

UFC を用いた PC 歩道橋の事例とその特徴

武者 浩透^{*1}・大島 邦裕^{*2}・細谷 学^{*3}・稲原 英彦^{*4}

1. はじめに

近年、圧縮強度 200 N/mm² を有する超高強度繊維補強コンクリート (Ultra high strength Fiber reinforced Concrete; 以下, UFC) が開発され、土木構造物への適用が進んでいる。この UFC は強度が高いだけでなく、鋼繊維の補強効果により高いじん性が確保され、マトリックスの緻密構造によりきわめて高い耐久性をも有している。UFC の構造物では、これら超高強度や高耐久性によって実現される部材の薄肉化と軽量化の利点により、橋梁分野での適用が先行しており、8 ~ 15 cm といった部材厚やスパン 50m を超える単純桁など、従来のコンクリートでは達成できなかった構造が可能となった。UFC 橋梁としては、国内では現在までに歩道橋 9 橋、道路橋 (部分使用を含む) 3 橋が完成している。また、2004 年には、この UFC 材料を構造物へ適用する際の指針「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針 (案)」¹⁾ (以下, UFC 指針) が土木学会から発刊されている。

UFC 構造物はその材料や特性の特殊性により、その設計手法から構造形式、施工方法に至るまで、従来のコンクリートにない新しい技術が用いられている。本報告では、UFC を用いた PC 橋梁のうち、実績が多くユニークな技術が適用されている PC 歩道橋 (以下, UFC 歩道橋) について事例を紹介し、その特徴を述べる。

2. UFC 材料 (ダクトル) の特性^{2, 5)}

本報告で紹介する UFC 歩道橋には、UFC 材料であるダクトルが用いられている。ダクトルは、セメント、ポゾラン材等の反応性微粉末を使用した無機系複合材であり、次に示す特性を有している。

2.1 超高強度

圧縮強度の特性値 180 N/mm² を有するほか、引張強度についても設計上考慮することが可能である。標準熱養生

(90℃の給熱養生)により所定の強度が発現し、物性値も安定するため、収縮およびクリープも非常に小さい。表-1に通常の高強度コンクリートと対比したダクトルの物性値を示す。

2.2 高耐久性

ダクトルの水結合材比は $W/B = 0.14$ と、水和反応限界まで単位水量を低く抑えており、生成物中の空隙を極限まで抑えた最密充てんにより組織は高緻密である。表-1に示すように、ダクトル中の物質移動に関する抵抗性はきわめて高く、透水係数および塩化物イオンの拡散係数は、通常の高強度コンクリートの $1/106$ および $1/300$ 程度である。そのため、鋼材位置 (かぶり 20 mm) における塩化物イオン濃度の経年変化もきわめて遅い (図-1)。

表-1 ダクトルと高強度コンクリートの比較¹⁾

項目	単位	ダクトル ^(※1)	高強度コンクリート (例)
圧縮強度 ^(※2)	N/mm ²	180	40
ひび割れ発生強度 ^(※2)	N/mm ²	8.0	1.2
引張強度 ^(※2)	N/mm ²	8.8	2.7
ヤング係数	kN/mm ²	50	31
単位容積質量	kN/m ³	25.5	24.5
収縮ひずみ		50×10^{-6}	230×10^{-6}
クリープ係数		0.4	2.6
透水係数	cm/s	4×10^{-17}	1×10^{-16}
塩化物イオン拡散係数	cm ² /年	0.002	0.700

(※1)：標準熱養生後
(※2)：特性値

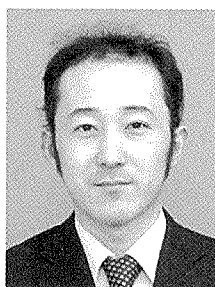
2.3 高いじん性

ダクトルは、高張力鋼繊維 (引張強度 2.0×10^3 N/mm² 以上、直径 0.2 mm、長さ 15 mm) を容積比で 2 % も配合するため、鋼繊維の架橋効果によりひび割れ幅の抑制効果にきわめて優れ、高いじん性を有する。そのため、ダクトルの構造物には原則として鉄筋を使用しない。



^{*1} Hiroyuki MUSA

大成建設 (株) 技術センター



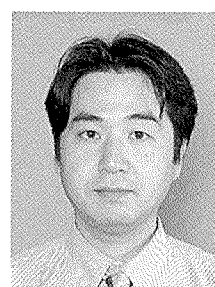
^{*2} Kunihiro OHSHIMA

大成建設 (株) 技術センター



^{*3} Manabu HOSOTANI

大成建設 (株) 土木設計部



^{*4} Hidehiko INAHARA

大成建設 (株) 土木設計部

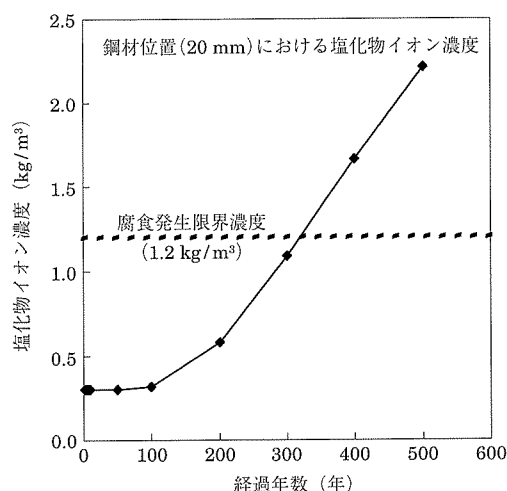


図-1 塩化物イオン濃度の経年変化¹⁾
(表面塩化物イオン濃度：飛沫帯環境を想定し 13 kg/m³)

3. UFC 歩道橋の特徴

前項に示すような優れた特性を有する UFC 材料であるが、PC 橋梁への適用性を考えた場合、その材料の性質上、以下に示すような制約条件がある。

① プレキャスト部材としての使用

UFC は高品位な材料であるため、その品質管理を厳格に行う必要がある。また、脱型後に 90℃ の給熱養生を行うことにより、打設から最短で 5 日程度ののちに約 200 N/mm² の最終強度を得ることができる反面、UFC 部材の製作には、蒸気養生設備が必要となる。そのため現時点では、UFC 部材は工場での製作が必要であり、プレキャスト部材としての構造物への適用が前提である。

② 経済性を考慮した適用

従来のコンクリートの延長線上で超高強度の確保を考えた場合、良質な粗骨材の確保が課題となる。また、マトリクスと粗骨材界面との付着力確保も問題であり、とくに曲げやせん断力が生じる梁部材ではその界面が弱部になる可能性が高い。そのため、UFC では粗骨材を用いず、反応性粉体を多量に配合することにより超高強度を確保するとともに、高緻密による耐久性をも得ている。また、じん性確保のため 1 m³ あたり 157 kg もの多量の鋼繊維を配合している。このような配合であるため、UFC の材料単価は必然的に高くなり、構造物への適用の際には、部材厚を削減するなどして UFC 材料の使用量を極力抑えるほか、構造上や施工上の工夫により経済性を得ることが必要である。

以上の制約と先に述べた材料特性を踏まえ、UFC が PC 歩道橋へ適用された事例においての、構造・形状の基本的な特徴を次に示す。

3.1 薄い部材厚

UFC の超高強度を活用するとともに、鉄筋を使用しないことによる「かぶり」の規定からの解放により、薄い部材厚が実現可能となる。図-2 に UFC 歩道橋の部材厚とスパンの関係を示すが、スパン 50 m まではその部材厚（上下床版およびウェブ厚）が 5～13 cm の範囲でほぼ納まって

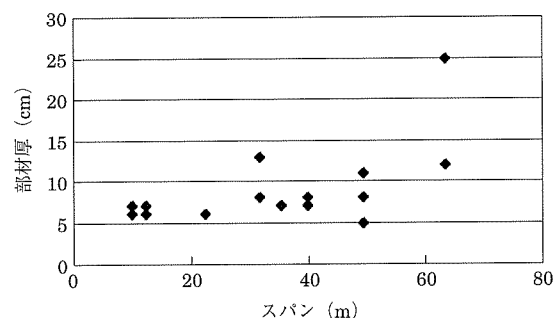


図-2 部材厚とスパンの関係

おり、スパンにかかわらず非常に薄いことが分かる。また、多くの UFC 歩道橋で全外ケーブル方式を採用していることも、部材厚を薄く抑える要因となっている。

3.2 軽量化

薄い部材厚の採用により、自重の大幅削減が可能である。図-3 は橋面 m² あたりの UFC 量とスパンの関係を示しているが、UFC 量は 20 cm 前後と、一般の PC 橋梁に比べて 1/4 程度の使用量であり、大幅な軽量化を裏付けている。

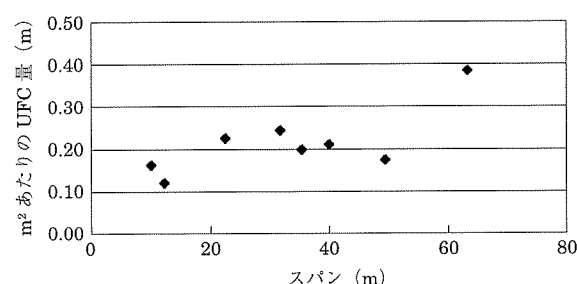


図-3 m² あたりの UFC 量とスパンの関係

3.3 低桁高・長スパン

部材が薄いため、プレストレスによる導入圧縮応力度が、従来のコンクリート橋に比べて数倍高いうえ、軽量化により自重を支えるための力も少なくて済み、低桁高や長スパンが可能となっている（図-4）。

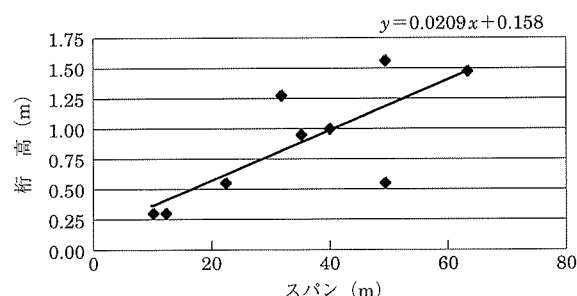


図-4 桁高とスパンの関係

4. UFC の歩道橋への適用事例

4.1 酒田みらい橋^{2, 3)}：2002 年竣工（写真-1）

本橋は、山形県酒田市の新井田川にかかる歩道橋で、UFC を適用した日本初の PC 橋梁であり、橋長 50.2 m の単

径間 PC 箱桁橋である。以下にその特徴を示す。

- ① 非常に薄い部材厚（写真 - 2）：上床版厚 5 cm，ウェブ厚 8 cm
- ② 躯体重量が 53 t と大幅な軽量化（従来のコンクリート橋重量の 1/5 程度）
- ③ 低い桁高（桁端部 55 cm）で長いスパン長（50 m）：標準的な単純箱桁のスパン 50 m 程度の桁高スパン比は 1/17 程度であるが、本橋では桁端部で 1/90，中央部桁高（1.56 m）で 1/32 となっている。

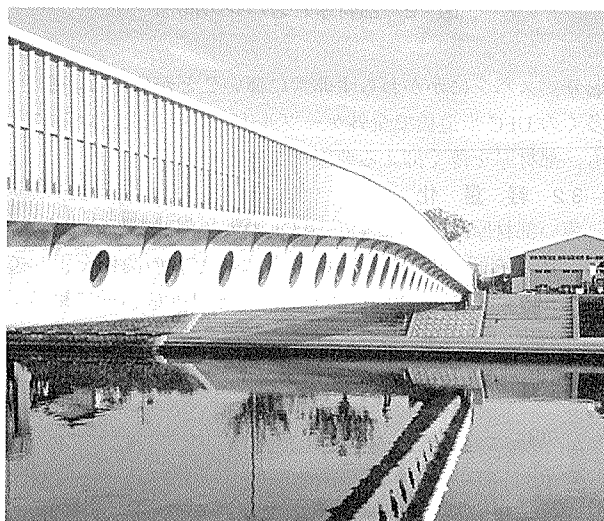


写真 - 1 酒田みらい橋

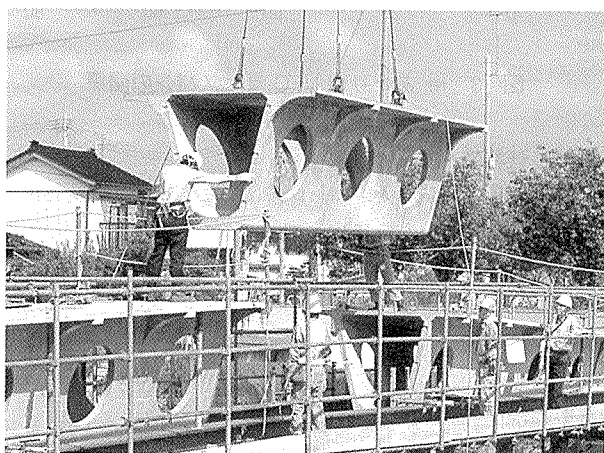


写真 - 2 酒田みらい橋 架設状況

- ④ ウェブに大きな円形開口部を設けた特徴あるデザイン

4.2 赤倉温泉ゆけむり橋^{4, 5, 6)}：2004 年竣工(写真 - 3)

本橋は、山形県最上町の赤倉温泉地区に建設され、橋長 36.4 m，有効幅員 3.0 m の単径間 PC 箱桁橋である。

- ① 上床版，下床版，ウェブともに部材厚は 7 cm
- ② 桁高は 95 cm で，桁高/スパン比は約 1/40
- ③ 箱桁断面を上床版と U 桁に上下分離

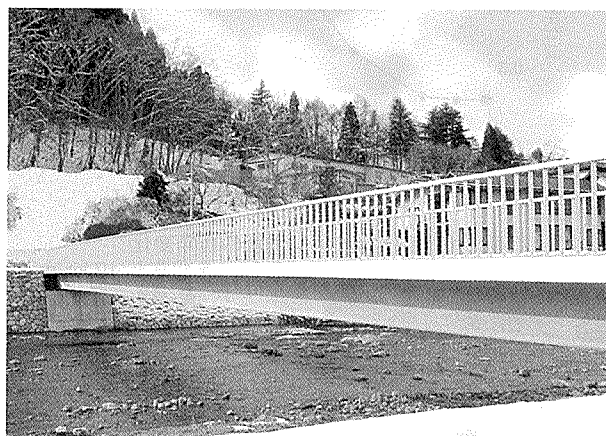


写真 - 3 赤倉温泉ゆけむり橋

4.3 豊田市総合体育館横断歩道橋⁷⁾（仮称）：2007 年竣工（写真 - 4）

本橋は、愛知県豊田市に新設された総合体育館へのアプローチ橋で、橋長 28.0 m，有効幅員 4.0 m の単径間 PC2 室箱桁橋である。UFC 橋梁としては初めてのドライジョイント接合（接着剤接合）方式が採用されている。



写真 - 4 豊田市総合体育館横断歩道橋（仮称）

表 - 2 UFC 歩道橋の橋梁諸元（その 1）

	酒田みらい橋	赤倉温泉ゆけむり橋	豊田市横断歩道橋
構造形式	単径間 PC 箱桁橋	単径間 PC 箱桁橋	単径間 PC 2 室箱桁橋
PC 鋼材	25S15.2B × 2 本（全外ケーブル方式）	25S15.2B × 2 本（全外ケーブル方式）	25S15.2B × 2 本（全外ケーブル方式）
橋長	50.2 m（支間長 49.35 m）	36.4 m（支間長 35.3 m）	28.007 m（支間長 22.500 m）
幅員	総幅員 2.4 m（有効幅員 1.6 m）	総幅員 3.5 m（有効幅員 3.0 m）	総幅員 4.72 m（有効幅員 4.0 m）
桁高	0.55 m（端部），1.56 m（中央部）	0.95 m	0.55 m
部材厚	上床版：5 cm，下床版：11 cm ウェブ：8 cm	上床版：7 cm（リブ付），下床版：7 cm ウェブ：7 cm	上床版：6 cm，下床版：6 cm ウェブ：6 cm
支承構造	ゴム支承	ゴム支承	ゴム支承
工期	2002 年 4 月～2002 年 10 月	2003 年 9 月～2003 年 12 月	2005 年 12 月～2007 年 2 月



写真-5 豊田市横断歩道橋 断面写真

4.4 曳田歩道橋：2007 年竣工（写真-6）

本橋は、2007 年に鳥取県に建設され、橋長 64.5 m であり、UFC 橋としては最大のスパン長 63.3 m を誇る。コンク



写真-6 曳田歩道橋

リートの下路桁橋としては世界最大規模であると思われる。

- ① ウェブ厚 12 cm，下床版厚 25 cm
- ② ウェブに無数の開口を設置した特長あるデザイン

4.5 三兼池橋⁸⁾：2007 年竣工（写真-7）

三兼池橋は、福岡県大野城市にあるニュータウン内に建設された。橋長 81.2 m（支間長 2@39.9 m），有効幅員 3.0 m の 2 径間連続 PC 箱桁橋である。UFC を用いた PC 橋梁としては、初めての連続桁形式であり、本格的な長大橋への足がかりとなる橋である。

- ① 上床版 7 cm，ウェブ 8 ～ 20 cm，下床版 8 cm
- ② 桁高は 1.0 m で、桁高 / スパン比は約 1 / 40
- ③ 箱桁断面を上床版と U 桁に上下分離

4.6 海外事例

(1) シャルブルック橋：1997 年竣工（写真-8）

カナダのシャルブルック大学構内に架けられた UFC を用いた初めての橋梁で、60 m のスパンを有することとトラス

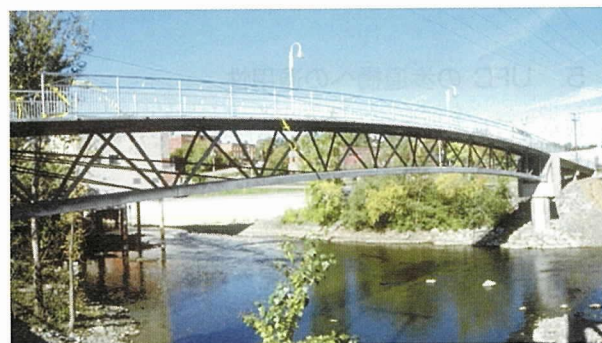


写真-8 シャルブルック橋

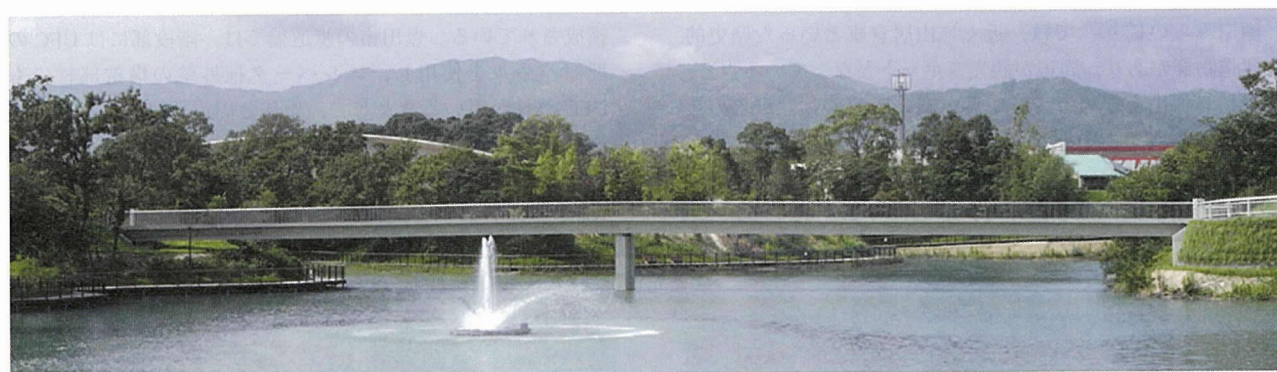


写真-7 三兼池橋

表-3 UFC 歩道橋の橋梁諸元（その2）

	曳田歩道橋	三兼池歩道橋	シャルブルック橋	仙遊橋
構造形式	単径間 PC 下路桁橋	2 径間連続 PC 箱桁橋	単径間トラスウェブ橋	単径間 PC π 形断面アーチ橋
PC 鋼材	19S15.2B × 8 本 (内ケーブル方式)	25S15.2B × 2 本 (全外ケーブル方式)	4S12.4 and 7S12.4:12 本 (内外ケーブル併用)	12S15.2B × 6 本 (内ケーブル方式)
橋長	64.5 m (支間長 63.3 m)	81.2 m (支間長 2@39.9 m)	スパン 60 m	アーチスパン 120 m (ライズ 15 m)
幅員	総幅員 3.0 m (有効幅員 2.0 m)	総幅員 3.6 m (有効幅員 3.0 m)	総幅員 3.3 m (有効幅員 2.9 m)	総幅員 4.30 m (有効幅員 3.0 m)
桁高	1.48 m (標準部)，1.98 m (桁端部)	1.0 m	3.0 m	1.3 m
部材厚	ウェブ：12 cm，下床版：25 cm	上床版：7 cm (リブ付)， 下床版：8 cm ウェブ：8 ～ 20 cm	上床版：3 cm (リブ付)， 下床版：38 cm ウェブ： ϕ 15 cm	上床版：3 cm (リブ付)， ウェブ：16 cm
支承構造	ゴム支承	ゴム支承	不明	—
工期	2006 年 12 月～2007 年 5 月	2005 年 12 月～2007 年 2 月	1997 年完成	2002 年完成

ウェブ構造を採用している点で特徴ある橋である。

(2) 仙遊橋：2002 年竣工（写真 - 9）

韓国のソウル市内に架けられたスパン 120m のアーチ橋で、接続の鋼桁から UFC 製のアーチリブの上を歩いて渡るユニークなデザインとなっている。

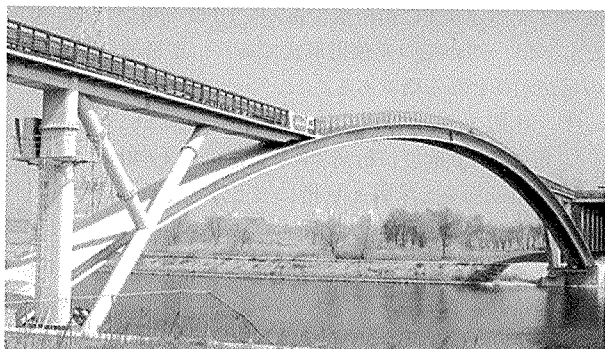


写真 - 9 仙遊橋

5. UFC の歩道橋への適用性

前章までにあげた基本的な構造の特徴と実績を踏まえ、UFC 歩道橋への適用性を次に示す。

5.1 景観デザインへの対応

PC 歩道橋には、建設地点の景観にマッチした高いデザイン性を求められることが少なくない。UFC 歩道橋では、先に述べた低桁高や長スパンが可能であるのに加えて、鉄筋の配置による形状の制約がなく、高流動性により比較的複雑な構造にも対応できることから、桁橋などの単純な構造形式においても景観デザインへの対応が可能である。

酒田みらい橋^{2,3)}では、近くに山居倉庫といった歴史的な建造物群があり、周辺が観光スポットとなっている点と、背景に鳥海山を望めることから、高いデザイン性が求められた。そのため、中間橋脚のない 50 m のスパンとするとともに、端部の桁高を 55 cm までに抑え、さらにはウェブに大型の円形開口部を設けて、軽量感や透明感を演出し、背景の鳥海山とのシルエットの調和を図っている。

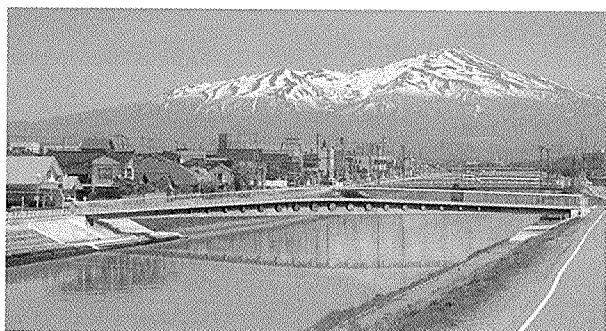


写真 - 10 鳥海山を背景とした酒田みらい橋

曳田歩道橋では、コンクリートの下路桁橋でありながら、63.3 m の長スパンを実現して力強さを表現している。また、下路桁橋特有の歩行者に対する側壁（ウェブ）の圧迫感や、

桁高による重厚的な外観を払拭するため、ウェブに多数の楕円状の開口を形状を変化させながら配置して、軽快感やリズムカルな印象を与える配慮がなされている。

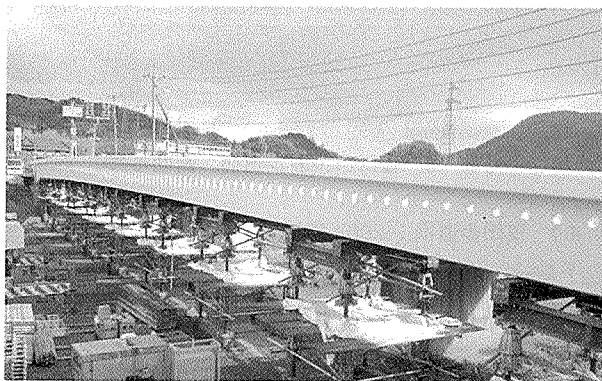


写真 - 11 リズミカルな開口を有する曳田橋

宅地造成地内に建設された三兼池橋⁸⁾では、桁高スパン比を 1/40 に抑え、直線的な形状でありながら、薄さを強調することにより、水上を歩くことへの緊張感を感じさせ、スレンダーな形状にて近代的な印象を与えることにより、新しい住宅地の未来を象徴するシンボルとしての存在感を演出している（写真 - 7）。

また、成形形状の自由度や素材感を活用し、橋の付属物や周辺構造物にも UFC は用いられている。酒田みらい橋²⁾では、親柱や車止めにも UFC を使用している（写真 - 12）。この親柱は、鉄に匹敵するほどの圧縮強度を有する UFC を用いて建設された橋であることをアピールするため、形鋼をイメージしてデザインされ、30 mm と 60 mm の部材厚で構成されている。豊田市の歩道橋では、階段部には UFC の埋設パネルを使用し、エレベータ棟外壁の構造部材にも UFC 部材が用いるなどして、橋体と周辺施設の素材感の統一が図られている（写真 - 13）。

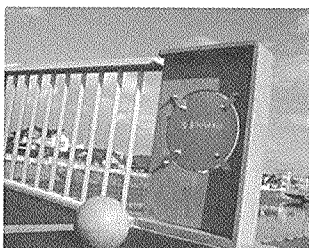


写真 - 12 親柱と車止め

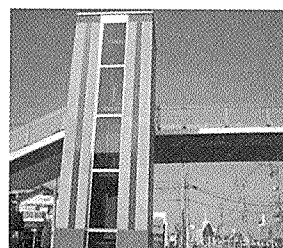


写真 - 13 エレベータ棟

UFC 歩道橋は、桁の断面にもデザイン性をもたせている場合が多い。酒田みらい橋では、下床版側の幅を狭くし（写真 - 14）、河川脇の遊歩道の歩行者からの、桁の見え方の変化を与えている。シャルブルック橋では、スパンが 60 m であるため、桁高を 3 m と高くし断面剛性を確保しているが、トラスウェブ構造（写真 - 15）の採用により、非常に軽快な景観である。また、仙遊橋ではアーチスパンが 120 m にもかかわらず、桁高を 1.3 m まで押さえ込み、 π

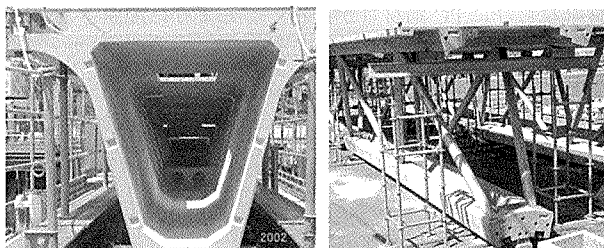


写真-14 酒田みらい橋断面 写真-15 シャルブルック橋断面

形断面（写真 - 16）を採用するなど、デザイナーのこだわりが感じられる橋である。

写真 - 16 仙遊橋の π 形断面

5.2 各構造形式への適用性

事例が増えるにしたがいさまざまな構造形式への適用が進んでいる UFC 材料ではあるが、先に述べた材料および構造特性と、プレキャスト部材であることや経済性とのバランスといった条件により、PC 橋梁への適用性にはある程度の傾向が見られる。以下に、UFC の PC 橋梁への適用性をいくつかの側面から考察する。また、考察の結果を表 - 4 に示す。

(1) 構造形式から見た適用性

構造形式には、単純桁橋、連続桁橋、ラーメン橋、斜張橋、アーチ橋などがあるが、UFC 橋においては韓国の仙遊橋がアーチ橋であることを除き、他の実績はすべて桁橋である。これは日本で初めての PC 橋梁がスパンの短い桁橋であったように、新しい技術はシンプルな構造から適用される技術発展のステップであるといえる。そのため、UFC 橋の構造形式としては当面の間、単純桁橋や連続桁橋などの桁橋での適用が多いものと考えられる。しかしながら、UFC 歩道橋について注目すべき点は、シンプルな単純桁形式でありながら、実用の初期段階から長スパンやまったく新しい構造を用いている点である。

初の UFC 橋であるシャルブルック橋は 60 m のスパンでトラスウェブ構造を採用しており、日本で UFC が初めて採用された酒田みらい橋では、50 m のスパンで端部の桁高を桁高スパン比で 1/90 までに抑え込んでいる。このように UFC を用いた場合には、単純な桁橋形式でありながら、その材料特性を活かすために、構造上の工夫や新しい試みがなされている。

(2) 断面形状とケーブル配置

UFC 橋の設計において、断面形状の選択で留意しなければならないのは、剛性の確保である。UFC 橋は経済性の観

表 - 4 UFC の各構造形式への適用性

構造形式分類	適用性	適用に際しての考察
単純桁橋	◎	適している：実績 7 橋
連続桁橋	◎	適している：実績 2 橋
ラーメン橋	○	脚頭部構造・耐震設計法の工夫が必要
斜張橋、 エクストラード橋	○	エクストラード橋への適用の可能性有り
アーチ橋	○	適している：実績 1 橋
吊床版橋	△	一般的に UFC 適用のメリットは少ない
トラスウェブ橋	○	トラス部材の設計に工夫が必要：実績 1 橋

断面形状分類	適用性	適用に際しての考察
床版橋	○	断面剛性の確保に課題：実績 1 橋
T 桁橋	○	適している
版桁橋	◎	適している：実績 3 橋
下路桁橋	◎	桁下制限やアプローチ高の制限がある場合に有効：実績 2 橋
箱桁橋	◎	適している：実績 5 橋

ケーブル配置の方式	適用性	適用に際しての考察
内ケーブル方式	○	ポストテンション方式では部材が厚くなる：実績 6 橋
内外ケーブル併用方式	○	外ケーブルは主方向、内ケーブルは主方向の架設時および横締め用：実績 1 橋
全外ケーブル方式	○	部材を薄く設定できる：実績 4 橋

(※表中の実績は、UFC 歩道橋での適用橋数：国内 9 橋、海外 2 橋)

点から部材を薄くすることが通常求められ、その結果、従来のコンクリート橋に比べて剛性が小さくなる傾向にあり、振動やたわみのチェックが重要であるとともに、断面剛性の確保に工夫が必要である。そのため、断面剛性の得にくい床版橋への適用は少ないと考えられる。

UFC 橋の適用が適していると思われるのは、T 桁橋、版桁橋、箱桁橋であるが、薄い部材厚では内ケーブルの配置が難しいことから外ケーブル使用のケースが多いと思われる。

一方、下路桁橋は、構造上により内ケーブル配置が前提となるため他の形式に比べて部材厚が厚くなるが、スパンを大きくできる UFC 橋においては、桁下の制限がある場合や、アプローチ部からの擦り付けによって床版厚を極力抑えたい場合などには大変有効である。

(3) 適用スパン

UFC は高性能なコンクリートであることから、UFC 歩道橋の適用可能なスパンは、コンクリート橋の全範囲をカバーし、かつ鋼橋の領域である 70 m 程度のスパンまでの適用が可能である。しかしながら、一般的なコンクリートのプレキャスト桁等の適用範囲である 20 m 以下のスパンにおいては、経済性の観点から適用のメリットは少ない。そのため、UFC 歩道橋では、PC 橋梁での工事単価が上昇する範囲から鋼橋の範囲までの 25 ～ 70 m が適用スパンとしての目安と思われる。ただし、景観や桁高等の制約条件がある場合には 20 m 以下であっても適用が考えられる。また、今後の UFC の普及状況や技術の発展によっては、適用スパンの広がりが期待される。

6. UFC 橋梁の技術的特徴

UFC 橋梁は、その材料や構造の特殊性により、これまでにない技術が開発され用いられている。以下に、UFC 橋梁の特徴的な技術について述べる。

6.1 ブロック分割

UFCのプレキャスト部材は、その薄肉化の効果により従来のコンクリート部材よりも大幅に軽量化できるため、大型部材での製作が可能であるが、その寸法は、部材の製作・運搬および構造設計上の合理性を考慮して決定されている。ここでは三兼池橋⁸⁾を例にとって解説する。

三兼池橋のように橋体幅が3.5 mある橋の場合、プレキャスト部材のトラック輸送における寸法上の制限と、重量の制限により、橋軸方向に2 m程度に分割してセグメントとして運搬するのが通常である。しかしながら、三兼池橋では、大きなブロックでの運搬を可能にするため、桁断面を上床版とU桁に分割している(図-5)。これにより、幅が2.10 mであるU桁はトラックの荷台幅に容易に納まり、橋軸方向に8~10 mといった大きなブロック単位での分割を可能としている(写真-17)。

このような大型ブロックへの分割は、三兼池橋のみならず他のUFC橋梁でも用いられており、従来の「セグメント」とは、分割の思想も方法も異なることから、セグメント工法と区別するために、UFC橋においては「プレキャストブロック工法」と称している。

また、構造設計においては、そのブロック分割により部

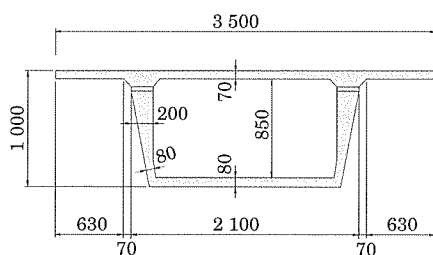


图-5 三兼池橋 断面图 (单位: mm)



写真-17 三兼池橋 プレキャストブロック
(幅 2.1 m, 長さ 10.5 m, 重量 9.2 t)

材厚ならびに PC 鋼材量が最小となるように配慮されている。UFC 部材の設計では、通常のコンクリートとは異なり UFC に 8.0 N/mm^2 までの引張りが期待できる。しかしながら、プレキャストブロック工法を用いている三兼池橋では、ブロック継目は全断面圧縮が必要となり、それが PC 鋼材量の決定要因となる。そのため、U 桁の設計においては、そのブロック長をできるだけ長く設定し、ブロック継目の数を減らすとともに、その継目が最大モーメント発生位置からできるだけ離れるようにブロック分割を設定している。さらに、最終的なブロック長は、製作プラントの UFC 練混ぜ可能数量や、型枠の転用性をも考慮して決定している。

一方、3.5 m 幅の上床版はトラック運搬が容易なように、かつ工桁上に4枚もしくは5枚配置されるように、橋軸方向に2.1 m の長さで36ブロックに分割されている（写真-18）。



写真-18 三兼池橋 床版設置状況

6.2 桁間の部材接合

UFC プレキャストブロックの桁間接合には、ドライジョイントとウェットジョイントと呼ばれる2種類の方法がある。UFC 橋においては、プレキャストの桁をエポキシ樹脂系の接着剤を用いて直接に桁を接合する方式をドライジョイント接合と呼んでいる。また、UFC 桁を間隔を開けて設置し、その間に UFC の間詰めを行う方法をウェットジョイント接合と称している。以下に両接合方法の比較表を示す。

表-5 桁間接合方法の比較

	ドライジョイント	ウェットジョイント
利点	・スパンが長い場合に経済的である ・作業工種が少なく、接合工程が短い ・接合部が目立たない	・接合の端面精度が厳密に要求されない ・橋梁の出来形形状を容易に調整できる ・小規模の橋梁には経済的である
課題点	・厳密な端面精度管理が必要である ・橋梁の出来形形状を調整できない ・引き寄せ装置が必要である	・養生設備が必要である ・作業工種が多く、養生期間が必要である ・接合部に継ぎ目の色違いが出る

(1) ドライジョイント接合⁷⁾ (豊田市の事例で採用)

桁間を接着剤で接合する方法は、プレキャストセグメント工法では一般的な方法であるが、セメント等の反応性粉体の配合が多い UFC では、硬化時の自己収縮量が従来のコンクリートに比べて大きく、その収縮変形により接合面どうしのマッチ精度の確保に課題がある。そのため、豊田市総合体育館横断歩道橋（仮称）では、接合面のマッチ精度を確保するために、先に製作したブロックの端面を妻型枠として用いて新しいブロックの打設を行うマッチキャスト方式に、さらに型枠構造の改良を加えて端面精度を保つとともに、せん断キーを後施工とすることにより、UFC 桁によるドライジョイント接合を可能とした。

(2) ウェットジョイント接合 (三兼池橋、ほかに採用)

継目部のプレキャスト桁の両端面に、せん断キーの窪み（凹形）を設けて、そのわずかな隙間に同じ UFC 材料を打設して接合構造とする工法は、UFC 橋梁特有の工法であり、酒田みらい橋建設の際に開発され、実験によってそのせん断伝達性能が確認されており、UFC 指針⁹⁾の参考資料に「継目部のせん断伝達耐力」として示されている。

一般的に継目部（接合部）を有する桁構造は、どうしてもその部分でのせん断耐力が一般部に比べ劣るため、構造仕様がその部分で決定される場合が多かった。しかしながら、桁側が凹構造の UFC ウェットジョイントは、一般部に劣らないせん断伝達性能を有することが過去の実験等より分かっており、以下にその理由を示す。

① UFC 橋はその部材厚が薄いことから、プレストレスによる圧縮応力度が大きい。三兼池橋の場合には、有効プレストレス力を桁断面積で割った平均圧縮応力度が約 25 N/mm^2 と、一般の PC 橋梁に比べて数倍の値を示しており、これは酒田みらい橋やその他の UFC 歩道橋においても同様な傾向にある。そのため、せん断伝達力の照査を行った場合では、桁間の摩擦力のみでせん断力に抵抗できるケースがほとんどである。三兼池橋の場合、せん断伝達耐力 6000 kN に対して、終局時のせん断力は 1200 kN と、せん断キーを設けない場合であっても、非常に高い安全性を有している。

② 図 - 6 に示すように、桁側に凹形のせん断キーを設けた構造にせん断力が作用した場合、ジョイント部のせん断キーには圧縮斜材が形成される。この間詰め材料も UFC であることから、非常に高い圧縮強度を有しており、圧縮破壊には至らない。

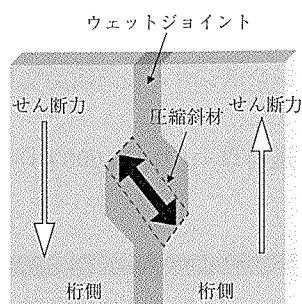


図 - 6 せん断キー概念図

③ せん断力が大きくなると、せん断キーの角部からクラックが生じ始めるが、本体側も間詰め部側も鋼繊維補強であることから、粘り強い挙動を示し、すぐにはクラック幅の増大には至らない。

これらの理由により、このウェットジョイントは優れたせん断伝達性能を有しており、歩道橋の荷重を想定したせん断実験⁵⁾のみならず、道路橋の重量車両を対象とした実験においても、一般部同等の耐力が確認されている。

6.3 床版と桁の部材結合

赤倉ゆけむり橋^{4, 5, 6)}や三兼池橋⁸⁾では、箱形断面を上床版とU桁とに分割して製作・運搬を行っているため、架設位置での結合作業が必要となる。この上床版とU桁の結合には、場所打ち UFC と孔開き鋼板ジベル（写真 - 19）が用いられている。図 - 7 に結合構造の概要図を示す。この結合方法は、鋼桁もしくは波形鋼板プレートとコンクリート床版を結合する技術を用いて UFC に応用したものである。しかしながら、アンカーボルトやスタッドジベルでは、UFC の圧縮強度とのバランスを取ることができずに鋼材側が降伏してしまう。そのため両橋では、厚さ 22 mm 鋼板を用いた孔開き鋼板ジベルを用いて、UFC の床版と桁の結合を行っている。

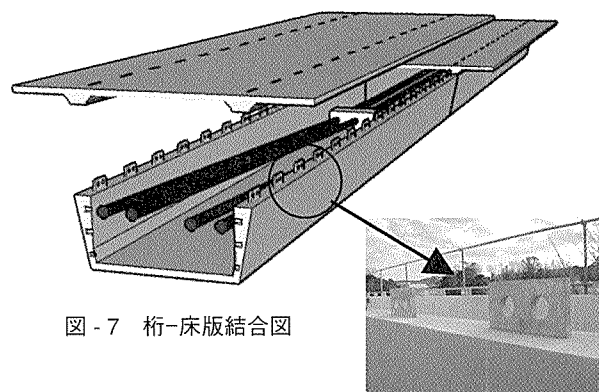


図 - 7 桁-床版結合図

写真 - 19 孔開き鋼板ジベル

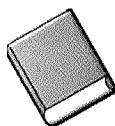
7. おわりに

UFC は、これまでになく強度や耐久性などの特異性により、構造物への適用に際しては、新しい設計手法を要し、従来のコンクリートの概念を超えた構造部材の諸元や構成を生み、さらには新たな施工技術などのさまざまな開発がなされて実施されてきた。とくに UFC 構造物の中でも先行してきた UFC 歩道橋には、それら多くの先端技術が盛り込まれている。通常の PC 橋梁上部工が $40 \sim 50 \text{ N/mm}^2$ の強度のコンクリートで建設されている現在において、 180 N/mm^2 の強度を有する材料で、鉄筋を用いずに長スパンの橋梁を建設できる革新的な技術は、コンクリートの世界に新しい風を吹き込んだといえるのではないだろうか。そして今後これらの技術が、コンクリート技術の発展の力強い追い風となれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針（案），コンクリートライブラリー 113，2004
- 2) 武者浩透，大竹明朗，関文夫，大熊光，児玉明彦，小林忠司：無機系複合材料（RPC）を用いた酒田みらい橋の設計と施工，橋梁と基礎，Vol.36，No.11，pp.2-11，2002
- 3) 武者浩透，大竹明朗，児玉明彦，小林忠司：超高強度コンクリート系新素材「ダクトル」を用いた PC 橋梁の設計・施工 — 酒田みらい橋 —，プレストレストコンクリート，Vol.45，No.2，p40-48，Mar，2003
- 4) 細谷学，武者浩透，安部吉広，信夫榮：「赤倉温泉ゆけむり橋」の施工 — 超高強度繊維補強コンクリートを使用した PC 歩道橋 —，プレストレストコンクリート，Vol.46，No.3，p16-23，2004
- 5) 田中良弘，武者浩透，大島邦裕，安部吉広：超高強度繊維補強コンクリートを使用した PC 橋梁の長大スパン化に関する研究開発，コンクリート工学，Vol.42，No.8，p30-36，2004
- 6) 大島邦裕，武者浩透，安部吉広：超高強度繊維補強コンクリート合成床版桁における接合部構造の開発 — 赤倉温泉ゆけむり橋への適用 —，土木学会第 59 回年次学術講演概要集，p779-780，2004
- 7) 稲原英彦，中島稔，田中浩二，大島邦裕：超高強度繊維補強コンクリートを使用した豊田市総合体育館横断歩道橋の接合部におけるドライジョイントの採用，土木学会第 62 回年次学術講演会，p351-352，2007
- 8) 武者浩透，石田有三，山野井毅，山下健：三兼池橋 — 日本初の超高強度繊維補強コンクリートによる連続桁橋 —，プレストレストコンクリート，Vol.49，No.5，p18-26，2007

【2007 年 10 月 4 日受付】



刊行物案内

第 15 回 プレスト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

（平成18年10月）

本書は，平成18年10月に岐阜市（長良川国際会議場）で開催された標記シンポジウムの講演論文集です。

頒布価格：会員特価 10,000 円（非会員価格 12,000 円）（送料はいずれも 600 円）
体 裁：B5判，箱入り