

超高強度繊維補強コンクリートの道路橋への適用事例

三井住友建設(株) 正会員 ○石井 精一
 三井住友建設(株) 正会員 工修 西村 一博
 三井住友建設(株) 正会員 児山 祐樹
 鹿島建設(株) 正会員 工修 一宮 利通

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート (Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete 以下, UFC) は, 国外から導入された技術であるが, 高い強度特性, 耐久性能, 自己充填性など優れた材料特性を有することから, 国内の構造物への適用にむけ, 設計・施工方法についての検討が進められ, 土木学会「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案)」(以下, 土木学会指針) にまとめられている¹⁾。

一方, 土木学会指針の標準配合粉体を用いた材料 (以下, 土木学会指針標準材料) と同等の性能を有する新たな UFC 材料が日本の技術で開発され, 実構造物へ適用され始めた。本報告は, 新たに開発された UFC 材料を, 初めて道路橋の主桁 (プレテンション桁) に適用し, 土木学会指針に準拠して設計・施工を行った事例について報告するものである。

2. 橋梁概要

本橋は, 公道から民間施設への進入路橋として計画された道路橋である。表-1に, 橋梁概要を示す。

本橋の断面は, UFC を使用した主桁 (プレテン桁) と一体化される間詰めコンクリートより構成されている。そして, 工場で製作した UFC 製プレテン桁を架橋位置まで運搬・架設した後, 桁間に間詰めコンクリートを打設, 横筋 PC 鋼材で全ての桁を一体化して構成される床版橋で, 一般的にこの規模の支間に採用されるプレテンション方式中空床版橋 (JIS スラブ橋げた) と同様の構造形式である。本橋の構造一般図を図-1に示す。

表-1 橋梁概要

工事名	(仮称)アクトアタウン開発工事
工事場所	愛媛県西条市
橋種	プレストレストコンクリート道路橋
構造形式	プレテンション方式PC単純床版橋
荷重	A活荷重
橋長	13.000m
桁長	12.940m (実桁長12.942m)
支間長	12.440m
幅員	車道6.00m、歩道1.600m×2

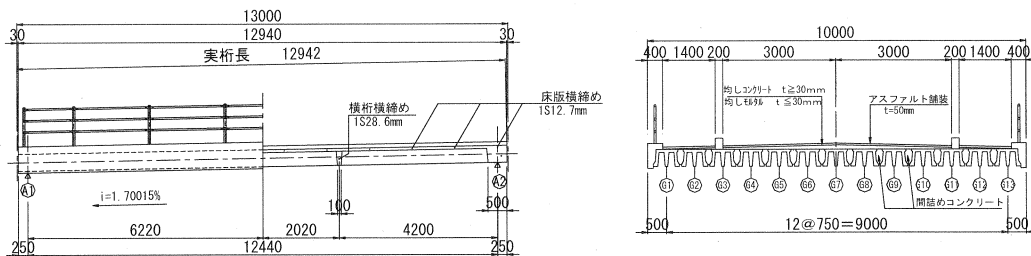


図-1 構造一般図

3. 新たに開発された UFC 材料について

日本の技術で開発され本橋に使用した UFC 材料は, エトリングait生成系の UFC で, 直径 0.2mm, 公称繊維長が 15mm と 20mm の 2 種類の鋼繊維をブレンドした補強用繊維を 1.75vol.% 混入している。公称繊維長 20mm の繊維を混入し繊維の補強効果を効率的に利用することによって, 繊維長 15mm の鋼繊維を 2.0vol.% 混入した土木学会指針の標準材料と同等の性能を得られるものである。

また、製作時の養生条件においても、比較的低い温度および短い時間の熱養生（蒸気 85℃で 20～24 時間）で土木学会指針標準材料（蒸気 90℃で 48 時間）と同等の性能が得られるなどの特長を有している。本橋で使用した UFC 材料と土木学会指針標準材料との比較を表-2 に示す。

表-2 UFC 材料比較

	土木学会指針の 基準値	土木学会指針 標準材料	本橋
圧縮強度	150N/mm ² 以上	180N/mm ²	180N/mm ²
ひび割れ発生強度	4N/mm ² 以上	8N/mm ²	8N/mm ²
引張強度	5N/mm ² 以上	8.8N/mm ²	8.8N/mm ²
鋼繊維混入率	2.0%以上を標準	2.0%	1.75%
養生方法	熱養生（蒸気90℃で48時間）		熱養生（蒸気85℃ で20～24時間）

4. 設計の概要

4.1 主桁断面形状の設定

UFC の特徴は、卓越した引張特性により部材厚を薄くできること、材料の緻密性よりかぶりを薄くできること、打設時に締め固めが不要なことなどがあげられる。一方、打重ね部分や合流部は繊維が混ざらないため、突き棒により繊維の配向性を分散させる必要があり、部材断面の設定にあたりこれらを考慮する必要がある。以下に主桁断面形状（図-2）の設定について述べる。

中空床版のような閉断面構造とした場合、UFC 打設時において下スラブ部分が密閉された箇所での合流部となる。よって UFC の打設性を考慮して開断面構造とした。また、版状の部材（t=75mm）に対し剛性を確保するためにリブ状の部材を設け、部材厚は PC 鋼材のかぶりおよびあきから決まる最少厚とした。

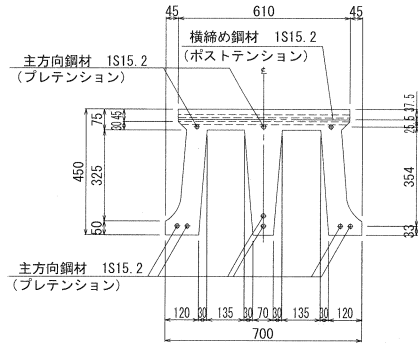


図-2 主桁断面図

4.2 解析モデル

主桁断面形状が特殊であること、主桁と間詰め部の剛性が大きく異なることなどから、これらの版としての挙動を詳細に把握し設計に反映させるため、全橋モデル（9.7m×12.94m）の3次元 FEM 解析（図-3）により解析を行った。

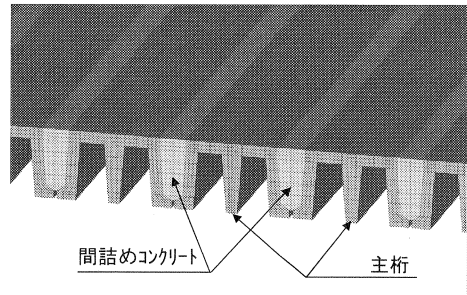


図-3 FEM 解析モデル

また、主桁、床版の設計とも活荷重を FEM モデルに実載荷させる手法とした。

4.3 主桁の設計

活荷重は道示に従い T 荷重を用いた（支間長 15 m 以下の床版橋）。使用限界状態における引張応力度の制限値は設計ひび割れ発生強度（8.0N/mm²）以下とし、主方向の PC 鋼材本数（IS15.2）を決定した。また、プレストレスによるそり量を抑えるため主桁の上縁側にも PC 鋼材（IS15.2）を配置した。

4.4 床版の設計

活荷重は道示に従い T 荷重を用いることとし、引張応力度が最も厳しくなるように載荷した。

床版は UFC 桁部と間詰め部で構成される。これら

表-3 上部工比較

	中空床版桁	UFC 桁	比率 (UFC/中空)	
主桁本数	13本	13本	—	
桁高	500mm	450mm	—	
断面形状	閉断面	開断面	—	
主方向鋼材	IS15.2 12本	IS15.2 9本	—	
中間横桁数	3箇所	2箇所	—	
桁1本重量	8.2t	5.3t	0.65	
全体主桁重量	桁	106.6t	68.9t	0.65
	間詰	20.3t	25.6t	1.26
	合計	126.9t	94.5t	0.74
橋面荷重全重量	55.7t	55.7t	1.00	
死荷重合計	182.6t	150.2t	0.82	
PC鋼材重量	主方向	2223kg	1667kg	0.75
	横締め	253kg	251kg	0.99
	合計	2476kg	1918kg	0.77

の部位ごとに引張応力度の制限値を設定し、UFC 桁部で設計ひび割れ発生強度以下、間詰部でフルプレストレスとした。この制限値を満足するように床版横締め鋼材および横桁横締め鋼材を配置した。

4.5 中空床版桁 (JIS 桁) と UFC 桁 との比較

一般的に使用されている同支間のプレテンション方式中空床版桁 (JIS 桁) との比較を表-3 に示す。

UFC 桁の重量は中空床版桁と比較し桁 1 本当たりで 35%減、全体主桁重量で 26%減となった。また、PC 鋼材重量は 23%減となった。

5. 施工の概要

5.1 UFC 桁の製作

(1) 製作フロー

UFC 製主桁の製作は、JIS 認定を受けたコンクリート 2 次製品工場にて行った。製作フローを図-4 に示す。

(2) 練混ぜ

練混ぜは、容量 1.0m³ の強制 2 軸式ミキサ 2 台で並行して行った。

練混ぜ量は、1 バッチ 0.8m³ とし、桁 1 本約 2.1 m³ を 3 バ

ッチで製造した。UFC 材料は、プレミックス結合材、骨材、

水、混和剤、鋼繊維で構成されている。水プレミックス結

合材比は 15%程度と極めて少ないため、単位水量の増減に

対する品質の変化が鋭敏である。よって、一般のコンクリ

ート同様骨材の表面水率補正を行った。練混ぜ方法およびその時間については、事前に試験を行い決定

した。UFC の配合を表-4 に示す。

(3) 打設

打設に際しては、UFC の打重ね部および合流部について、弱点にならないように突き棒によるかき乱

しを行い、鋼繊維の配向を分散させた。練混ぜ開始から、桁 1 本の打設完了まで約 1 時間程度であった。

打設終了後は、表面の乾燥を防ぐために、速やかに表面均し作業を行うと共に被膜養生剤を散布することにより水分の蒸散を防いだ。

ことにより水分の蒸散を防いだ。

ことにより水分の蒸散を防いだ。

(4) 養生

打設後は、雰囲気温度による一次養生を行い、所定の強度発現を確認した後プレストレスを導入した。

その後、蒸気による二次養生を行った。蒸気養生は、昇温速度を+15°C/h とし、85°Cに達した後、24 時間保持し、その後-3°C/h を目標に除冷した。

その後、蒸気による二次養生を行った。

(5) 品質管理

品質管理は、UFC 練り上がり時のフレッシュ性

状確認と、二次養生後の強度等の物性値および出来形、変形量等の確認を行った。表-5 に、品質

管理試験結果を示す。

また、工場出荷前に、設計荷重時に発生する引

張応力の最大値 (下縁応力度-5.0N/mm²) に相当する荷重を

載荷することにより桁の性能を確認した。

載荷試験の結果、桁中央でのたわみは、実測値

δ=20.2mm で、解析値 21.4mm とほぼ一致し、ひ

び

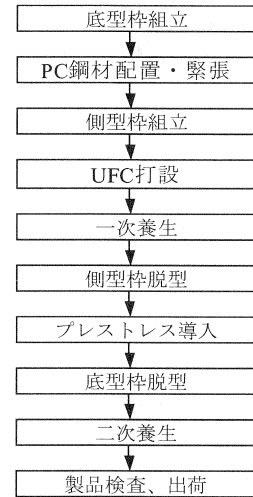


図-4 製作フロー

表-4 UFC 配合

単位: kg/m ³				
水	粉体	骨材	鋼繊維	混和剤
195	1287	905	137.4	45

水の単位量は混和剤の水分を含む

水の単位量は混和剤の水分を含む

表-5 UFC 品質管理試験結果

管理項目	基準値	最大値	最小値	平均値
フロー値	250±20mm	269	255	264
空気量	5%以下	4.2	3.5	3.8
コンクリート温度	40°C以下	33.1	29.6	31.1
圧縮強度	180N/mm ²	197	183	188
ひび割れ発生強度	8.0N/mm ²	12.4	8.7	10.4
引張強度	8.8N/mm ²	12.7	10.1	11.2

び割れも発生しなかった。

5.2 上部工の施工

全 13 本の桁は、トレーラー4 台で現地まで運搬した。架設は、桁重量が 5.3tf と軽量化が図られているため、50t 吊りラフタークレーンでの施工が可能であった。荷下ろしから全 13 本の架設完了まで 2 時間程度で完了した。

主桁架設後、間詰めコンクリートを打設し、横締め PC 鋼材を緊張することにより一体化した。その後、地覆、調整コンクリート等の橋面工を施工し、完成に至った(写真-1)。

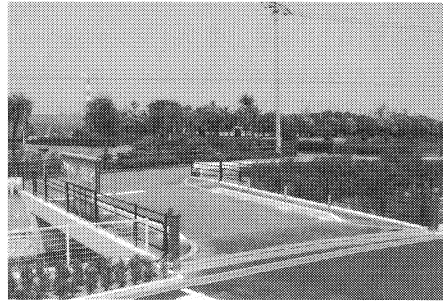


写真-1 完成写真

6. 実橋載荷試験

調整コンクリート完了後、実橋載荷試験により橋全体としての挙動を確認した。試験は載荷荷重に 25t 吊りラフタークレーン 2 台 (26.5tf/台) を用いて 3 ケースの載荷を行い、たわみと支間中央の主桁橋軸方向ひずみを測定した。

たわみおよびひずみから推定した応力は、版の剛性のみを考慮した解析値に対し 60%程度となった。そこで、上部工重量の 29%を占める調整コンクリート (平均厚 $t=112\text{mm}$) と地覆の剛性を評価したところ、たわみとの相関は概ね良好で、応力はやや少ない傾向にあったものの、概ね解析値に近い挙動を示した。クレーンの車体中心を支間中央位置として載荷した場合の解析値との比較を図-5, 6 に示す。

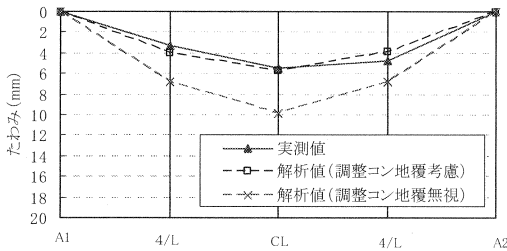


図-5 橋軸方向たわみ (構造中心)

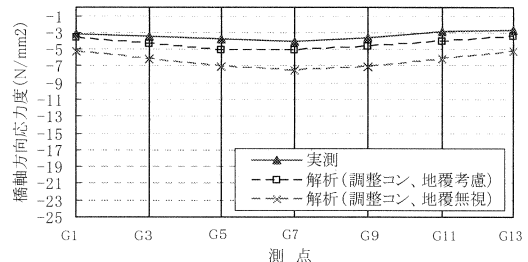


図-6 主桁下縁橋軸方向応力度 (支間中央)

7. まとめ

確認された事項を以下にまとめる。

- (1) 同支間で一般的なタイプの中空床版桁と比較して、
 - ・主桁 1 本当たりで 35%、床版橋の全体主桁重量で 26%の軽量化が図られた。
 - ・PC 鋼材量は 23%減少した。
- (2) 新たな UFC 材料を使用して、土木学会指針に準拠して設計施工を行った結果、主桁単体および橋梁全体として概ね解析値に近い挙動を示し、設計の妥当性を確認できた。
- (3) 本橋で使用した UFC 材料は、土木学会指針の標準材料と異なる組成や製造条件を有しているものの、実施工においても標準材料と同等の強度特性及び施工性を示した。

参考文献

- 1) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案)，土木学会コンクリートライブラリー第 113 号，2004.9