

収縮低減型超高強度繊維補強コンクリートを用いた PC 水路橋の設計・施工

中坊 傳*1・福下 敏至*2・一宮 利通*3・矢野 一正*4

本橋は、既存の農業用水路橋と交差する国道 163 号の拡幅に伴い、新たに架け替えられた水路橋である。国道の建築限界を満足するために桁高を抑制する必要があったことから、主桁に超高強度繊維補強コンクリート（UFC）が採用された。使用する UFC としては、主桁製作時の自己収縮による拘束ひび割れを防止するため、収縮低減型 UFC が主桁に初めて採用された。本報告は、この新しい材料を用いた PC 水路橋の設計および施工について報告するものである。

キーワード：超高強度繊維補強コンクリート、自己収縮、収縮低減、水路橋

1. はじめに

本橋は、国道 163 号道路拡幅事業に伴って国道を跨ぐ農業用水路橋を撤去し、新たに架け替えられたものである。既設水路橋は通常のプレストレストコンクリート（PC）橋であったが、通常の PC 橋では国道上の建築限界を満足することができなかった。そこで、新橋には、鋼水管橋および超高強度繊維補強コンクリート（UFC）を用いた PC 橋が検討され、経済比較を行った結果、UFC を用いた U 型断面 PC 水路橋が選定された。主桁製作時において UFC の自己収縮を型枠が拘束することによってひび割れが生じるのを防ぐため、基本設計では桁を 3 分割して製作する仕様であったが、施工時の検討において収縮低減型 UFC を採用して一括打設で製作することとした。収縮低減型 UFC は、UFC 製 PC 歩道橋の継目の間詰めにも使用された実績はあるが¹⁾、主桁に使用されたのは初めてである。

施工においては、UFC 製 PC 桁を工場にて製作、運搬し、国道を一夜間（22：00～翌朝 6：00）全面通行止めしてクレーンによる一括架設を行った。なお、国道 163 号は、大阪圏と名古屋圏を結ぶ主要幹線道路として約 15 000 台

/24 h（夜間約 4 500 台 /12 h）の交通量を有し、代替道路が無い場合 4 府県（京都府、滋賀県、三重県、奈良県）に及ぶ広域迂回誘導を伴う工事であった。

本報告は、主桁本体に収縮低減型 UFC を全面的に使用した PC 水路橋の設計施工について報告するものである。

2. 工事概要

水路橋構造一般図を図 - 1 に示す。また、工事概要は以下のとおりである。

工事名：国道 163 号地方道路交付金工事
 国道 163 号道路新設改良受託 1 工事
 発注者：京都府山城南土木事務所
 工事場所：京都府木津川市加茂町井平尾地内
 工期：平成 21 年 12 月～平成 22 年 7 月
 構造形式：単純 PC 下路桁水道橋
 橋長：23.750 m
 桁長：23.650 m
 支間長：22.950 m
 幅員：0.640 m
 平面線形：R = ∞

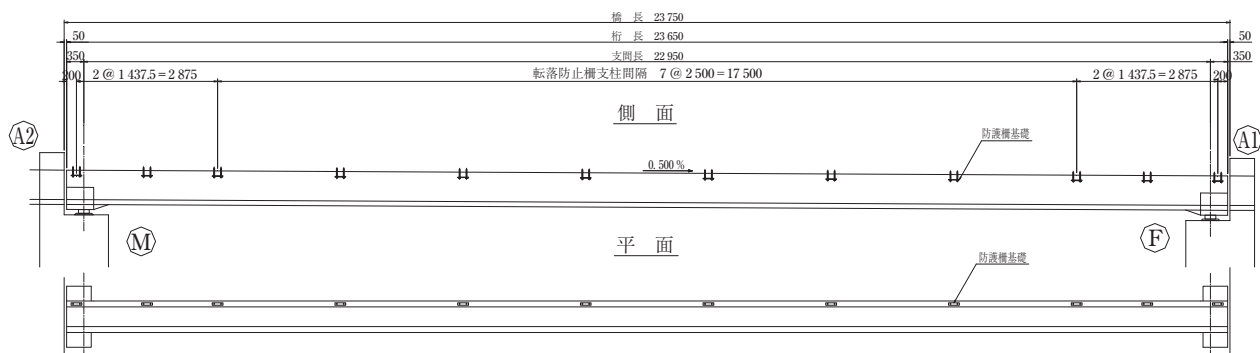


図 - 1 水路橋構造一般図

*1 Tsutae NAKABO：京都府 山城南土木事務所
 *2 Toshinori FUKUSHITA：鹿島建設(株) 関西支店
 *3 Toshimichi ICHINOMIYA：鹿島建設(株) 技術研究所
 *4 Kazumasa YANO：鹿島建設(株) 土木設計本部

○ 工事報告 ○

縦断勾配：0.50 %

3. 収縮低減型 UFC の概要

収縮低減型 UFC の配合を表 - 1 に示す。収縮低減型 UFC はエトリンサイト生成系超高強度繊維補強コンクリート²⁾ (AFt系 UFC) に専用の膨張材および収縮低減剤を混入したものであり、圧縮強度や引張強度は同等で収縮のみを半分程度に低減することができる¹⁾。

AFt系 UFC はエトリンサイトの生成とポゾラン材の活性化により緻密な硬化体とすることによって 200 N/mm² 級の圧縮強度が得られるものであり、長さが 22 mm と 15 mm の鋼繊維を混合したものを容積比で 1.75 % 混入することによって、15 N/mm² 程度の引張強度が得られるものである²⁾。一般的な養生としては、20℃程度の気中養生を 24 時間行い（以下、一次養生）、85℃の蒸気養生を 24 時間行う（以下、二次養生）ことを基本としている。

別途実施した試験で測定した収縮低減型 UFC および AFt系 UFC の収縮ひずみの例を図 - 2 に示す。収縮低減型 UFC の収縮ひずみは 400×10^{-6} 程度であり、AFt系 UFC と比較して半分程度に低減されていることが分かる。

表 - 1 収縮低減型 UFC の配合

水	単位量 (kg/m ³)				鋼繊維 (kg) (1.75 vol %)
	収縮低減型 プレミックス 結合材	骨材	高性能 減水剤	収縮 低減剤	
195	1 287	905	32.2	12.87	137.4

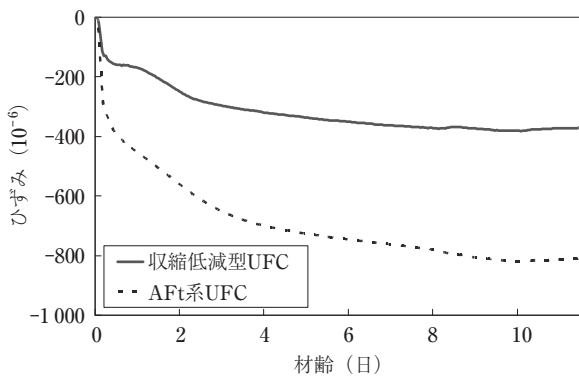


図 - 2 収縮ひずみの測定例

4. 設計の概要

4.1 基本設計の概要

既設水路橋に採用されている普通コンクリートを用いた PC 構造では部材厚が厚く、国道 163 号の建築限界を確保するには道路面を下げる必要があり、取合い構造物の大型化のため不経済であった。そこで、当初設計においては鋼水管橋にて計画されていたが、コスト縮減などを目的として修正設計が行われ、経済性・維持管理性に優れた UFC を用いた単純 PC 下路桁が選定された。

水路橋の断面図を図 - 3 に示す。本水路橋は農業用水

路であり、設計流量は存在しない。そこで、断面寸法は既設水路橋の内空断面寸法と同じ幅 400 mm × 高さ 500 mm とし、設計上の水深は水路橋前後の土工部における水路の内空断面高さ 300 mm とした。既設水路橋の桁高は 750 mm であったが、UFC を採用することによって桁高を既設水路橋よりも小さい 600 mm に抑えることができた。

図 - 3 に主要断面の PC 鋼材配置を示す。PC 鋼材としては SWPR19L 1S21.8 を 5 本配置した。標準部では底版に配置し、支点部付近では両端の 2 本を曲げ上げて定着した。両端の支点部において、PC 鋼材の定着スペースの確保や変位制限装置設置などのために断面を拡幅する必要がある。主桁製作時において UFC の自己収縮が型枠に拘束されてひび割れが発生することが懸念された。そこで、桁を 3 分割して製作し、支点付近の拡幅部を片側のみとするひび割れ対策を講じていた。分割製作された桁は、桁間に UFC を打設し、プレストレスを導入することによって一体化させる仕様であった。

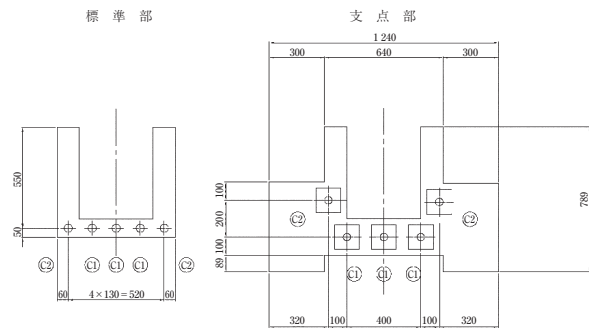


図 - 3 水路橋断面図

4.2 施工時の検討

桁の架設時において、架空線の影響により支承位置を吊り位置とすることができず、支承位置から 2 m 内側の位置で吊る必要があった。完成時と応力状態が異なるため架設時の検討を行った。架設時の支持条件を図 - 4 に、主桁上縁の曲げ応力分布を図 - 5 に示す。吊点が支承位置よりも内側となることによって、図 - 5 に示すように主桁上縁に引張応力が発生する。継目に引張りを発生させないためには、図 - 4 に示すようにカウンターウェイトを用いる必要があった。

一方、本橋は水路橋であることから、水密性は非常に重要な要求性能となるが、継目は一般部よりも水密性が低下する可能性がある。また、計画縦断勾配が 0.5 % と緩勾配の水路橋を自然流下させる必要があること、ならびに国道 163 号の建築限界を確保する必要があることから、キャン

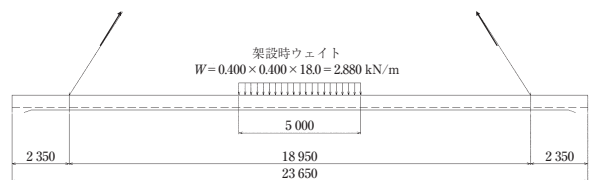


図 - 4 桁架設時の支持条件

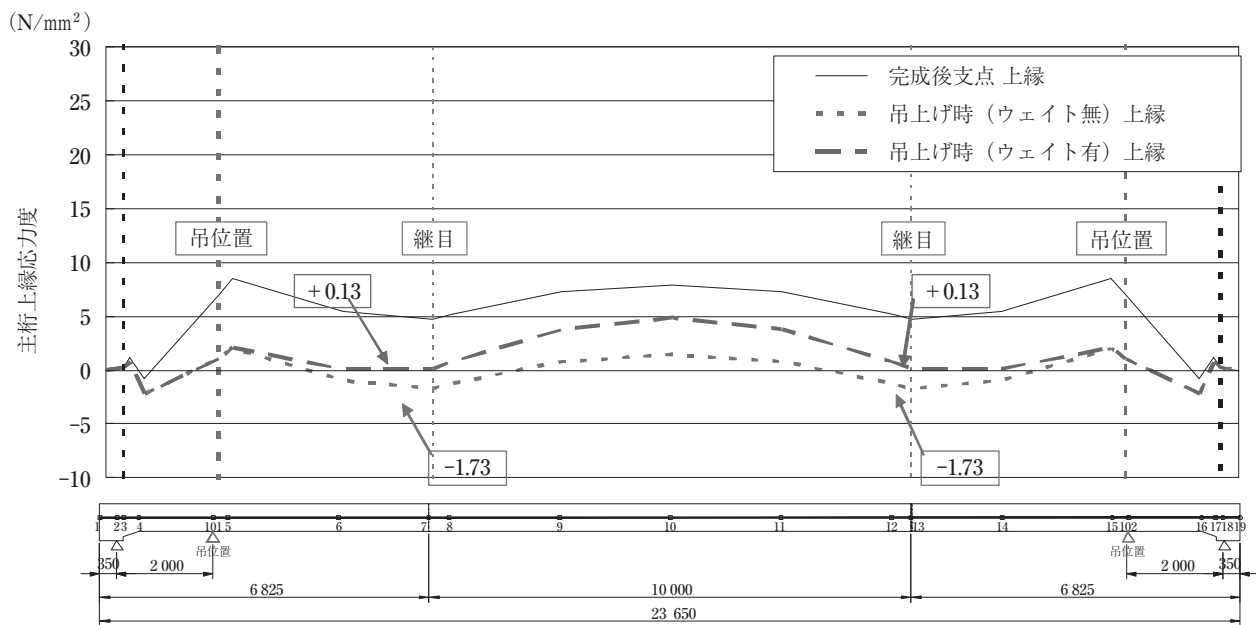


図 - 5 架設時の主桁上縁曲げ応力分布

バー管理は重要管理項目であったが、継目での角折れによるたわみ誤差の増大が懸念された。

以上の観点から、主桁を一括打設で製作するために収縮低減型UFCを採用することとした。これにより、継目を排除でき、カウンターウェイトを用いない安全な主桁架設、水密性の向上およびより確実なキャンパー管理が可能となった。

5. 施工の概要

5.1 桁の製作

(1) 主桁製作フロー

主桁の製作はコンクリート製品工場において行った。主桁の製作フローを図-6に示す。前述したように約24mの桁を一括で打設し、二次養生終了後に工場においてポストテンション方式でプレストレスを導入した。

(2) UFCの製造および打設

主桁の製作に必要なUFCの量は4.65m³であり、0.8m³×6バッチの練混ぜで製造した。2バッチ練上ごとに投入バケットに積載し、所定のフレッシュ性状が得られていることを確認してから打設した。

主桁断面はU字型であり、底版にPC鋼材が配置されている。UFCの打設にあたっては、底版へのUFCの充てんを確実にするため、上下を逆にして底版側から打設することとした(写真-1)。打設には2機の投入バケットを使用し、一方のバケットからの打設が終了次第、他方のバケットから継続して打設できるようにした。打設は主桁の端部から開始し、打設箇所が型枠天端まで打ち上がるとバケットを横移動させ、片押しで打設した(写真-1)。

打設後は直ちに粗仕上げを実施し、表面を均すとともに表面付近の空気泡を除去した。また、表面の乾燥を防止するためにフィルムを密着させて養生した(写真-2)。仕

上げ面は桁の底面であり、美観が要求されたため、打設終了から約2時間後に再度空気泡の除去と平滑化を目的とした仕上げを実施した(写真-3)。その後は、表面から浮かせて主桁をシートで覆い、表面の乾燥を防ぐため、ならびに脱型に必要な強度を早期に得るため、シート内に蒸気を噴霧し、30℃程度で24時間の一次養生を行った。

(3) プレストレス導入

二次養生終了後、所定の圧縮強度(180N/mm²)が得られていることを確認した後、主桁を反転させて内型枠を脱型し、主ケーブル(1S21.8, P_i = 313kN/本)を緊張して主桁にプレストレスを導入した(写真-4)。

緊張においては、主桁に有害な応力が生じないように緊

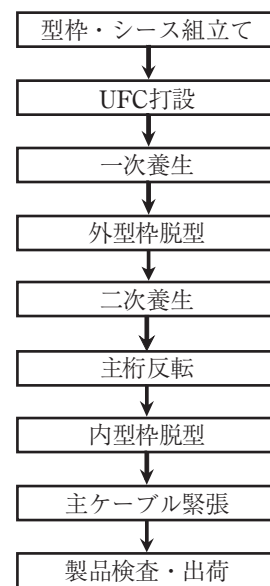


図 - 6 製作フロー

○ 工事報告 ○

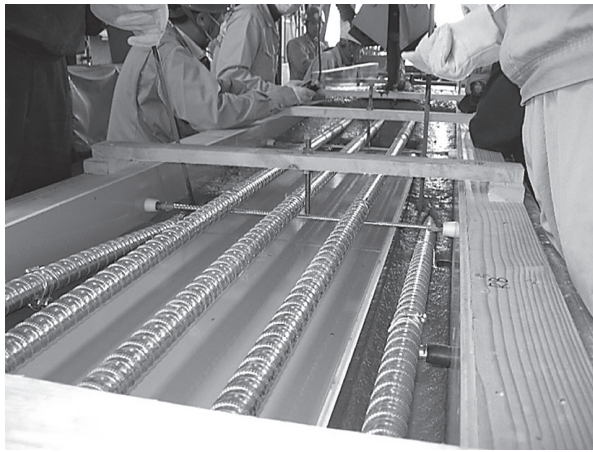


写真 - 1 UFC の打設



写真 - 2 フィルムによる養生



写真 - 3 表面の仕上げ

張順序を定め、主桁支持点を移動させながら作業を行った。具体的には、主桁の縁応力度がひび割れ発生強度を超えないように、緊張前は主桁端部から4.5mの位置で支持し、主ケーブル5本中1本を緊張した後、支持点を桁端部から2.5mの位置に移動して主ケーブル2本を緊張した。

このとき、軸直角方向の引張応力度を抑制するため、1本目は最初の緊張力を半分とし、2本目の緊張を終えてから残りの緊張力を導入した。さらに、支持点を主桁端部から0.35mの位置（完成時支点位置）に変更し、残りの主ケーブルの緊張を完了させた（図 - 7）。

この結果、本主桁は桁高支間比が約1/38と非常にスレンダーな桁であったが、収縮低減型UFCの採用、ならびに綿密な緊張手順の管理によって、ひび割れを生じることなく主桁を製作することができた。また、一括打設として継目での角折れをなくしたこと、ならびに適切な施工精度管理および綿密な緊張手順の管理により、主ケーブル緊張後のたわみ誤差を5mm以内に収めることができた。

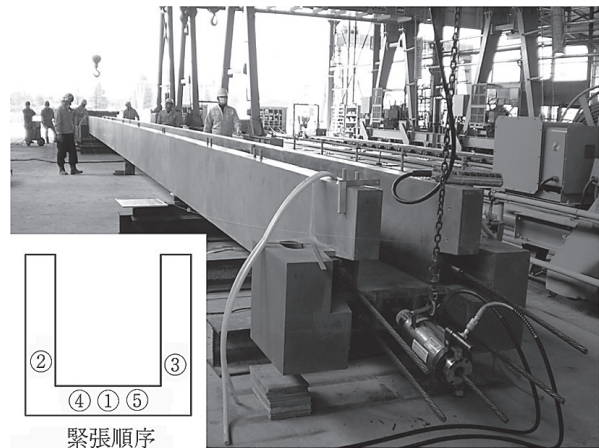


写真 - 4 主ケーブル緊張

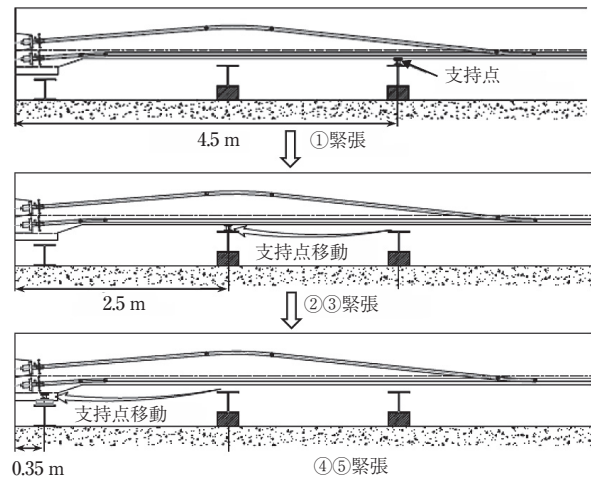


図 - 7 支持点の移動

5.2 桁の架設

(1) 桁の運搬

桁の運搬は、コンクリート製品工場（栃木県下野市）から架設現場（京都府木津川市）までの約600km間をポールトレーラーを使用して行った。輸送の際の振動や衝撃などによりUFC桁が損傷することが懸念されたため、H鋼を用いた架台上にUFC桁を固定した（写真 - 5）。また、



写真 - 5 UFC 桁の運搬荷姿



写真 - 7 UFC 桁架設後現場全景

桁の支持点を完成系と同一位置とし、桁の横揺れや転倒防止措置を行うことにより、損傷無く現地に運搬することができた。

(2) 桁の架設

隣接する市道橋（桁長 23.650 m のプレテンション PC 箱桁 4 本）を架設した後、UFC 桁 1 本（11.6 t）を架設した。架設は、160 t クレーンを使用して行い、現況 2 車線の国道 163 号を封鎖する形にクレーンを据付ける必要上、夜間規制 22：00～翌朝 6：00 までの全面通行止めによる架設を実施した（写真 - 6）。

架空線の影響により吊支点を完成時支点から 2 m 中心寄りの位置で吊上げる必要があったが、継目をなくしたことによって、架設中の主桁応力度に関して十分な安全性を確

保できた。また、UFC 桁の部材厚が薄く吊治具などを埋設することが困難であったため、ナイロンスリングワイヤーを桁に大廻しして玉掛を行ったが、桁内側をサポートで補強し玉掛による損傷を防止した。

架設時の振動や衝撃による桁の損傷が懸念されたため、吊上げから架設作業を慎重に進め、問題なく架設を完了することができた（写真 - 7）。なお、全面通行止めに伴う広域迂回誘導のため、約 160 名の交通誘導員を配置し、当日の夜間作業は、160 t クレーン用カウンターウェイトの組立て解体、桁架設、側部足場組立て、水路桁運搬架台解体・積み込みなどを行い、5：30 頃に通行止め解除ができた。

6. おわりに

以上のとおり、PC 水路橋に UFC を採用することによって厳しい建築限界を満足することができた。また、収縮低減型 UFC を使用することによってスレンダーな主桁を一括打設で製作し、主桁の施工精度を確保するとともに弱点となりやすい継目をなくすことができた。今後は本工事の実績を踏まえ、収縮低減型 UFC の特徴を活かすべく歩道橋や道路橋への適用を図りたい。

参考文献

- 1) 南雲, 一宮, 安宅, 石井: リバーサイド千秋連絡橋の設計と施工 - 超高強度繊維補強コンクリートおよび制震橋脚構造を用いた歩道橋 -, 橋梁と基礎, Vol.41, No.12, 2007 年 12 月
- 2) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリート「サクセム」の技術評価報告書, 技術推進ライブラリー No.3, 2006 年 11 月

【2010 年 11 月 9 日受付】



写真 - 6 UFC 桁架設状況