

■連続繊維補強材（FRP）の採用拡大に向けて

ピーエス・コンストラクション株式会社

技術本部 顧問 森山陽一



1. はじめに

ACCトピックスの前号（Vol. 33）では、西日本高速道路株式会社の大城様から、「さびない橋への挑戦」と題して、寄稿いただきました。西日本高速道路株式会社の管理する高速道路における、凍結防止剤の散布などに伴う構造物の変状の実態、従来の補修対策からリニューアル事業に変更したこと、橋梁の長期耐久性確保にFRPを緊張材や補強材として適用を検討していること、更にはその適用事例の紹介でしたが、興味深く拝読いたしました。

私事ですが、高速道路のリニューアル事業立ち上げに参画¹⁾しました。また、社会資本の維持管理・更新のあり方に大きな影響を及ぼした、2012年（平成24年）12月に発生した中央自動車道笹子トンネル天井板崩落事故の対応にも当事者として関わっています。事故原因やその後の社会資本の維持管理に関する変化と現状の課題について、触れたいと思います。更に連続繊維補強材（FRP）の施工実績の分析と考察を試み、今後のFRP適用拡大に向けて考えを述べます。

2. 社会資本の維持管理・更新のあり方の見直しと現状の課題

まずは、笹子トンネル天井板崩落事故について、述べたいと思います。事故直後から、国土交通省にて、「トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会」が5回にわたって開催され、委員会の報告書²⁾が2013年（平成25年）6月18日に纏められました。

笹子トンネルは1977年（昭和52年）12月に供用開始しました。建設当時、新技術であった接着系後施工アンカーを用いるにあたり、設計・施工・長期耐久性の検討、および事故に至るまでの点検や維持管理が不十分であったと指摘されています。

国土交通省では、笹子トンネルの天井板崩落事故を契機に、2013年を「社会資本メンテナンス元年」として位置付け、2014年5月に戦略的な維持管理・更新に関する基本的な考え方や国土交通省が取り組む施策を取りまとめた「インフラ長寿命化計画（行動計画）」を策定して、この行動計画に基づき、インフラの老朽化対策に係る取組を推進しています。

社会資本整備審議会・交通政策審議会から、2013年12月に、「今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について」答申³⁾が出されました。答申の冒頭で、維持管理・更新を取り巻く主な社会経済情勢としては、以下の三点が挙げられています。要約して抜粋します。

第一に、高度経済成長期などに集中的に整備された社会資本が今後一斉に老朽化することが懸念される点。維持管理費の増加が見込まれとともに、既存施設の維持管理・更新にも支障を来す恐れがある。同時に、重大な事故や致命的な損傷等の発生するリスクが高まることが予想されている。第二に、人々の社会資本に要求するサービス水準が高まってきた点。第三に、人口減少・少子高齢化が進行している点。社会資本により提供されるサービス水準の維持が困難になる地域が生じることが懸念される。

そして、国土交通省令により5年に一度の点検が義務化されるなど、社会資本の維持管理に対する取り組み方が大きく変化しました。同時に、社会資本のメンテナンスに関する研究や、維持管理・点検に関する技術開発が活発になりました。

さらに現在では、人件費や資材費の高騰による維持管理コストの更なる増加、2024年度から建設業では5年間の猶予期間が終わった働き方改革などの課題を踏まえ、ウイズコロナやアフターコロナで急激に推進したDX化、および持続可能な社会を目指す脱炭素化を含むSDGsや生産性向上の取り組みが、社会全体で進められています。

このような社会情勢変化や現状の課題に関して、通常の方法に比べ長期耐久性に優れたFRPが寄与する機会が増えて欲しいと思います。しかしその一方で、笹子トンネルでは施工して35年ほど経過して事故が発生したことを考えると、実構造物に採用された新材料について、長期耐久性を証明することは難しい課題です。FRPが過去に採用された構造物での点検結果を、材料供給者や受注者に共有する仕組みは出来ませんか。受発注者が協働して、長期耐久性のエビデンスの整理が進むと、今後のFRP採用拡大に繋がると期待します。

3. 過去のFRP施工実績の分析と考察

2023年度末までの、FRP施工実績は700件を超えました。直近の10年間（③2014～2023）では177件、その前の10年間（②2004～2013）では318件、開発当初16年間（①1987～2003）には209件の施工実績となっており、3つの年代に区分して、施主別の実績件数と用途別の実績件数の分析を行ってみました。

表1に示す年代毎の施主別実績件数では、国や地方自治体の実績比率は堅調、海外の実績が増加する一方で、その他に分類した施主の実績は減少傾向になっています。

表1. 年代毎の施主別実績件数

年代	施主別件数				合計
	国	自治体	海外	その他	
① 1987-2003	48	72	10	79	209
② 2004-2013	85	157	7	69	318
③ 2014-2023	56	77	32	12	177
合計	189	306	49	160	704

ここで、その他に分類した施主は、高速道路会社、JRなどの鉄道会社関係、電力会社関係、ゴルフ場などの民間です。初期（年代①）には、受注者からの提案などで、多くの機関が、試行的に採用したものと推察しました。

更に表2には、年代毎の用途別実績件数を示します。新設の橋梁上部工において、主たる緊張材に用いるケースが次第に増加しています。また、橋梁上・下部工の補修・補強には一定数の需要があり、橋梁に関する実績が過半数を占めています。

橋梁以外では、パイルが増加（特に海外）、グラウンドアンカーとトンネル(TN)やボックスカルバート (Box)の補修・補強が減少（年代③）しています。その他の用途では、特に年代①では、港湾構造物、シールド立坑に多数の実績があります。

表 2. 年代毎の用途別実績件数

年代	用途別件数/橋梁				用途別件数/橋梁以外					合計
	橋梁上部工新設	橋梁上部工補修・補強	橋梁下部工他補修・補強	小計	パイル	グラウンドアンカー	TN及びBox補修	その他	小計	
① 1987-2003	33	27	21	81	2	58	3	65	128	209
② 2004-2013	43	60	80	183	0	33	78	24	135	318
③ 2014-2023	69	37	31	137	13	17	0	10	40	177
合計	145	124	132	401	15	108	81	99	303	704

また、Vol. 22～32の巻頭言については、ご支援・ご指導いただいている研究者の方々から、寄稿いただいています。寄稿文のテーマのキーワードを列記すると、JIS規格・ISO規格、ライフサイクルマネジメント (LCM)、持続可能性、ライフサイクルコスト (LCC)、強化材の配向方向性・現場施工性・腐食環境下での耐久性、FRP定着法の開発、研究動向となっています。

これらを踏まえて俯瞰的に分析・考察してみると、関係者のご尽力で、日本のJIS規格をもとにISO規格が制定され、LCMやFRPのメリットの理解が進んだ結果、特に海外の新設橋梁やパイルが増加しているのではないかと。一方、PC鋼材の防錆方法やシート系の補修工法が順次開発され、基準類の整備や使い分けが進んで、グラウンドアンカーとトンネルやボックスカルバートの補修・補強が減少してきたと推察します。

年代別の実績件数の推移では、FRPの新たな採用や用途の拡大が、鈍化していることが気になります。施主の発注段階での比較検討の対象になっているのか、受注者が変更提案できるような素材を提供できているのか、FRPの長期耐久性を踏まえたLCMが行われているのか、鈍化の理由は様々だと思えます。

高速道路のリニューアル事業では、例えば床版の取り替えコストのデータが蓄積されつつあると思えます。FRPについても同様に、例えば最近の材料費・人件費の高騰なども考慮して、最新のデータに基づきLCCの比較検討を、常に更新していくことが必要ではないでしょうか。そして、社会資本の管理者である施主（発注者）の理解が進むことで、FRPを採用する機会が増加すると思えます。

5. おわりに

FRPの実績で初期に採用されたものは、既に使用開始されて30年を超えています。設計手法や施工管理については、基準類の整備が進み、概ね確立されていると思います。そろそろ「先端」材料という呼称から脱却して、常に用いられる材料として認知され、FRPの実績が拡大していくことを期待いたします。

参考文献

- 1) 松坂敏博, 森山陽一, 小笹浩司, 太田秀樹, 藤野陽三, 宮川豊章, 西村和夫: 高速道路の構造物における大規模更新および大規模修繕の導入と課題, 土木学会論文集F4 (建設マネジメント), Vol. 73, No. 1, 1-18, 2017
- 2) トンネル天井板の落下事故に関する 調査・検討委員会: トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会 報告書, 平成25年6月18日
- 3) 社会資本整備審議会・交通政策審議会: 今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について 答申 本格的なメンテナンス時代に向けたインフラ政策の総合的な充実 ～キックオフ「メンテナンス政策元年」～, 平成25年12月

CFCC®を緊張材・補強筋に使用した港湾PC床版
 = 徳山下松港下松地区棧橋(-19m)上部工事 =

継続実績より

722

山口県の徳山下松港・宇部港は、効率的な石炭輸送ネットワークの形成を目的として、平成23年に国際バルク戦略港湾に選定されました。令和元年度より、下松地区において大型船舶が入港可能な水深19mの棧橋新設工事が行われ、特にメンテナンスが困難とされるベルトコンベア設置箇所には、CFCC®を緊張材および補強筋として用いたPC床版が令和4年度から着手した上部工工事において採用されました。国際バルク戦略港湾の棧橋においてCFCC®を用いたPC床版が採用されるのは、平成28年度の釧路港に続いて2例目となります。

CFCC®を用いたPC床版は、プレテンション方式により工場で製作され、現場に搬入後、3枚のプレキャスト床版をポストテンション方式により一体化しています。一体化の際、CFCC®はグラウトとの付着によって定着されるため、定着金具が部材に残らない構造となっています。

使用CFCCサイズ：プレテンション用緊張材 1×7 12.5φ、ポストテンション用緊張材 1×7 19.3φ
 補強筋 U5.3φ、U9.7φ、1×7 15.9φ



写真-1 ポストテンション緊張作業



写真-2 床版据付状況



写真-3 床版据付状況遠景



写真-4 床版据付完了



写真-5 徳山下松港下松地区(航空写真)

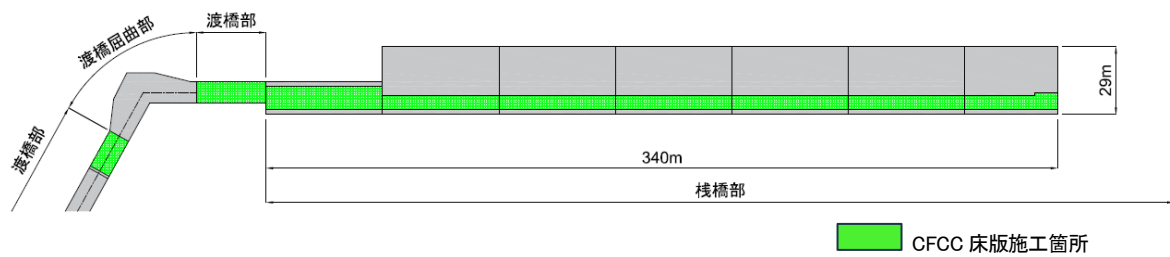


図-1 CFCC床版施工位置

※8ページ施工実績一覧表No.722をご参照下さい。

CFRPを緊張材に用いた高耐久2方向PC床版

= 令和2年度 沖縄自動車道(特定更新等)許田高架橋南他1橋床版取替工事 =

継続実績より

723

沖縄自動車道の許田高架橋床版取替工事で初めて『MeLスラブ』が採用されました。本橋は塩害劣化等により鋼材が激しく腐食していたことから、抜本的な対策として腐食しない材料を用いる床版取替工法として評価されたものです。『MeLスラブ』は、腐食しない構造材料である炭素繊維複合材ケーブル（CFCC®）を緊張材として使用し、床版支間方向および橋軸方向の2方向にプレストレスを導入したプレキャストPC床版です。

さらに、短繊維補強コンクリートを採用することで緊張材以外の補強材を削減し、コスト縮減を図りました。CFCC®は腐食しない材料であり、塩害環境でのかぶり厚の増加は必要ありません。

また、完成時に金属を残さない定着構造を採用しています。さらに現場打の壁高欄の補強筋にもCFCC®を採用し非鉄化を実現しています。これらにより、耐久性確保の確実性やLCCの低減の観点から、海岸付近や凍結防止剤が散布される地域などの厳しい塩害環境下での活用が期待されます。

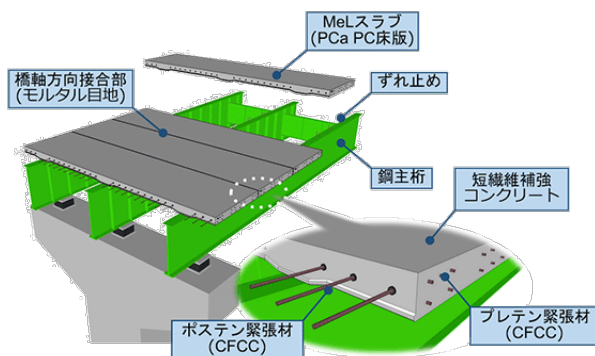


図-1 MeL スラブの概要



写真-1 床版設置後



写真-2 許田高架橋全景

※8ページ施工実績一覧表No723をご参照下さい。

ACC 施工実績一覧表

続報

NO	施主	名称	所在地	規模	用途・緊張方式	使用材料及び使用量	施工
705	国土交通省九州地方整備局 下関港湾事務所	令和2年度下関港海岸(山陽地区)水門築造工事(新川水門)	山口県	プレテンション方式中空床板橋 橋長15.8m 幅員6.2m	沓座補強筋	CFCC U 5.0 φ L=135m	2022年11月
706	土木建築部中部土木事務所 所中城湾港建設現場事務所	県道20号線(泡瀬工区)橋梁整備工事(上部工その10)	沖縄県	セメント製作工 82基(基準11基+標準51基+突起20基) 鉄筋(EP樹脂被覆:SD345 D13~25):380t コンクリート(50-20-20 フライッシュ):2,278m ³ 場所打ち部製作工(4基)	箱桁下床版突起の底版部補強	CFCC U 5.0 φ L=5978.16m	2023年2月 (納入)
707	東北地方整備局南三陸沿岸国道事務所	市道砂洲線砂洲橋上部工架替工事	岩手県	単純プレテンション方式中空床版橋	高耐久仕様桁の桁端面補強	CFCC U 5.0 φ L=122.2m	2023年3月
708	東北地方整備局南三陸沿岸国道事務所	第21-41370-0162号 道路橋りょう整備(再建)工事(橋梁上部) 井戸尻川橋	福島県	単純プレテンション方式中空床版橋	高耐久仕様桁の桁端面補強	CFCC U 5.0 φ L=305m	2023年3月
709	フロリダ州モノロー市	Seaview Drive Bridge Replacement (FCP)	北米フロリダ州	18インチパイル(スクエア)	PCパイル (プレテンション緊張材、スハイラル筋)	CFCC 1X7 15.2 φ L=3226m CFCC U 5.0 φ L=2255m スハイラル筋	2023年4月
710	神奈川県県西土木事務所 小田原土木センター	早雲山地すべり対策工事	神奈川県	グラウンドアンカー27本	NMグラウンドアンカー (HM6)	CFCC 1X7 12.5 φ L=4020m	2023年7月
711	フロリダ州交通局	North Bridge (CDS)	北米フロリダ州	-	プレテンション緊張材	CFCC 1X7 15.2 φ L=19134m CFCC U 5.0 φ L=7809m スハイラル筋	2023年7月
712	フロリダ州交通局	US-1 over Loxahatchee River (SCP)	北米フロリダ州	18' スラブビーム	プレテンション緊張材	CFCC 1X7 15.2 φ L=6201m	2023年7月
713	バージニア州交通局	I-64 Segment 4C Test pile (GPS)	北米バージニア州	-	PCパイル (プレテンション緊張材、スハイラル筋)	CFCC 1X7 15.2 φ L=4641m CFCC U9.7 φ L=2280m CFCC U 7.2 φ L=512m スハイラル筋	2023年8月
714	ノースカロライナ州交通局	Brunswick county (SCP)	北米ノースカロライナ州	20インチパイル(スクエア)	PCパイル (プレテンション緊張材、スハイラル筋)	CFCC 1X7 15.2 φ L=30290m CFCC U7.2 φ L=21695m スハイラル筋	2023年9月
715	湯沢市役所	市道環状3号線白子川橋橋梁整備工事(上部工) 白子川橋	新潟県	橋長33.0m 幅員11.0m	高耐久仕様桁の桁端面補強	CFCC U 5.0 φ L=153.19m	2023年10月
716	ドイツドレスデン市	Gym in the city of Dresden (Hentschke Bau)	ドイツドレスデン市	-	PC梁	CFCC 1X7 12.5 φ L=8010m	2023年10月
717	東北自然エネルギー株式会社	葛根田蒸気基地AB基地間擁壁修繕(B7ブロック)工事	岩手県	グラウンドアンカー20本	NMグラウンドアンカー (HM4)	CFCC 1X7 12.5 φ L=1330m	2023年11月
718	フロリダ州交通局	SR656 17th St East End Bridge (CDS)	北米フロリダ州	18インチパイル(スクエア)	PCパイル (プレテンション緊張材、スハイラル筋)	CFCC 1X7 15.2 φ L=30558m CFCC U 5.0 φ L=13420m スハイラル筋	2023年11月
719	フロリダ州交通局	SR-9/I-95 Northbound Off-Ramp at Indiantown Road (SCP)	北米フロリダ州	18インチパイル(スクエア)	PCパイル (プレテンション緊張材、スハイラル筋)	CFCC 1X7 15.2 φ L=6251m CFCC U 5.0 φ L=4514m スハイラル筋	2023年11月
720	秋田市役所	古川排水機場連絡道路橋梁整備工事(上部工) 古川橋	秋田県	橋長14.0m 幅員10.2m	高耐久仕様桁の桁端面補強	CFCC U 5.0 φ L=496.08m	2023年12月
721	神奈川県県西土木事務所 小田原土木センター	令和5年度通常砂防工事公共(その1)砂防施設改良工事県単(その1)合併	神奈川県	グラウンドアンカー9本	NMグラウンドアンカー (HM6)	CFCC 1X7 12.5 φ L=1645m	2023年12月
722	国土交通省中国地方整備局	徳山下松港下松地区棧橋(-19m)上部工事	山口県	渡橋部約40mx5m 棧橋部約390mx5m	プレキャスト2方向PC床版	CFCC1X712.5 φ L=26500m CFCC1X7 19.3 φ L=6000m	2024年1月
723	NEXCO西日本 九州支社	令和2年度 沖縄自動車道(特定更新等)許田高架橋南他1橋床版取替工事	沖縄県	橋長108m 幅員6m	プレキャスト2方向PC床版(MeLスラブ)	CFCC1X7 15.2 φ L=15000m CFCC1X7 17.8 φ L=3100m	2024年3月



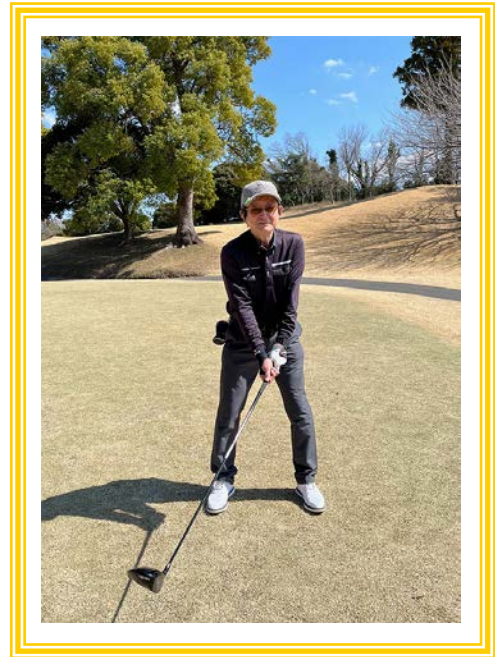
森山会長ってどんな人?

ピーエス・コンストラクション株式会社

技術本部 顧問 森山陽一

このたび、会長に就任しました森山陽一です。自己紹介させていただきます。1982年に日本道路公団（JH）に入社、2005年分割民営化後は中日本高速道路（NEXCO中日本）に勤務、2023年10月より、ピーエス三菱㈱（2024年7月からピーエス・コンストラクション㈱に社名変更）で技術顧問を拝命しています。

この間、工事事務所で、高速道路の建設に4回計11年間弱従事し、構造工事区などで主に橋梁の建設、即ち発注設計、対外協議、積算・清算、工事管理に携わっています。建設局・本社の構造技術課には3回計9年間強従事、主に橋梁の計画・設計・設計要領改訂に携わってきました。また、その他の期間では、高速道路の計画、企画、保全、技術基準・技術開発に携わり、NEXCO中日本子会社のメンテ会社とエンジ会社にも、経営者として点検や補修など保全業務全般を経験しました。



先端複合材料と直接の関りはありませんが、少数主桁橋、波形鋼板ウェブ橋、プレキャストセグメント橋、鋼管ソイルセメント杭など、新たな技術開発や導入に現場でも携わり、チャレンジ精神は旺盛だと自覚しています。

JHとNEXCO中日本における特筆すべき経験を、2点紹介します。1点目は、2012年12月に起きた笹子トンネル天井版崩落事故の際、本社保全部長として対応し、床版取替などのリニューアル事業の創設にも関わってまいりました。2点目は、地震、災害や大雪などにおける危機管理対応です。あらゆる事象を想定して、事前準備すること（例えば、マニュアルなどの基準類や行動指針の整備）と訓練を怠らないことの重要性を学びました。

親も転勤族だったため、通算の転居回数は20回。おかげ様で、引っ越し準備は得意ですし、何時でも何処でも、あまり物おじしない図太い性格になりました。酔っぱらうと、どこでも寝られます。ちなみに、コロナ禍以降外飲みは減りましたが、健康診断でも要経過観察程度ですので、毎日晚酌しています

学生時代はソフトテニスを行っていましたが、最近の趣味は、家族とともに行くゴルフと麻雀です。いずれも経験年数だけは長く、お酒の場も含め、お誘い受ければ、いつでも参上いたします。と言いながら、雨男であることを白状いたします。開通式典などのイベントのみならず、引越し、ゴルフコンペなど、これまで多くの方々にご迷惑をおかけしました。危機管理対応として、雨天を想定した事前準備は怠りないようになりました。

雨のゴルフを2回続けて付き合っていたいただいたある上司からは、高円寺駅から徒歩3分の気象神社を紹介されました。「晴守り」を求めて、お参りしています。半年に1度お参りすることで、多少の御利益はあるようです。



写真上：晴守りの表と裏

写真左：気象神社 気象神社は1944年に杉並区にあった旧陸軍気象部構内に造営され、第2次大戦後高円寺の氷川神社境内に遷座されました。

編集後記

会員皆様からの情報を積極的に掲載してまいります。ご寄稿をお待ちしております。

建設用先端複合材技術協会

事務局(秋山) 〒135-8306 東京都江東区永代 2-37-28 澁澤シティプレイス永代 5階 東京製網インターナショナル株式会社内
Tel:03-6366-7797 Fax:03-3643-7550 E-mail: info@acc-club.jp