, 2024 年
- 2) 土木学会, 超高強度繊維補強コンクリート(UFC)道路橋床版に関する技術評価報告書, 技術推進ライブラリー17, 2015 年
- 3) 小坂崇ほか, 床版取替えに対応した UFC 床版の疲労耐久性に関する検討, 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, 2017 年
- 4) 一宮利通ほか, 平板型 UFC 床版の架設および縦目地の施工ー阪神高速 12 号守口線床版取り替え工事ー, 建設機械, 58 巻 3 号, p. 71-75, 2022 年 3 月
- 5) 高松寛子ほか, 床版取替工事の間詰部に用いる流動性の保持と初期強度の発現を両立した高強度繊維補強セメント系複合材料に関する検討, コンクリート工学, Vol. 47, 1165, 2025 年
- 6) 吉野貴仁ほか, UFC 床版取替工事の床版接合部に用いる VFC の初期強度増進に関する検討, 土木学会 第 80 回年次学術講演会, VI-1026, 2025 年