

超高強度繊維補強コンクリート (UFC) の 耐久性と PC 構造物への適用

武者 浩透*1・一宮 利通*2・芦田 公伸*3・田中 敏嗣*4

150 N/mm²を超える超高強度を有している UFC は、その材料配合の思想によって非常に緻密なコンクリートを実現している。そのため、UFC の耐久性は通常のコンクリートに比べて桁違いであり、所定の養生を行った UFC は設計耐用年数を 100 年とすることができ、さらには中性化や塩害、凍結融解の照査が省略できる唯一のコンクリート材料である。日本で初めて UFC が適用された酒田みらい橋では竣工後 5 年目の追跡調査を実施し、UFC の高い耐久性が検証された。近年では、UFC の特性を活用した非常に薄い部材厚の構造物が PC 橋梁を中心として増えつつあり、その橋梁数も 20 橋近くに及んでいる。また、滑走路の大型床版にも採用され、UFC 構造物の規模も大型化してきており、今後のさらなる展開が望まれる。

キーワード：UFC, 超高強度, 繊維補強, 耐久性

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）は、土木学会のコンクリートライブラリー 113「超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針（案）」¹⁾（以下、UFC 指針）によれば、粒径 2.5 mm 以下の骨材、セメント、ポズラン材から構成されており、水セメント比は 0.24 以下である。粒径の大きな骨材を使用しない点や、ポズラン材の使用、水セメント比の上限値の設定などにより、UFC は一般のコンクリートよりもミクロな材料構成で、緻密性を最大限に高めた材料であるといえる。加えて、UFC には直径 0.1 ~ 0.25 mm で引張強度 2×10^3 N/mm² 以上の高張力な短繊維（長さ 10 ~ 20 mm）が 2 vol % 程度配合されており、緻密な材料とのマッチングにより付着性を確保しているため、優れた繊維補強効果が得られている。このような UFC の材料配合に起因する強度特性と耐久性は従来のコンクリートに比べて桁違いの性能を示しており、近年では歩道橋や道路橋、床版といったさまざまな用途に UFC が適用され、ローメンテナンスで長寿命なインフラ整備が進みつつある。本稿では、UFC の耐久性について述べるとともに、現在実用化されている 2 種類の UFC 材料の適用事例を紹介する。また、歩道橋の追跡調査を事例として UFC の耐久性を検証する。

2. UFC の耐久性

ここでは実際に使用されている UFC 材料の数値を用いて、その耐久性を紹介する。

2.1 細孔構造

UFC の特徴である強度・耐久性・繊維補強効果はすべてこの細孔構造に起因しているといっても過言ではない。図 - 1

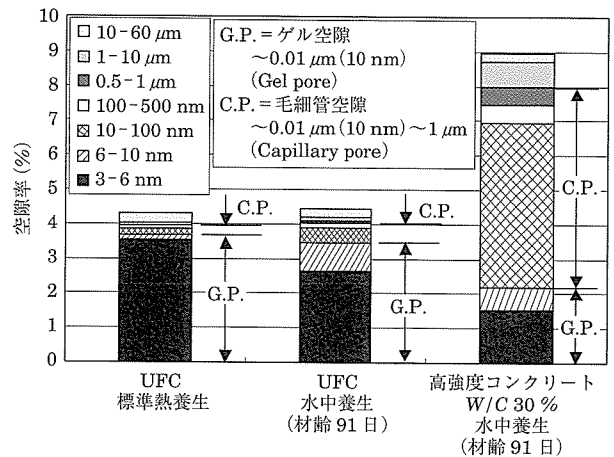


図 - 1 細孔径分布



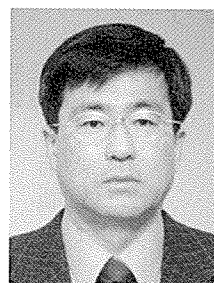
*1 Hiroyuki MUSA

大成建設 (株) 技術センター 土木技術開発部 土木技術開発 プロジェクト室・PC ダクトル研究会



*2 Toshimitsu ICHINOMIYA

鹿島建設 (株) 技術研究所 土木構造グループ・サクセム研究会



*3 Masanobu ASHIDA

電気化学工業 (株) 青海工場無機材料研究部・サクセム研究会



*4 Satoshi TANAKA

太平洋セメント (株) 中央研究所 技術企画部 複合構造材料チーム・PC ダクトル研究会

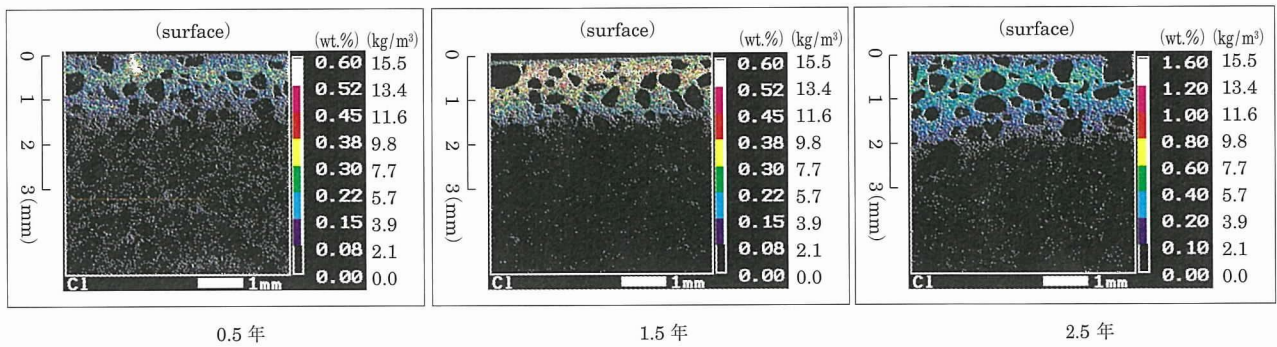


写真 - 1 人工海水浸せき供試体の EPMA 測定結果

に UFC 指針の参考資料 6 に掲載されている UFC と高強度コンクリートの細孔径分布の比較を示す¹⁾。一般的に細孔径が $0.01 \mu\text{m}$ (10 nm) までのものはゲル空隙と呼ばれセメント水和物内に存在する空隙のことをいい、収縮やクリープに影響すると考えられている。細孔径が $0.01 \mu\text{m}$ から $10 \mu\text{m}$ までのものは毛細管空隙と呼ばれ、アเมอร์バー状の連続気泡を形成し、強度や浸透性(耐久性)に影響を与えていると考えられている(空隙の分類法や特性との関係は研究者によって異なるため、一例としてご理解願いたい)。

図 - 1 の左側のグラフが、脱型後の UFC 部材に標準熱養生と呼ばれる養生方法 (90°C 程度の蒸気養生) を施したもので、右側の高強度コンクリート ($W/C = 30\%$) に比べて、全体の空隙率が半分程度であり、強度や耐久性に影響を与える毛細管空隙は約 $1/20$ と非常に少ない。このため UFC は、あとで述べるように空気や水分、塩化物イオンの部材内移動がきわめて少なく、高い緻密性と耐久性を実現している。

2.2 塩化物イオンの拡散係数

人工海水(塩化物イオン濃度: 1.9%) を用いた浸せき試験を実施し、その供試体を用いて電子線マイクロアナライザ (EPMA) により供試体表面から深部への塩化物イオンの濃度分布を測定し(写真 - 1)、UFC の塩化物イオンの浸透性を評価した¹⁾。

図 - 2 は、EPMA によって得られた塩化物イオン濃度分布を骨材の影響を除去した後、平均することで 1 次元化したものである。同図では、塩化物イオンは浸せき期間にと

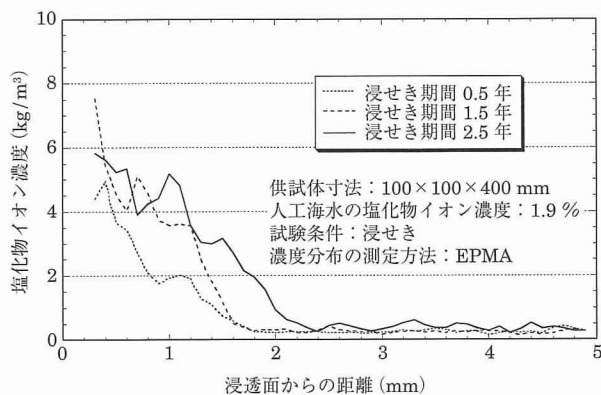


図 - 2 コンクリート表面からの塩化物イオン濃度分布

もなって深部へ浸透しているが、測定期間 2.5 年においても、その浸透深さは 2 mm 程度とごく表層部にきぎられている。図 - 3 に、濃度分布から推定した見かけの拡散係数を示す。この図より、後に記述する RPC 系および Aft 系の 2 種類の UFC の見かけの拡散係数は、いずれも水セメント比 30% の高強度コンクリートの予測値 $0.14 \text{ cm}^2/\text{年}$ ¹⁾ と比べ 2 桁小さく、塩化物イオンの浸透に対しきわめて高い抵抗性をもつことが分かる。

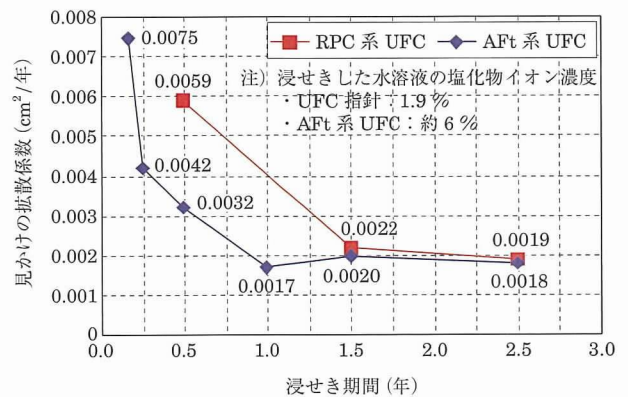


図 - 3 人工海水浸せきを行った場合の UFC の見かけの拡散係数

2.3 塩化物イオンの侵入にともなう鋼材の腐食に対する抵抗性

コンクリート標準示方書²⁾ [設計編] に従って、経年に伴う鋼材位置での塩化物イオン濃度の変化について試算を行った結果を図 - 4 に示す。鋼材位置を UFC 指針で規定されている最小かぶり 20 mm とし、飛沫帯を想定して表面の塩化物イオン濃度を 13 kg/m^3 、初期塩化物イオン量を一般的な上限値である 0.3 kg/m^3 として、塩化物イオン拡散係数は試験で得られた値をもとに $0.002 \text{ cm}^2/\text{年}$ として算定した。同図より、通常のコンクリートと同様に鋼材位置の塩化物イオン濃度が 1.2 kg/m^3 になるときに腐食が発生すると仮定すれば、鋼材が腐食するのは供用後 300 年以降と試算される。

このように優れた耐久性を有する UFC は、所定の養生を行うことにより設計耐用年数を 100 年とすることができ、さらには中性化や塩害、凍結融解の照査が省略できる¹⁾ と UFC 指針に示されている。

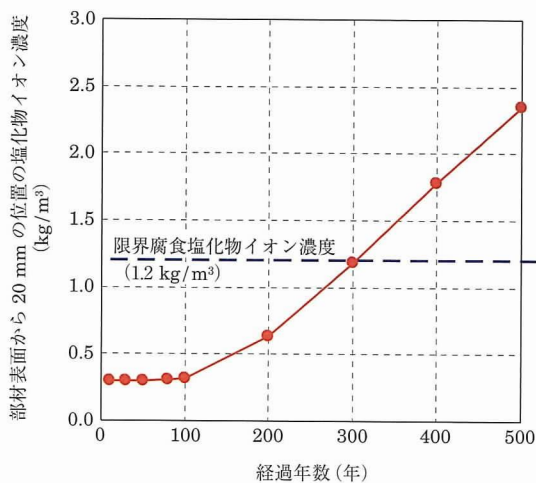


図-4 鋼材位置（かぶり 20 mm）における塩化物イオン量の経年変化の試算結果

2.4 UFC の PC 構造物への適用

UFC の高強度および高耐久性を活用した PC 構造物への適用が進んでいるが、その構造的特徴としては鉄筋を使用しないことによる薄肉化と軽量化、そして長スパンといった点があげられる。そして、その適用の前提となっているのが高耐久による維持管理費用の低減と長寿命化である。そして、最近では羽田空港の D 滑走路拡張工事において、滑走路外周部の約 192 000 m² に約 6 900 枚の UFC 床版（UFC 体積：約 25 000 m³）が採用されるなど、適用物件数が増加するとともに適用規模の大型化が見られるようになってきた。

3. RPC 系 UFC の適用事例

3.1 RPC 系 UFC の概要

RPC（Reactive Powder Concrete）系 UFC は約 20 年前にフランスで開発され、1997 年から世界各国で開発と実用化が進められてきた材料である。RPC 系 UFC の配合は、通常のコンクリートではセメント粒子の周辺に存在する空隙を、平均粒径 0.1 μm、比表面積は 200 000 cm²/g 程度の超微粒子であるシリカフェームなどを用いて隙間なく埋め尽くす「最密充てん」という思想に基づいている（図-5）。また、RPC 系 UFC は水セメント比で 22%，シリカフェーム等の反応性粉体を含んでいるため水結合材比では実に 14% といった通常のコンクリートの 1/4 程度まで水結合材比を大幅に低減している。このような配合思想を持つ RPC 系 UFC は、脱型後に 90℃ 程度の 2 次養生（UFC 指針では標準熟

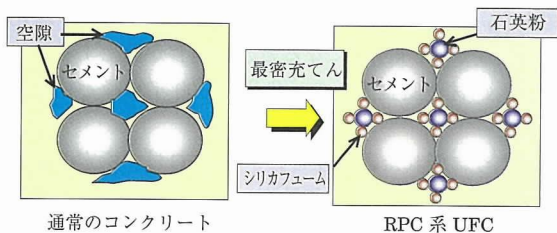


図-5 最密充てん概念図

養生と表現）を施すことによりマトリックスは非常に緻密な構造となり、2.1 細孔構造で述べた毛細管空隙のきわめて少ない耐久性に優れたコンクリートを実現している。

RPC 系 UFC は現在、ヨーロッパ諸国や米国、オーストラリア等で実用化が進められており、その国々で使用するセメントとそれに適合するシリカフェームが異なることから、各国で独自の配合を有している。そのため、配合思想は共有しているものの日本で使用している RPC 系 UFC はジャパンオリジナルである。この UFC は、2000 年に技術導入を行った経緯はあるが、その後の研究開発は日本がもっとも盛んで構造物への適用技術も世界各国をリードしており、適用事例数や UFC 使用量でも各国に比べて群を抜いて多いのが現状である。また、先駆けて研究開発されさまざまなデータを蓄積していた RPC 系 UFC は、UFC 指針作成の際のベースとなっており、UFC 指針に使われている材料および構造データはすべて RPC 系 UFC によるものである。

3.2 歩道橋への適用

RPC 系 UFC の初の PC 歩道橋はドラスティックなデザインを採用した「酒田みらい橋³⁾（2002 年竣工）」（写真-2-①）である。この橋はスパン 49.35 m の単径間 PC 箱桁であるが、桁端部の桁高を 55 cm と極限まで抑えており、桁高スパン比は桁中央で 1/32、桁端部では 1/90 と斜材等を有しない桁橋としては異例である。また、橋梁躯体内に鉄筋を 1 本も使用していないこの橋は、床版厚 5cm、ウェブ 8 cm と非常に薄い部材厚を実現している。低桁高、長スパン、薄い部材厚、大幅な軽量化、全外ケーブルなど、UFC の特性を活用したこの橋は UFC 橋梁の 1 つのプロトタイプであるといえる。その後も、ほぼ毎年のように UFC 橋梁が誕生しているが、それは同時に UFC 技術開発の歴史でもある。2004 年に竣工した赤倉温泉ゆけむり橋⁴⁾（写真-2-②）はプレキャストブロックの効率的な製造と運搬を考慮して床版と U 型の主桁の分離構造を採用している。その際の床版と主桁の結合には、従来の鉄筋やアンカーボルトではなく孔開き鋼板ジベル（PBL）が採用され、強度が高い UFC 部材同士の結合技術が開発されている。その後も、2006 年には初めての下路橋（写真-2-③）が建設され、2007 年には桁高 55 cm、上下床版厚 6 cm のボックス桁をマッチキャストで製作した豊田市総合体育館横断歩道橋⁵⁾（写真-2-④）が、同年にスパン 63.3 m を誇る下路桁橋：曳田歩道橋⁶⁾（写真-2-⑤）と橋長 81.2 m の三兼池橋⁷⁾（写真-2-⑥）が完成している。

また、2009 年には岐阜県飛騨市の歴史的景観地区に周囲の趣のある街並みとの調和に配慮し、ウェブに開口部と装飾格子などを設けたスパン 40 m の下路桁橋：吉城橋⁸⁾（写真-2-⑦）が、そして東京赤坂の薬研坂には再開発地区を結んだ連絡ブリッジ（写真-2-⑧）が完成している。この両橋とも低桁高や形状の自由度といったデザイン性によって UFC が採用されているが、地方の歴史的な地区と大都会の最先端の文化が生まれる地区の両方で UFC 橋梁が採用されていることは非常に興味深い点である。

これらを含めて現在まで RPC 系 UFC を用いた歩道橋は



写真-2 RPC系UFC歩道橋

12 橋完成しており、現在も 4 橋が施工中である。

3.3 道路橋への適用

RPC系UFCを用いた道路橋は現在までに3橋完成している（部分使用を含む）。ここでは2008年に完成した羽田空港GSE橋梁⁹⁾（写真-3）の概要を紹介する。この橋は羽田空港国際線地区に建設された地上支援車両（GSE車両）が通行するための橋梁である。主桁部にUFCを用いることにより、総重量50tfのGSE車両を連行荷重として考慮しながら、通常のコンクリート橋の約80%となる桁高1.86mとして、アプローチ部分の盛土量を削減している。このGSE橋梁は、UFCを適用した道路橋としては世界最大規模の橋である（スパン、幅員、橋面積：fib調べ）。



写真-3 羽田空港GSE橋梁

4. AFt系UFCの適用事例

4.1 AFt系UFCの概要

AFt (Al₂O₃-Fe₂O₃-tri)系UFCはわが国独自の技術で開発されたUFCであり、圧縮強度を得るための微細構造、な

らびに、長さが異なる2種類の鋼繊維を用いることによって鋼繊維の混入率を1.75%と小さくしている点がRPC系UFCと異なる点である。

圧縮強度を高めるため次の3つの工夫がなされている。

- 1) 球形に近いポズラン材と高性能減水剤による水結合材比の低減
- 2) エトリンサイト生成によるセメント水和組織の緻密化
- 3) 適切な熱養生による細孔構造の改善

これらを満たすためにコンクリートマトリクスは専用の材料で構成されており、ポズラン材、エトリンサイト生成系混和材およびポルトランドセメントからなるプレミックス結合材、粒径2.5mm以下の骨材、高性能減水剤ならびに水で構成される（表-2）。養生としては、5～40℃での湿潤養生（1次養生）を24時間行った後、85℃の蒸気養生（2次養生）を20～24時間行うことを基本としている。AFt系UFCは、水和初期段階でのエトリンサイトの生成とその後のセメントの水和ならびにポズラン材の活性をコントロールすることによって微細空隙を埋め、写真-4に示すような安定したエトリンサイトが微細な空隙を充てんすることにより、通常のコンクリートと比べて格段に高い圧縮強度および耐久性を得ることができる。

表-2 AFt系UFCの標準配合

空気量 (%)	単位容 (kg/m ³)				鋼繊維 (kg)
	水	プレミックス結合材	骨材	混和剤	
2.0	195	1 287	905	32.2	137.4

水の単位量は混和剤の水分を含む

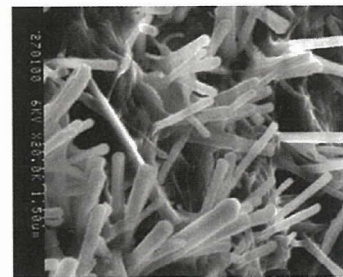


写真-4 空隙を充てんするエトリンサイト

4.2 海洋構造物への適用

AFt系UFCは力学特性に優れるだけでなく、耐久性も優れる。海洋構造物への適用は、部材の軽量化や桁高の低減だけでなく、優れた耐久性を活かしてライフサイクルコストの低減も狙ったものである。

東京国際空港D滑走路工事の監督用交通船および供用開始後の警戒艇を係留するための棧橋への渡り橋を写真-5に示す。本橋の構造はAFt系UFCを使用したプレテンション桁と現場打ちの横桁（普通コンクリート）で構成される橋長25mの単純桁橋である。

本施設では、当初、暴風波浪時の波による揚圧力を受けない高さまで橋面を高くした歩道橋形式が検討されたが、緊急時の車両乗入れが可能な構造形式にする必要があることから採用されなかった。本橋では、既設護岸の消波工を



写真-5 管理用棧橋渡り橋

残したうえで車両の乗入れが可能な構造形式とするため桁高を1.0 mに抑えること、暴風波浪時の波による揚圧力の受圧面積を小さくするために部材幅を小さくすること、厳しい塩害環境にあるため高い耐久性を有することが求められた。設計基準強度60 N/mm²の一般的な高強度コンクリートを用いたPC橋では桁高1.6 mが限界であったが、圧縮強度が高いAFt系UFCを採用することにより桁高1.0 mを実現することができた。また、耐久性に優れるため、100年の供用を想定した場合、鋼桁と比べてライフサイクルコストを低減することができることから、AFt系UFCを用いたプレテンション桁構造が採用された。UFCの耐久性の章で述べたように、厳しい塩害環境下においても100年以上の耐久性を確保しながら鋼材のかぶりを小さくでき、また、部材幅を小さくして揚圧力を最小限に抑えることができた。

4.3 歩道橋への適用

道路を挟んで建設された商業施設の2階同士を連絡する歩道橋であるリバーサイド千秋連絡橋を写真-6に示す。本橋は橋長30 m、支間長26 mの3径間連続ラーメンPC橋である¹⁰⁾。



写真-6 リバーサイド千秋連絡橋

建物の階高制限と道路上空の建築限界から通常のPC橋では実現不可能な低い桁高が求められ、AFt系UFCが採用された。厳しい建築限界をクリアするために桁高は500 mmと極限まで小さくし、桁高と中央径間との比率は1/52

となっており、通常のPC橋の1/20程度に比べて非常に小さくなっている。上部工の桁は運搬の制約から5分割して工場で製作した。ブロック間の50 mmの間詰め部に現地で製造したAFt系UFCを打ち込み、60℃で1週間の給熱養生を行って所定の強度を発現させた後に外ケーブルによりプレストレスを与えて一体化させた。間詰め部には既設ブロックの拘束によりひび割れが生じないように収縮低減型のAFt系UFCを使用した。AFt系UFCを採用したことにより桁高だけでなく上部工の重量が大幅に軽量化でき、耐震性に優れる橋脚を併用したこともあって、基礎工に関しては約50%と大幅なコストダウンにつながった。

本橋では、構造体完成後における健全性を確認するために、光ファイバーを用いてひずみの経時変化の計測およびひび割れのモニタリングを行うこととした。2007年8月から写真-7のように、桁下面に光ファイバーを接着し、定期的にモニタリングを実施している。



写真-7 光ファイバー貼付箇所

図-6に温度変化の影響を除去した主桁のひずみ変化を示す。ひずみは $-60 \sim 10 \times 10^{-6}$ 程度であり、設計で想定された収縮およびクリープひずみの値よりも若干小さい値であった。

BOCDA方式(ブリルアン光相関領域解析法)の光ファイバーひずみセンサーによる計測結果を図-7に示す¹¹⁾。図内には、0.02 mmのひび割れが生じた場合のひずみ分布

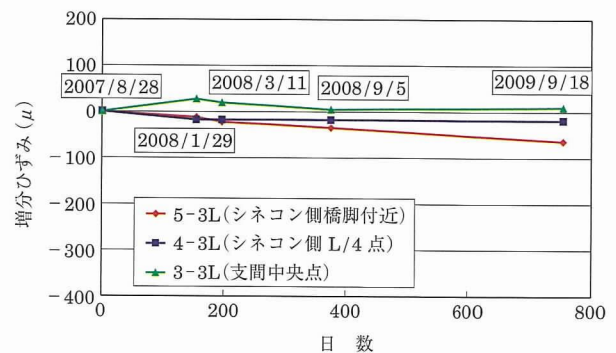


図-6 主桁下縁ひずみの経時変化

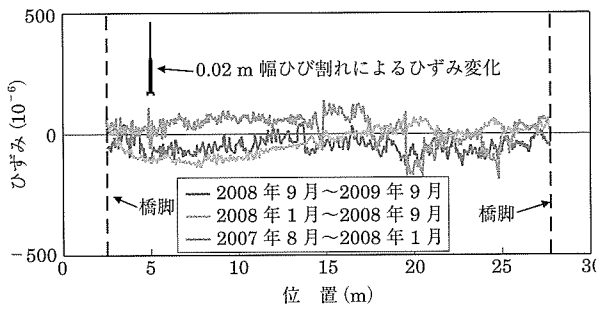


図-7 ひずみ分布の計測結果

を併記する。得られたひずみ分布には、これに該当するひずみ変化が見られないため、ひび割れは生じてないことが確認された。

5. UFC 構造物の耐久性調査

これまで述べたように UFC は非常に高い耐久性を有する材料であるが、その裏付けとなるデータのほとんどは室内の促進試験によるものであり、UFC が開発されてさほど年月が経っていないため、UFC のフィールドデータは非常に少ないのが現状であった。そのため、実際の UFC 構造物の耐久性を検証するために、2002 年 10 月に竣工した酒田みらい橋の追跡調査を定期的実施している。

5.1 調査の背景

酒田みらい橋 (写真-2-①) は、山形県の酒田市内を流れる新田川の河口から約 2 km の位置に架けられているが、この川は満潮時には本橋付近まで海水が逆流してくる。また、冬季には塩分を多く含んだ激しい風が本橋に吹き付けており、その厳しい塩害環境にステンレスの橋名板が一冬にして全面錆びついたほどである。そのため日本初の UFC 橋梁である本橋では、UFC 構造物の経時変化についてのフィールドデータ収集する目的で、長期的な追跡調査プログラムが実行されている。追跡調査は竣工後の 2 年間に 2 回実施され、とくに変状が見られなかったためその後は期間を置き 5 年後に実施した。

5.2 強度の推移

図-8 に圧縮強度、図-9 に曲げひび割れ発生強度および曲げ強度の推移グラフを示す。使用した供試体は圧縮に関

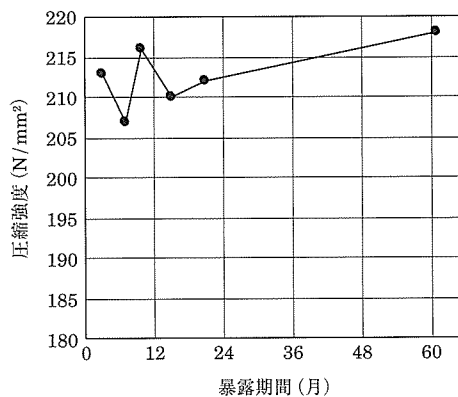


図-8 圧縮強度の推移

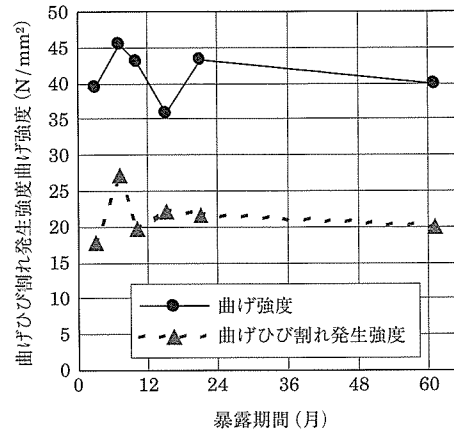


図-9 曲げひび割れ発生強度および曲げ強度の推移

しては $\phi 5 \times 10$ を、曲げに関しては $4 \times 4 \times 16$ mm のものを用いている。若干のデータのばらつきはあるものの、強度の大きな変動や低下は見られない。

5.3 塩化物イオン浸透深さ

酒田みらい橋桁内部に設置されている暴露供試体を用いて、EPMA による断面内の塩化物イオン浸透深さを測定した。また、本試験では塩化物イオン (Cl) の EPMA 面分析結果をもとに塩化物イオンの濃度分布および見かけの拡散係数を推定した。Cl の濃度分布は、EPMA 面分析の結果をもとに供試体表面から垂直深さ方向の濃度分布を作成した。深さ方向に EPMA のデータを平均する間隔は 0.1 mm とした。

EPMA による面分析結果を写真-8 に、Cl 濃度分布の作成結果を図-10 に、Cl に関する見かけの拡散係数の算出結果を表-3 に示す。なお、図-10 の実線は見かけの拡散係数推定結果より算出した塩化物イオン濃度の推定値である。表-3 の見かけの拡散係数は、暴露期間 1 773 日とし、表面からの深さ 0.4 mm 以上の測定結果から算出した。暴露供試体の Cl 浸透深さは、約 1 mm 程度であった。

表-1 に示した UFC 指針に示されている人工海水浸せき試験の結果から得られた見かけの拡散係数は非常に小さなものであるが、今回の暴露供試体より得られた見かけの拡散係数は UFC 指針の値よりもさらに 1 桁小さく、EPMA の画像の比較 (写真-1vs 写真-8) から浸透深さの違いが確認できる。これらの追跡調査結果より、竣工 5 年後の調査ではあるが、UFC が塩化物イオンの浸透に対して高い抵

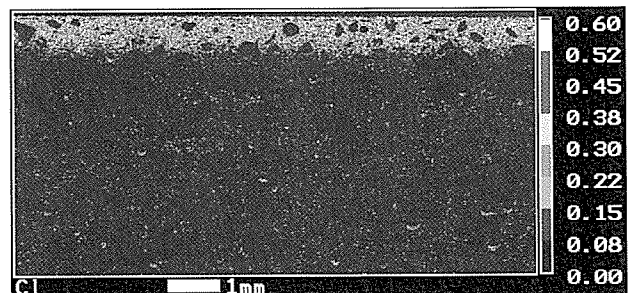


写真-8 暴露供試体の EPMA 測定結果

抗力を有することを酒田みらい橋のフィールドデータから検証することができた。

会情勢が目まぐるしく変わる今日において難しい課題である。

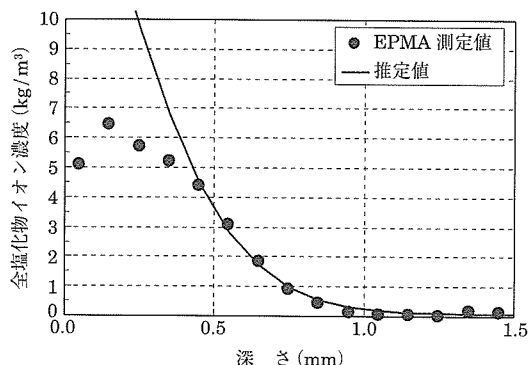


図 - 10 暴露供試体の Cl 濃度分布

表 - 3 見かけの拡散係数の算出結果

見かけの拡散係数 (Dap)		表面 Cl 濃度 (kg/m³)
(cm²/年)	(m²/sec)	
0.000148	4.69×10^{-16}	18.9

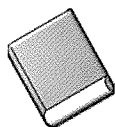
6. おわりに

UFC は非常に高い耐久性をもち、100 年をはるかに超える長寿命な PC 構造物を構築することが可能な材料である。近年、PC 橋梁を中心としてさまざまな用途への適用の広がりを見せてはいるが、その本格的な活用にはまだ多くの課題がある。フィールドデータによる耐久性の検証といった基礎固めも必要であるが、その性能を十分に活かすことができる合理的な設計法や施工法も開発の余地は多い。そしてなりより、耐久性の高い構造物を評価して採用することができるシステム作りが肝要である。人のライフサイクルをはるかに超えた長寿命な構造物をいかに評価するか、社

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) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書，2008.3
- 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，pp.40 - 48，2003
- 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，pp.16 - 23，2004
- 5) 大島邦裕，中島 稔，田中浩二，稲原英彦：豊田市総合体育館横断歩道橋の施工 — 超高強度繊維補強コンクリートを用いた歩道橋 —，コンクリート工学，Vol.46，No.6，pp.25 - 30，2008.6
- 6) 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，No.1，pp.21 - 29，2008
- 7) 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，pp.18 - 26，2007
- 8) 宮島 朗，三輪眞一，石井 豪，須田康弘：旧古城橋の架替えによる景観検討と UFC 場所打ち目地部の施工，プレストレストコンクリートシンポジウム，2009
- 9) 武者浩透，渡辺典男，福原 哲，一戸秀久：UFC を用いた GSE 橋梁の設計と実験，プレストレストコンクリート，Vol.50，No.6，pp.13 - 20，2008
- 10) 南雲広幸，一宮利通，安宅之夫，石井精一：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.12，2007.12
- 11) 今井道男，一宮利通，河野哲也，三浦 悟：光ファイバーセンサーを用いた PC 構造物のひび割れ検知技術，プレストレストコンクリート，Vol.51，No.3，pp.78-83，2009

【2010 年 1 月 29 日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

貯水用円筒形PCタンク設計施工規準

定 価 4,200 円／送料 500 円
 会員特価 3,500 円／送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
 技報堂出版