

供用 10 年を経過した PC 歩道橋に用いた超高強度繊維補強コンクリートの耐久性

太平洋セメント(株) 正会員 ○河野 克哉 川口 哲生 江里口 玲 田中 敏嗣
大成建設(株) 正会員 武者 浩透 前田製管(株) 正会員 小林 忠司 池田正行

1. はじめに

圧縮強度 200N/mm²以上を有する超高強度繊維補強コンクリート(以下, UFC)は, 高靱性, 高流動性および高耐久性を有し, 構造物に薄肉軽量化, 遮塩性, 意匠性といった性能を付与できるため, 今日まで適用事例が増加している. 本稿では日本で初めて UFC が適用された PC 歩道橋「酒田みらい橋」(2002 年 10 月竣工)の供用 10 年経過までの耐久性を, 箱桁内に暴露した UFC 供試体ならびに実橋ウェブから抜き取ったコア供試体を試験・分析することで検討した.

2. 橋梁に適用された UFC の耐久性調査の概要

2.1 調査橋梁の概要

酒田みらい橋は, 図 1 に示すように山形県酒田市内を流れる新田川の河口から約 2km の位置に架設された歩道橋(短径間 PC 箱桁橋, 支間長 49.35m, 端部桁高 0.55m, 全外ケーブル方式)である. 河川には満潮時に本橋付近まで海水が逆流し, とくに冬季は飛来塩分が多い塩害環境の橋梁である. なお, 本橋に UFC を適用することで, 上床版厚 5cm, ウェブ厚 8cm の薄肉化と, 橋梁躯体内には鉄筋を一切使用しない形での軽量化を実現している. UFC は, 表 1 に示すように専用プレミックス粉体(以下, P)に, 水(以下, W), 高性能減水剤(以下, SP)とともに鋼繊維(寸法 φ 0.2mm × 15mm)(以下, F)を分散させた配合となっている.

2.2 耐久性調査の概要

(1) 強度変化: 箱桁内に暴露した供試体を所定の供用年数ごとに回収し, 供用 10 年までの圧縮強度(寸法 φ 5 × 10cm)と曲げ強度(寸法 4 × 4 × 16cm, 4 点曲げ)の変化を測定した.

(2) 塩化物イオンの浸透状況: 箱桁内に暴露した供試体(寸法 4 × 4 × 16cm, 縦置き)ならびに実橋端部のウェブを貫通させる形で採取したコア供試体(寸法 φ 2.5 × 8cm, 上流側と下流側)について, それぞれの断面(4 × 4cm, 2.5 × 8cm)を EPMA にて塩素の面分析に供した. 分析データを塩化物イオン(以下, Cl⁻)の浸透方向(表面からの深さ方向)に平均し, 全 Cl 濃度分布を求めた. また Fick の拡散方程式の解に対して回帰分析を行い, Cl⁻の見掛けの拡散係数(以下, D_{ap})および表面 Cl 濃度(以下, C_{a0})を算出した. なお初期 Cl 濃

表 1 酒田みらい橋に適用した UFC の配合

単位量 (kg/m ³)				フロー (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)
W *1	P	F *2	SP		
175	2254	157	24	220~270	200

*1 W の一部に SP を含む *2 繊維混入率 2vol.%



図 1 供用 10 年を経過した酒田みらい橋

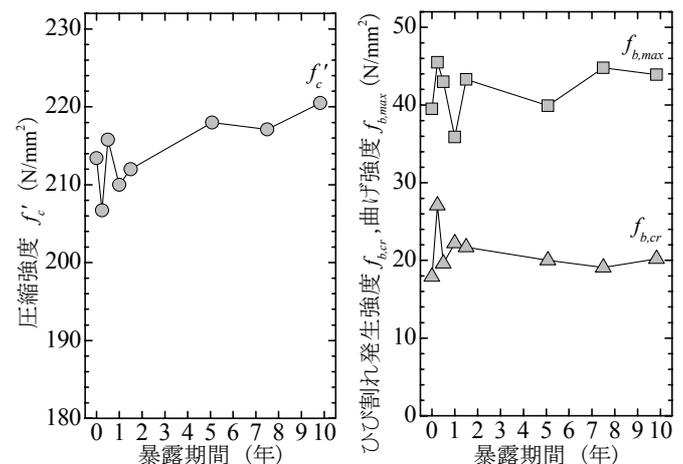


図 2 供用 10 年間の圧縮強度ならびに曲げ強度の変化

度(以下, C_i)は表面から深さ 5~10mm 区間の平均値とした.
(3) 反射電子像の観察: 観察試料は EPMA 分析後の暴露供試体ならびにコア供試体の分析試料から切り出し, それぞれ深さ方向に 2cm の断面(4 × 2cm, 2.5 × 2cm)を SEM 観察して反射電子像(以下, BES 像)を得た. BES 像のグレイレベルは観察対象物の平均原子番号に依存するため, このグレイレベルの差を利用して, 未水和セメントと空隙が占める面積領域を抽出・2 値化し(1 試料につき 10 視野), それぞれの体積率(含有率)をステオロジー理論から算出した.

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート, PC 橋梁, 長期耐久性, 長期強度, 塩化物イオン浸透

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL. 043-498-3902

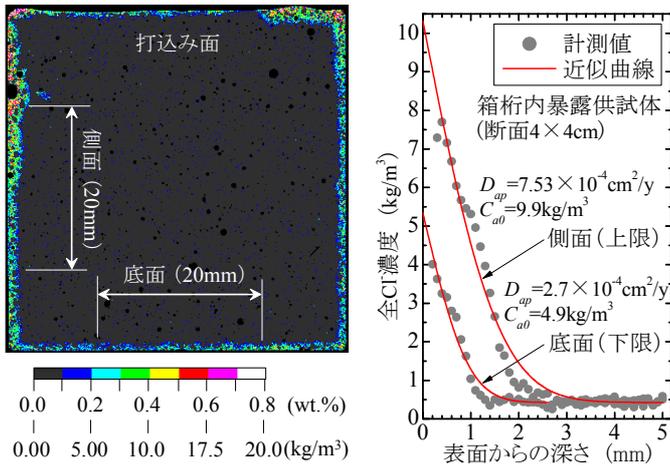


図3 暴露供試体のCIマッピング画像ならびに全CI濃度分布

3. 橋梁に適用されたUFCの耐久性調査の結果と考察

(1) 強度変化： 図2は供用10年までの暴露供試体の圧縮強度と曲げ強度の変化を示したものである。圧縮強度は10年間継続して徐々に増加する傾向があり、曲げひび割れ発生強度と曲げ強度は10年間変化せずに安定している。一般に長期材齢経過後の供試体の曲げ強度は収縮に起因して低下するが、UFCは製造時における熟養生終了後からの寸法安定性が高く、長期的な曲げ強度の低下を生じにくかったものと考えられる(UFCの乾燥収縮 50×10^{-6} 程度)。

(2) CIの浸透状況： 図3は10年経過した暴露供試体のCIマッピング画像ならびに全CI濃度分布を示したものである。図から、箱桁内で10年間暴露したUFC供試体の内部にCIが到達した深さは、わずか1.5~3mm程度であることがわかった。図4は実橋ウェブを貫通して採取したコア供試体の全CI濃度分布を示したものである。ウェブ部材の C_{a0} は、上流側よりも下流側のウェブの方が高く、箱桁内部面よりも外表面の方で高くなっており、飛来塩分量が多い環境条件と相関したものと推察できる。なお、上流側ウェブの箱桁内ではCIがほとんど浸透しておらず、もっとも厳しい環境条件といえる下流側ウェブの外表面でもCIは深さ1mm程度しか浸透していないことがわかった。なお、 D_{ap} は箱桁内の暴露供試体から算出した場合の方が実橋のウェブ部材から算出した場合よりも1オーダーほど小さい値となり、暴露供試体では安全側の評価を与えている。

(3) BSE像の観察： 図5は箱桁内の暴露供試体ならびに下流側ウェブのコア供試体の外表面から深さ0.5~1.0mm付近のBSE像である。FeやCaのような重元素を含むものは明るく表示されるため、鋼繊維(凡例:F)は白く、次いで未水和セメント(凡例:C)、セメント水和物(凡例:H)、骨材(凡例:A)の順に暗くなり、空隙(凡例:P)はもっとも黒く表示

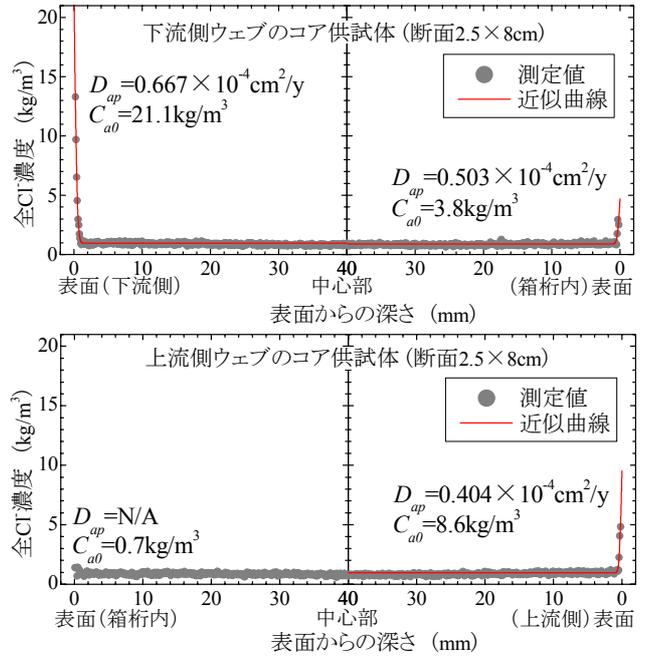


図4 実橋ウェブのコア供試体の全CI濃度分布

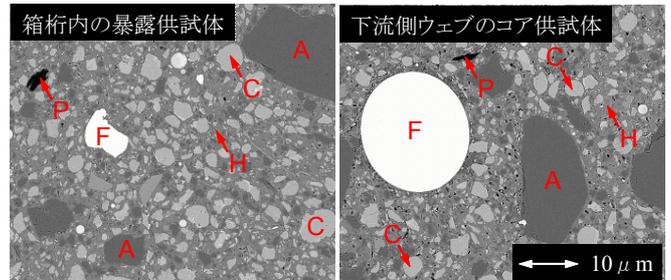


図5 UFCのBSE像(外表面から深さ0.5~1.0mm付近)

された。図から10年を経過したUFC中には未水和セメント粒子が多く残存していることがわかる。箱桁内の暴露供試体の場合、画像解析から算出した未水和セメントの含有率は19.9%、空隙率は5.7%となった。一方、ウェブ部材の未水和セメントの含有率は下流側の表面18.5%、中心部22.3%、箱桁内の表面19.2%となり、部材内部ほど未水和セメントが多く、ウェブ部材の空隙率は位置によらず7.0%で一定となった。このように長期材齢を経てもUFCの内部にはセメントの未水和粒子が多く存在しており、図2に示した圧縮強度の長期継続的な増進に寄与しているものと考えられる。

4. まとめ

酒田みらい橋に適用されたUFCは、10年間に渡って継続的な圧縮強度の増進が認められ、曲げ強度は大きく変化せず10年間ほぼ一定であった。また実橋のウェブ部材から採取したコア供試体のCI浸透深さは10年経過時で1mm程度ときわめて小さいものであった。暴露供試体と実橋コア供試体からUFCは長期的な強度ならびに遮塩性に優れており、長期耐久性を有する材料であることを実証できた。