

ひけた 曳田歩道橋 — UFC を用いた長支間の PC 下路式歩道橋 —

松山 高広*1・宮島 朗*2・後藤 理博*3・横畑 勝彦*4

曳田（ひけた）歩道橋は、超高強度繊維補強コンクリート（以下 UFC と称す）を用いた、日本国内最大支間、世界最大規模の支間 63.3 m のポストテンション方式単純 PC 下路桁橋である。2007 年 5 月に竣工した。

UFC という特殊材料を使用した本橋はセグメント製造・現場施工において数多くの技術的課題があった。本稿では、本橋の工事関係者が当時を振り返り、さまざまな課題に対して行った代表的な工夫・対策を報告する。

キーワード：超高強度繊維補強コンクリート，UFC，歩道橋

1. はじめに

本橋は、鳥取県東部の曳田川に架かる道路橋「曳田橋」に併設される歩道橋として、橋長 64.5 m、有効幅員 2.0 m の単純下路桁で計画され、2007 年 5 月に竣工した（図 - 1、写真 - 1、図 - 2）。

本橋は圧縮強度 180 N/mm² を超える「超高強度繊維補強コンクリート（以下 UFC と称す）」を使用し、薄い部材（ウェブ厚 120 mm、下床版厚 250 mm）に大容量の PC 鋼



写真 - 1 曳田歩道橋全景（竣工後）

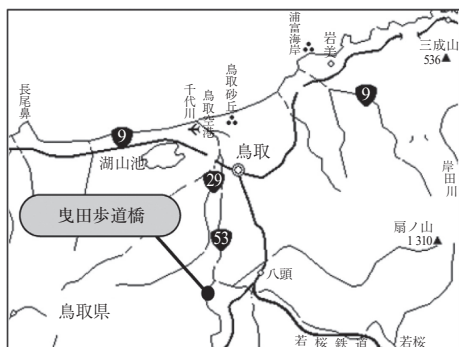


図 - 1 橋梁位置図

材配置を可能とした緻密で耐用年数 100 年の高耐久性橋梁である。

UFC の採用により桁高スパン比 1/43 のスレンダーな橋梁を実現し、河川内橋脚の省略による河川環境の保全に配慮した設計とすることができた。さらに、自重の軽減や、無筋構造によって実現した景観に配慮した自由度の高いデザインが可能となった。

しかし、UFC という特殊材料を使用した本橋は当時のセグメント製造・現場施工において数多くの技術的課題が



*1 Takahiro MATSUYAMA

現職 (株)安部日鋼工業
営業管理本部 企画部

当時 (株)安部日鋼工業
技術工務本部 開発部



*2 Akira MIYAJIMA

現職 (株)安部日鋼工業
中部支店 工事部

当時 (株)安部日鋼工業
技術工務本部 開発部



*3 Michihiro GOTOU

現職 (株)安部日鋼工業
営業管理本部 建築事業部

当時 (株)安部日鋼工業
製造管理本部
岐阜本業工場



*4 Katsuhiko YOKOHATA

現職 (株)安部日鋼工業
大阪支店 技術工務部

当時 (株)安部日鋼工業
大阪支店 技術工務部

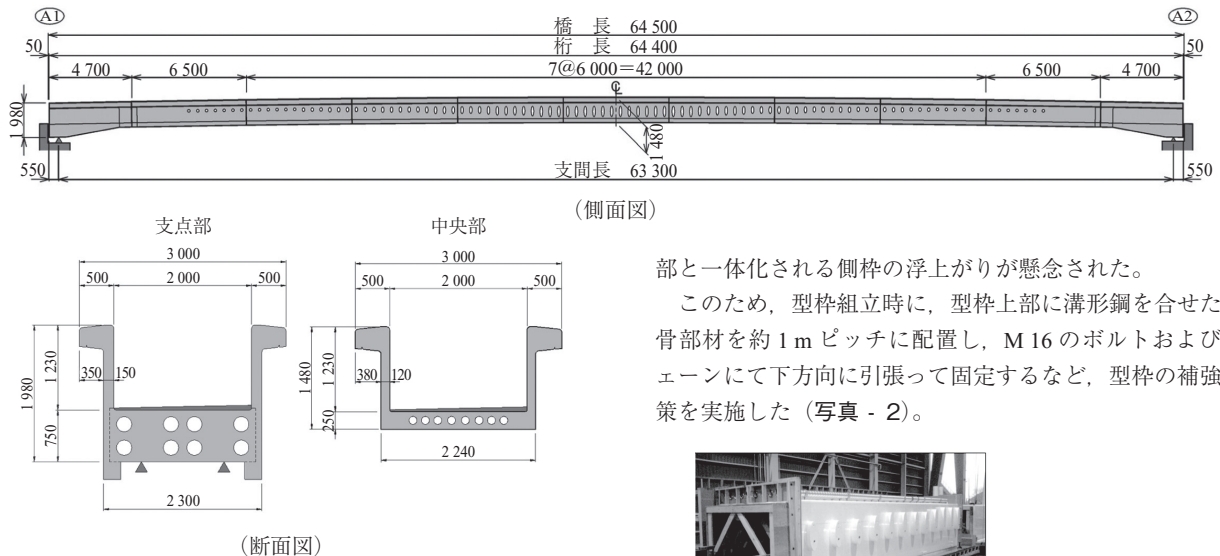


図 - 2 橋梁一般図 (単位: mm)

部と一体化される側枠の浮上りが懸念された。

このため、型枠組立時に、型枠上部に溝形鋼を合せた鉄骨部材を約 1 m ピッチに配置し、M 16 のボルトおよびチェーンにて下方向に引張って固定するなど、型枠の補強対策を実施した (写真 - 2)。

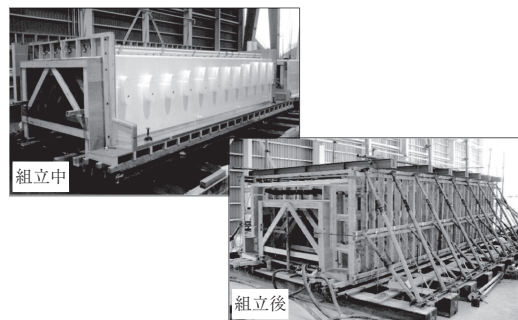


写真 - 2 型枠全景

あった。

本稿では、本橋の工事関係者が当時を振り返り、さまざまな課題に対して行った工夫・対策を報告する。

2. 橋梁概要

工事名: 県道鷹狩渡一本線上部工事 (地方特定)

工事場所: 鳥取県鳥取市河原町曳田

発注者: 鳥取県 東部総合事務所 県土整備局

製造施工: (株) 安部日鋼工業

構造形式: ポストテンション単純 PC 下路桁橋

橋長: 64.5 m

支間長: 63.3 m

有効幅員: 2.0 m

桁高: 1.48 m (桁高スパン比 1/43)

平面線形: $R = \infty$

縦断勾配: 2% 放物線勾配

横断勾配: 2% 片勾配

使用材料:

コンクリート: 超高強度繊維補強コンクリート (UFC)

PC 鋼材: SWPR7BL 19S15.2B

荷重: 群集荷重 3.5 kN/m²・雪荷重 1.0 kN/m²

3. UFC セグメントの製造について

UFC を使用し、11 分割したプレキャストセグメントは当社工場で作製した。

製造にあたって、UFC という新材料の特徴を十分認識したうえで、型枠、練混ぜ・打込み、養生の諸課題に対し、試験体を製作して対策を講じた^{1, 3, 4)}。

3.1 型枠の課題と対策

(1) 型枠の補強対策

UFC は従来のコンクリートと比較して、流動性が高く、自己充填性に優れているが、そのことが長時間にわたり型枠に大きな負荷を与えることとなる。製造は逆打ちにて実施し、比重の大きい液体を型枠に流し込むため、フランジ

(2) 型枠などによる拘束力の対策

セグメント初期養生の際に、UFC 硬化時の大きな自己収縮が発生し、型枠拘束によるひび割れの発生が懸念された。

対策として、内型枠は緩衝材を使用し、シース支持金具は収縮を拘束しない構造を採用した^{5, 6)}。また、型枠側面の緩衝材は脱枠しやすいように、型枠と緩衝材とともに抜き勾配を設けた (図 - 3)。

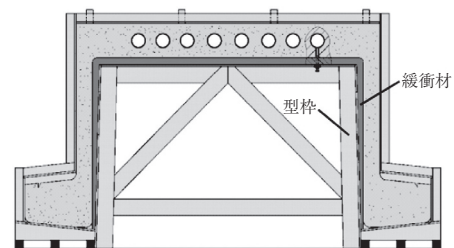


図 - 3 型枠概要図

事前の FEM 解析により、自己収縮に対する緩衝材の効果を検討し、かつ試験体で確認することで、ひび割れの発生がないことを確認した。

(3) 伏せ型枠の使用

フレッシュ状態の UFC は粘性が高く、水結合材比が低く表面はドライスキンになりやすいため、金コテによる仕上げは十分に平滑にできないおそれがある。この問題を解決するため製造時に伏せ型枠を使用した⁷⁾。

伏せ型枠には施工しやすいように投入口と排出口を設け、気泡対策として型枠内側に透気シートを貼り付けた。

また、木製の伏せ型枠の剛性が低いため、上からの抑えとして土のう袋を載せた。

以上に示す型枠の諸課題に対しては、製造に先立ち実物大の試験体を製作し、対策が有効であることを確認した。

3.2 練混ぜ・打込みの課題と対策

(1) 練混ぜミキサの能力確認

1日に2ブロックの製造工程のため、最大約20m³の練混ぜが必要となった。しかし、UFCは従来のコンクリートとは異なり粘性が高くミキサへの負荷が大きくなることが想定されたため、使用するミキサのUFC最大練混ぜ量を決定する練混ぜ性能試験を行った。その結果、使用する強制2軸式ミキサの公称容量1.75m³に対して、1バッチあたり最大練混ぜ量を1.3m³とした。

また、UFCセグメントの製造期間の約1カ月間は、生コンプラントにおいてUFC打込みの日に普通コンクリートの練混ぜが行えないため、普通コンクリート部材製造との工程調整に多くの時間を費やした。

(2) 冬期での品質確保

本製造の時期が冬期であったため、材料および練混ぜ機械をあらかじめ加温することにより、安定した練混ぜ時間およびフレッシュ性状を得ることが可能となった。

また、品管試験は、標準配合粉体と混和剤、水を練り混ぜる「一次練り」後、鋼繊維投入後に練り混ぜる「二次練り」後、および打込み前の計3回実施した。練上がり時のフロー値は、240～270mmの安定した値を得ることができた。

(3) 練混ぜ・打込みの時間管理

UFCセグメントの製造は、材料投入や打込み時の手作業が多く、従来のコンクリートに対して多数な注意点があり熟練した能力が必要となる。そのため、材料投入、練混ぜ、フロー試験、排出、ストックおよび打込み、養生など一連の製造工程の確認、役割分担を明確にする必要があった。事前に行われた試験体製作を通じて、実作業従事者のUFC材料特性に対する認識を向上させ、それぞれの役割を周知徹底した。

UFCの練混ぜは早朝から連続で行い、プラントの練混ぜに要する時間は材料投入から練上がり・排出まで、1バッチ約30分であり、1セグメントの練混ぜがほぼ完了してからその分のセグメントの打込みを実施した。UFCの練混ぜ完了後から打設までの練置き時間の最大が3時間であったため、練混ぜ時間と打設開始時間における分単位の綿密なタイムスケジュールを作成することにより予定どおりの打込みが実施できた。

また、UFCの排出から打込みまでの間に、UFCの表面乾燥を防ぐためラッピング処理およびシート養生を入念に行った。打込みはドライジョイントを作らないように連続で行い、1セグメントは約45分で完了した(写真-3)。

3.3 養生時の課題と対策

UFCの特徴として、初期養生のほかに二次養生として超高強度の発現には90℃以上で48時間の養生を必要とし、二次養生には専用の二重構造養生設備を使用した⁸⁾。

二次養生は温度上昇と降下を含め、前後5日を必要とす

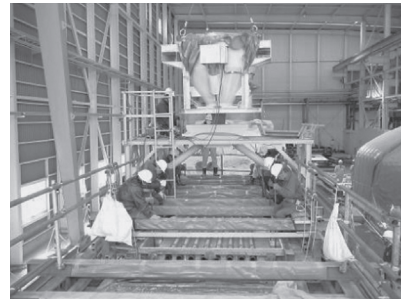


写真-3 UFCの打設状況

るため、温度管理が十分でなく強度発現が遅れると、全体工程にも影響を及ぼす。このため、温度管理体制として、養生の温度上昇時に専属職員が工場に昼夜問わず常駐し温度管理モニタを監視し、温度勾配をコントロールする操作を行った。

この温度管理に要する労務負担軽減対策として、曳田歩道橋製造施工の2年後、UFCを用いた吉城橋(よしきばし、岐阜県飛騨市)のセグメント製造時には、温度管理の担当職員の携帯電話に温度計測データを送信させる遠隔監視システムを導入した。これにより、担当職員がモニタ前に常駐することなく温度確認ができるため、製造労務費の削減につながった。

4. 現場施工について

本橋の施工は「支保工組立工」、「運搬・架設工」、「場所打ちUFC工」、「緊張・グラウト工」、「支保工解体工」の順で行った^{2~4)}。

本橋は11分割したセグメントを現場架設し、セグメントを接合するために、現場打ちUFCを接合目地に充填して一体化を図るウエットジョイントを施工した。ここでは「場所打ちUFC工」の施工・品質管理上の技術課題および対策について述べる。

4.1 場所打ちUFCの練混ぜ・打込み時の課題と対策

UFCの材料が袋詰めされたプレミックス材のため、現場では水、混和剤および鋼繊維を計量して投入するだけで、比較的容易に安定した品質の材料が得られることは良い点であった。

場所打ちUFCは冬期施工であった。UFCは温度変化により敏感に性状が変化するため、練混ぜ前日からはラバーヒーターを用いて材料およびミキサの保温を行い品質の確保に努めた。これにより、平均外気温5℃の環境下においても、安定したフレッシュ性状を得ることが可能であった。また、UFCの練混ぜは公称容量100リットルの水平二軸ミキサ2台を使用した(写真-4)。

UFCの打込みでは乾燥防止が重要となった。前述のとおり、UFCは水結合材比が8%ときわめて低いため、外気に接する面では急速に乾燥が進む。この対策として、練り上がった材料は直ちにラッピングを施し打込み箇所まで移動し、打込んだ材料は充填完了まで絶え間なく突き棒で突き続けた。なお、突き棒で突くことは混入された鋼繊維の方向を分散させる役割もある(写真-5)。



写真 - 4 場所打ち UFC
の練混ぜ状況



写真 - 5 場所打ち UFC
の打込み状況

4.2 場所打ち UFC 養生時の課題と対策

場所打ち UFC の給熱養生では、施工前に実施した強度発現に及ばず養生温度の影響の確認試験により、養生温度を 48 時間にわたり 40℃ 以上に保つ必要があった。冬期施工のため最低気温が 2℃ 程度になるなかで、給熱機器の選定と橋全体の封かん方法が重要となった。

UFC の養生で難しい点は、部材内外の温度差を 20℃ 以内に保ちつつ給熱することである。本橋の養生は橋全体をジェットヒーターで給熱する「全体給熱」と、ウエットジョイント部をラバーヒーターで給熱する「部分給熱」を併用した。この際、温度の昇降速度が調整できるようラバーヒーターには温度調整可能なものを使用した。温度管理については打込み後の一次養生から二次養生の完了に至るまでの 6 日間を要し、この間は 24 時間体制で温度の監視と調整を行った。

給熱設備の動力には大型発電機 (60 kVA × 2 機) を 24 時間稼働したが、民家に近接していたため超低騒音機械の使用に加え、防音シートによる囲いを設置するなどの対策を講じたこともあり苦情なく施工を終えた。

封かん養生では橋全体をシートにて覆い外気の出入りを遮断することが目的であり、温度管理の精度を左右することから計画的に封かん作業を行った。桁架設前には支保工にあらかじめシートをセットし、桁架設後にシートを繋いで覆い、支保工用ジャッキ周りの隙間をプチルテープで入念に塞いだことにより、養生温度の安定化を確保した。

本橋の施工において、報告した以外にも数多くの対策を行った。その結果、予定どおりの作業で工事を進めた。

5. 現 状

本橋の竣工 5 年後に現地確認を行った (写真 - 6)。橋梁のウェブの一部に少々汚れが付いているが、UFC の変状はまったく見られない。緑豊かな自然環境と調和しており、竣工当時と変わらない美しい橋であった。

本歩道橋は隣の道路橋と完全分離して設置されたため、地元の小中学生が通学路として毎日安心して通行している。山陰地方の厳しい気候のなかで地域の安全安心を支える橋として、今後も長期にわたり利用されていくことを期待する。

6. おわりに

本橋の製造および施工に関しては、UFC の材料特性を把握するため、慎重かつ十分な事前検討や実験を行った。



写真 - 6 曳田歩道橋現状 (竣工 5 年後)

また、実作業従事者との綿密な打合せを繰り返しながら作業を進めた結果、予定どおりの工程で所定の品質を確保することができた。

今後、設計・施工がさらに合理化され、低コスト化された UFC を用いた PC 構造物の更なる発展を期待している。

最後に、施工技術賞を受賞した本橋工事に携わった関係者の方々に、あらためて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 宮島 朗, 平井康夫, 松山高広, 後藤理博: 超高強度繊維補強コンクリートを用いた PC 下路式歩道橋の製造報告, 第 16 回プレレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.383-386, 2007.
- 2) 横畑勝彦, 平井康夫, 福島慶治, 辛 軍青: 超高強度繊維補強コンクリートを用いた PC 下路式歩道橋の施工報告, 第 16 回プレレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.387-390, 2007.
- 3) 松山高広, 宮島 朗, 横畑勝彦, 平井康夫: 曳田歩道橋 - UFC を用いた世界最大規模の PC 下路式歩道橋 -, プレストレストコンクリート, Vol.50, No1, pp.21-29, 2008.
- 4) Tsuyoshi ISHII etc.: Manufacture and Construction of a PC Through Girder Type Pedestrian Bridge Using Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete, Proceedings of 8th International Symposium on Utilization of High Strength and High Performance Concrete (8HSC-HPC), 2008.
- 5) 特許第 5044300 号: コンクリート製部材成形用の内枠
- 6) 特許第 4879099 号: シースの支持構造
- 7) 特許第 4869163 号: 繊維補強コンクリート製部材の成形方法, および繊維補強コンクリート部材成形用の伏せ枠
- 8) 公開特許公報 2009-006596: 繊維補強コンクリート製部材の養生設備

[2012 年 8 月 31 日受付]