

【報道機関向け配布資料】

超高強度繊維補強コンクリートを用いた日本初のプレストレストコンクリート歩道橋 酒田みらい橋 竣工 10 年目の耐久性検証調査

大成建設株式会社
太平洋セメント株式会社
前田製管株式会社

1. はじめに

圧縮強度 200N/m^2 以上を有する超高強度繊維補強コンクリート「ダクトアル®」は、高靱性、高流動性および高耐久性を有しています。このような特長によって、構造物に薄肉軽量化、遮塩性、意匠性といった性能ならびに機能を付与することから、今日まで適用事例が増加しています。2002 年 10 月竣工の日本で初めてダクトアル®が適用されたプレストレストコンクリート歩道橋「酒田みらい橋」の供用 10 年経過までの耐久性を、橋梁の箱桁内に暴露したダクトアル®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ました。

2. 酒田みらい橋に適用されたダクトアル®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、山形県酒田市内を流れる新井田川の河口から約 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）です（写真 1）。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す。なお、本橋にダクトアル®を適用することで、上床版厚 5cm、ウェブ厚 8cm の薄肉化と、部材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ます。

2.2 耐久性調査の概要

表 1 に調査項目と調査方法を示します。

表 1 耐久性調査項目

調査項目	確認項目	概要
強度変化	圧縮強度 曲げ強度	箱桁内に暴露した供試体（円柱（寸法 $\phi 5 \times 10\text{cm}$ ）、角柱（寸法 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ ））の圧縮試験ならびに曲げ試験（4 点曲げ）を実施。材齢経過にともなう各強度の変化を確認。
供試体および橋梁本体の塩化物イオン浸透状況	電子線マイクロアナライザ（EPMA）による塩素分析	箱桁内に暴露した角柱供試体（寸法 $4 \times 4 \times 16\text{cm}$ ）および実橋端部のウェブから採取したコア供試体（寸法 $\phi 2.5 \times 8\text{cm}$ ）を EPMA により塩化物イオンの浸透状況を分析。
セメント水和状態の確認	走査型電子顕微鏡（SEM）を用いた材料観察	暴露供試体、コア供試体の断面を SEM により観察を実施。得られた反射電子像（以下、BSE 像）の画像解析から未水和セメント量の変化を確認。

3. 酒田みらい橋に適用されたダクトアル®の耐久性調査の結果と考察

(1) 強度変化

暴露供試体の圧縮強度は 10 年間継続して徐々に増加する傾向がありました（図 1）。また、暴露供試体の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ました（図 2）。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しますが、ダクトアル®は製造時における熱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と推察しています。また、ダクトアル®の乾燥収縮は 50×10^{-6} 程度であり、通常のコンクリートの乾燥収縮にくらべて寸法安定性に優れる材料です。

(2) 塩化物イオンの浸透状況

10年経過した暴露供試体の塩素マッピング画像より塩化物イオンが内部まで浸透していないことが明らかとなりました(図3)。この塩素マッピング画像のデータから塩化物イオンが到達した深さは、わずか1~3mm程度であることがわかりました(図4)。

暴露供試体と同じように、実橋ウェブを貫通して採取したコア供試体の全塩化物イオン濃度分布は、上流側よりも下流側のウェブの方で高く、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ます(図5)。なお、上流側ウェブの箱桁内では塩化物イオンがほとんど浸透しておらず、下流側ウェブの外表面でも塩化物イオンは深さ1mm程度しか浸透していないことがわかりました(図5)。

(3) BSE 像の観察

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像を観察しました(図6)。ダクタル®供試体のBSE像では、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、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されます。

箱桁内で10年間暴露した供試体の場合、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%となりました(表2)。7.5年間暴露した供試体における画像解析の結果では、未水和セメントの含有率は21.2%、空隙率は7.8%となっており、ダクタル®は材齢が10年まで経過しても、まだ未水和セメント量が減少しつづけ、空隙率が徐々に低下していることを確認できました。また、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いことがわかりました。

このように長期材齢を経てもダクタル®の内部にはセメントの未水和粒子が多く存在しており、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ています(図1)。

4. まとめ

酒田みらい橋に適用されたダクタル®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年間ほぼ一定でした。また実橋のウェブ部材から採取したコア供試体の塩化物イオンの浸透深さは10年経過時で1mm程度ときわめて小さいものでした。供用10年までの暴露供試体と実橋コア供試体の調査から、ダクタル®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が実証できました。



写真1 供用10年を経過した酒田みらい橋



写真2 箱桁内における供試体の暴露状況



写真3 実橋ウェブからのコア抜き作業の状況

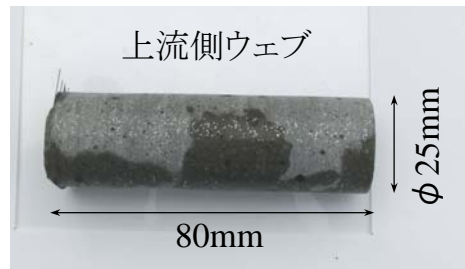
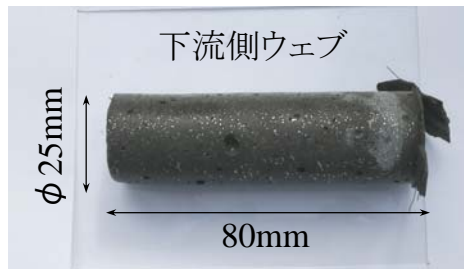


写真4 実橋ウェブから採取したコア供試体

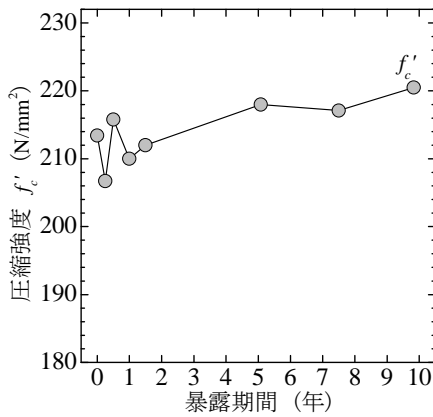


図1 暴露供試体の圧縮強度の変化

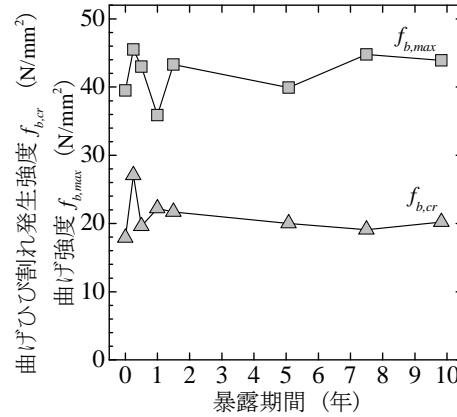


図2 暴露供試体の曲げ強度の変化

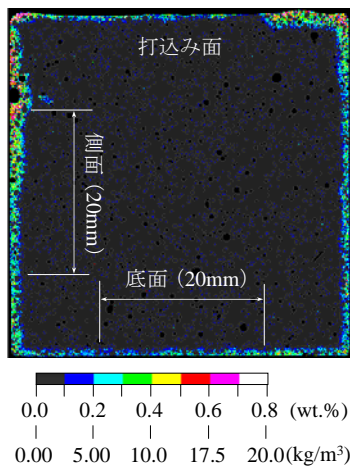


図3 暴露供試体断面の塩素マッピング画像

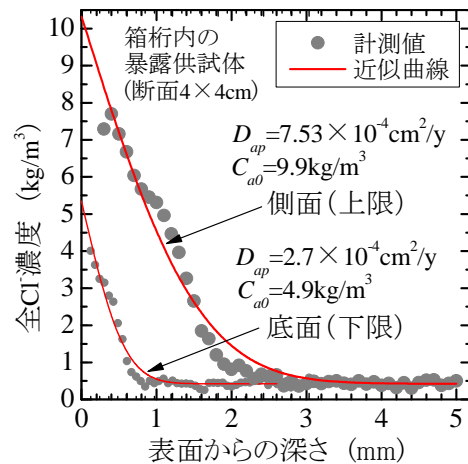


図4 暴露供試体断面の全塩化物イオン濃度分布

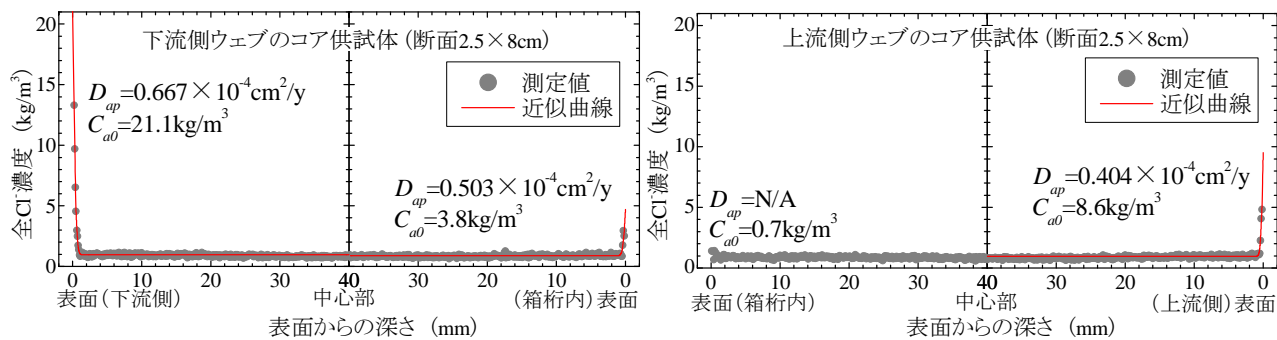


図5 コア供試体の断面における全塩化物イオン濃度分布

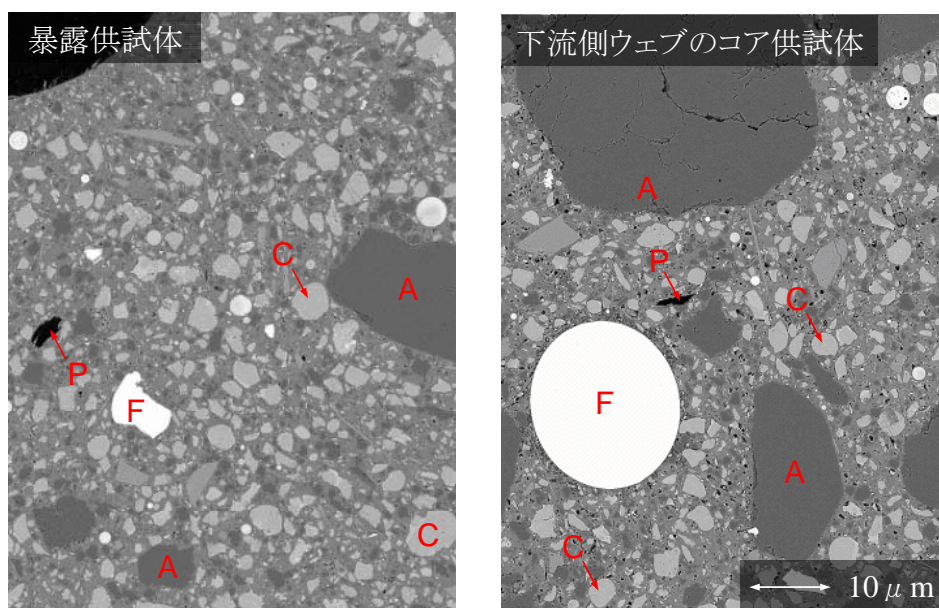


図6 暴露供試体ならびにコア供試体のBSE像

表2 画像解析から算出した各供試体の未水和セメントならびに空隙の含有率

供試体の種類	供用年数	分析領域 (1つの領域につき10視野の観察)	面積率(体積率)	
			未水和セメント	空隙
暴露供試体 (箱桁内)	10年	全面(断面4×4cm)	19.9%	5.7%
	7.5年	全面(断面4×4cm)	21.2%	7.8%
コア供試体 (下流側ウェブ)	10年	箱桁の内表面(断面2.5×4cm)	18.5%	7.0%
		コアの中心部(断面2.5×4cm)	22.3%	7.0%
		箱桁の外表面(断面2.5×4cm)	19.2%	7.0%

以上