

■さびない橋への挑戦

西日本高速道路株式会社

技術本部 技術環境部 構造技術課長 大城 壮司



福島県いわき市波立海岸の弁天島にかかる弁天橋(写真-1)は、弁財天が祀られている島にわたるために1933年(昭和8年)に架けられた木橋を、老朽化のために1973年(昭和48年)にはコンクリート製の橋に架け替えられている。しかし、高波が押し寄せると波をかぶるような架橋条件のため、2002年(平成14年)に鉄筋のかわりにCFRPを使用したコンクリート橋に架け替えられている。筆者は2019年(平成31年)に現地を訪れたが、厳しい状況にもかかわらず外見は非常に健全な状態であった。一部型枠セパ穴から錆汁がみられたこと(写真-2)は残念であったが、環境の厳しさとともに詰めの大事さも感じさせられた。



写真-1 弁天橋



写真-2 セパ穴からの錆

図-1は、高速道路1km延長当たり、凍結防止剤をどれだけ散布しているか2011年(平成23年)に累計で示したものである。赤く示している区間は1,000t/km以上散布している区間である。数字に工学的な意味はないが、NEXCO西日本管内でも東北地方や北海道と同様な散布量であることを示している。NEXCO西日本が管理する構造物の変状は、塩害による変状が多いのである。

2022年11月現在で管理延長が3,550kmとなり、橋梁は約14,000連(1連とは伸縮装置で区切られた橋梁を示す)にもなる。限られた人員と予算で適切な維持管理を行うには、思い切った施策が必要となってきた。建設時には、コンクリートの水セメント比に制限を設けることや、品質管理に非破壊検査を導入した川下管理、鋼桁の防錆に金属溶射を採用するなど、これまで高耐久に対する取り組みを実施してきた。また、供用中の構造物には、部分補修や床版増厚などの補強を計画的に実施しており、コンクリート片の落下による第三者被害を防止するために、はく落対策シートやネットも施工している。しかし、供用中の構造物の補修においては

これまで実施してきた対策では長期的に安全を確保することが困難な変状もあることから、2013年(平成25年)に「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会」で審議いただいた事項を中間とりまとめとして発表し、現在のリニューアル事業へと大きく舵をきった。

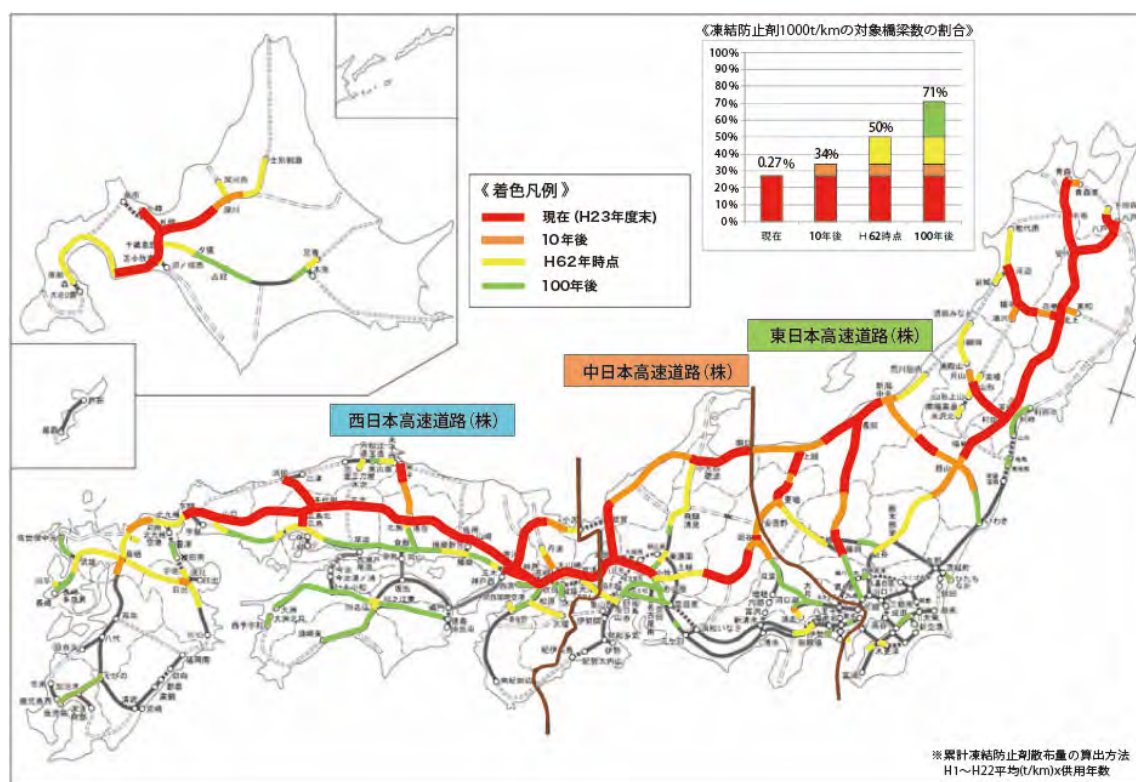


図-1 凍結防止剤の累積散布 1,000t/km 以上の対象路線

設計耐用期間100年とは、適切な維持管理のもと100年間の利用が可能のように設計時に配慮することであるが、前述したように管理数が多くなると、極力手をかけずに管理できるように長期の耐久性を確保しておくことが望ましい。塩害であれば、コンクリートの緻密化や腐食しづらい補強材の使用が考えられる。コンクリートについては、UFCやVFCといった材料の適用方法について検討が進められている。補強材についても、エポキシ被覆鉄筋は従来から使用してきたが、施工時の取り扱いには細心の注意が必要であり、これを前提として相応の耐久性が確保される。そのほかにも亜鉛メッキ鉄筋やステンレス鉄筋もあり、使用環境に応じた材料を選べることはいいことであるが、NEXCO西日本では、鉄筋の腐食膨張によるコンクリート片の落下等第三者被害も含めた塩害による変状を完全に排除することを目的に、FRPを緊張材や補強材として適用することについて検討を進めている。

これまでもFRP部材は高速道路橋に使用されてきており、床版では、1997年(平成9年)に高知道の松久保橋で道路橋として初めてFRP(GFRP)合成床版を採用した。文献1)によれば、採用目的は、熟練工の減少と高齢化となっており、鋼少主桁橋の採用による床版の長支間化もあって、高い耐久性を有するFRP合成床版の採用について検討したと記述されている。今から約25年前も熟練工の減少が問題となっていたことは興味深いことではあるが、供用後10年たった時に実橋載荷試験を行い剛性の低下がないことを確認している²⁾。現在では当該区間では多量の凍結防止剤を散布しており塩害による変状が問題になるところであるが、現在でも変状は見受けられていないことから、先見の明があったと思いたい。

その後、関門トンネルの床版取替でもFRP床版を採用している。関門トンネルは在来工法で掘削され、車道部分はRC床版で施工された。しかし、1958年(昭和33年)の供用以来、海水を含む漏水により床版が塩害で劣

化したため、2009年(平成21年)に抜本的対策としてFRP合成床版に架け替えられた。

2013年(平成25年)に完成した九州自動車道の宇城・氷川スマートICのEランプ橋は、九州縦貫道を横過する鋼橋であり、塗装塗り替えによる九州道の規制を抑制するために、鋼桁は金属溶射により防食し、床版にはFRP合成床版が採用されている。

2021年(令和3年)に完成した徳島道の別荘谷橋は、鉄筋やPC鋼材を一切使用せず、緊張材としてAFRPロッドを使用したプレストレストコンクリート橋である。AFRPロッドによりプレストレスを導入することで構造を成立させているため、プレテンション部材やポストテンション工法をうまく組み合わせる工夫がなされている。

現在施工している新名神高速道路の天神川橋(仮称)ではCFRPを補強材として使用すべく各種実験を繰り返してその設計方法を検討している。異形鉄筋を前提としている現行の設計手法にCFRP補強材を適用するにはいくつか問題がある。CFRPは高強度材料ではあるが、その形状によってはコンクリートと付着のある挙動を示す範囲には限界があり、現行の設計方法では十分にその強度を活かすことは難しい。異形鉄筋のフックのようなコンクリートとの定着方法や、コンクリートとの付着が期待できる形状を考える必要がある。一方で、明確な降伏点がない材料であるがゆえ、高い復元性能を有している。写真-3はCFRPを引張補強材とせん断補強材として配置したRC梁の曲げ載荷試験の状況である。コンクリートの圧壊で破壊したが、終局状態でも引張補強材は降伏していないため、除荷後には残留変形はほとんど残らず、復元性が確認できた。これは、地震時などで過大な荷重が作用して部分的に曲げ破壊が生じてでも変形は残らないと思われ、このような場合には、圧壊したコンクリート部分を研って、ポリマーセメントモルタル等で補修することにより比較的容易に復旧できることを示唆している。RC部材であれば、一般に降伏した引張補強材の補修よりもコンクリートの補修の方が容易であるため、このような特性を見出して活用方法を考えていくことは新しい材料の適用を図るうえでも面白い。

(a) コンクリートの圧壊による曲げ破壊状態



(b) 除荷後の状態



写真-3 CFRPで補強した梁の曲げ載荷試験状況

前述の徳島道 別埜谷橋の取り組みについて、2023年3月22日に一般財団法人日本ファッション協会から、日本クリエイション大賞2022「インフラ技術賞」をいただいた。日本クリエイション大賞は、一般財団法人日本ファッション協会が行っている、製品、技術、芸術・文化活動、地域振興、環境、福祉など、ジャンルを問わずクリエイティブな視点で生活文化の向上に貢献し、次代を切り拓いた人物や事象などを表彰対象とする顕彰事業とある。日本全国にあるおよそ72万の橋梁構造物に対し、“さびない橋”を実現した技術が、補修費の削減などコンクリート構造物のメンテナンスフリーにつながるものとして大きく期待されたことが受賞理由である。土木業界と真逆に位置するようなファッション業界から認められたことは驚きしかなかったが、これまで多くの課題や困難を乗り越えてきた関係者の苦労が報われたものと感慨深いものがある。

これを社会からの期待と我々の使命だと肝に銘じ、劣化しない（しづらい）橋梁構造物の実現にむけて、挑戦心を高めていきたい。

参考文献

- 1) 望月秀次, 花田克彦, 石崎茂, 久保圭吾, 松井繁之: FRP合成床版の実橋への適用例と疲労耐久性評価, 第1回FRPに関するシンポジウム, 土木学会, 2001. 1
- 2) 久保圭吾, 花田克彦, 松井繁之: 供用後10年経過したFRP合成床版の実橋載荷試験, 土木学会第63回年次学術講演会, 2008. 9

メリーランド州交通局が採用した CFCC を緊張材および補強筋に 使用した PC パイル

= Harry Nice Middleton Bridge =

継続実績より

677

北米メリーランド州のHarry Nice Middleton Bridge(写真-1・全長2736m)にてCFCCの緊張材およびスパイラル補強筋が大型パイル(図-1、写真-2)に採用されました。架橋場所は沿岸部に位置し、塩害対策が必要な地域です。北米ではCFCCは腐食しない材料として信頼されており、今回採用されたのは直径1,676mm(66inch)の大型パイルで、最大長さは64m近くになります。CFCCはパイル1本あたりに7本より $\phi 15.2\text{mm}$ の緊張材が32本、スパイラル筋には単線 $\phi 9.7\text{mm}$ が採用されました。

沿岸部の橋梁でのCFCCの採用が増えてきており、今後より一層の普及が期待されます。



写真-1 メリーランド州とバージニア州の間を流れるポトマック川に架かる Harry Nice Middleton Bridge

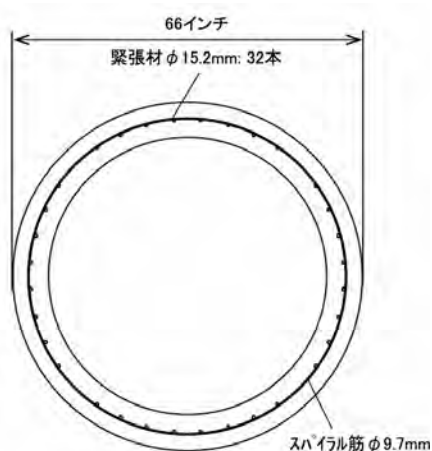


図-1 パイル断面図

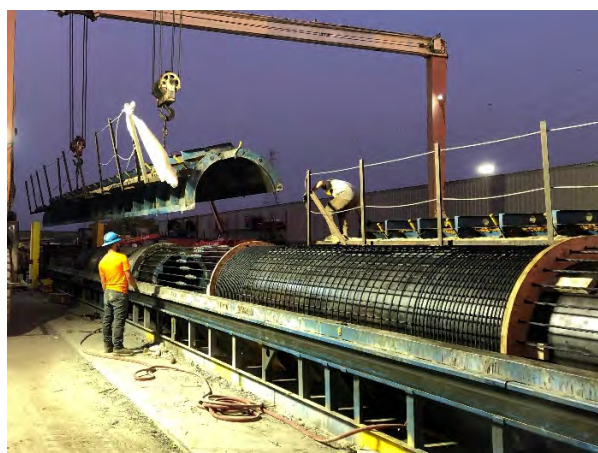


写真-2 パイル製作状況

※9ページ施工実績一覧表No.677をご参照下さい。

アラミドFRPロッド緊張材を適用した超高耐久床版による床版取替

＝ 中国自動車道 蓼野第二橋(たでのだいにきょう) 下り線 ＝

継続実績より

690

蓼野第二橋(下り線)は、1983年に供用された橋長103mの鋼2径間連続鈑桁橋であり、大型車両の増加や凍結防止剤散布の影響による損傷が床版に発生していました。コンクリートの剥離や鉄筋露出が多く見られ、床版の漏水・土砂化も確認されていたため、床版損傷に対する抜本的な対策として、超高耐久床版を適用しました。超高耐久床版は腐食する材料を一切使用しない床版であり、厳しい環境においても、今後の維持管理の負担を大きく低減することが見込まれます。

本構造は、高強度短繊維補強コンクリートとアラミドFRPロッド緊張材を組合せた完全ノンメタル床版です。有機短繊維を使用した高強度繊維補強コンクリートにアラミドFRPロッド緊張材によるプレストレスを与え、床版に発生する引張力を制御しています。アラミドFRPロッドは橋軸直角および橋軸方向の二方向に配置しており、床版間詰め部を約30mmとした上で超低収縮・超高強度型モルタルを充填し、アラミドFRPロッドで橋軸方向にプレストレスを導入することにより連結します。そのため、間詰め部の耐久性が飛躍的に向上しています。なお、壁高欄についてもガラス繊維FRPロッドを鉄筋の代わりに使用したプレキャスト製品を適用し、完全ノンメタル構造としています。

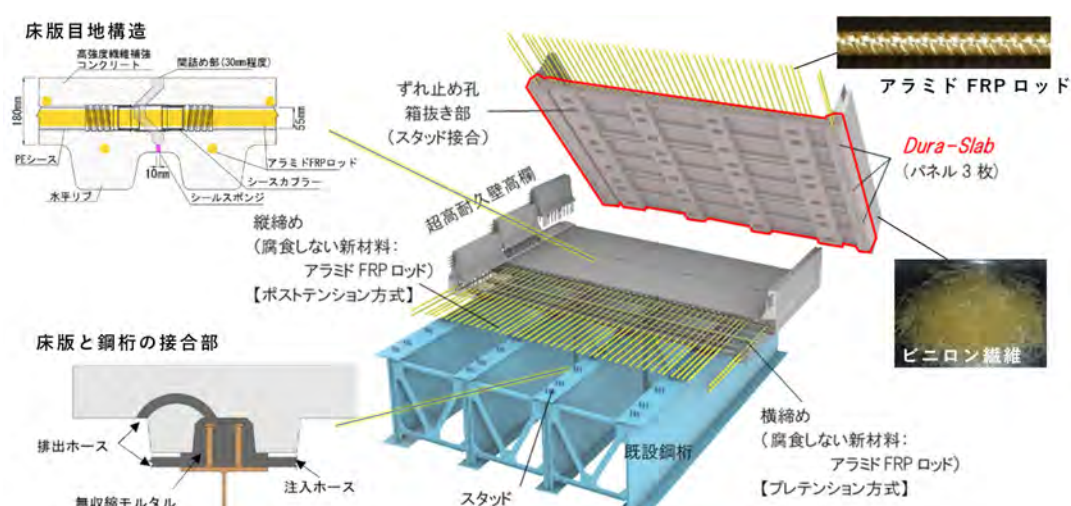


図-1 蓼野第二橋(下り線)の構造概要



写真-1 中国自動車道 蓼野第二橋(下り線)



写真-2 超高耐久床版の架設状況

※10 ページ施工実績一覧表 No.690 をご参照下さい。

FRP のみで補強された PC 橋梁 = Harkers Island Bridge =

継続実績より

698

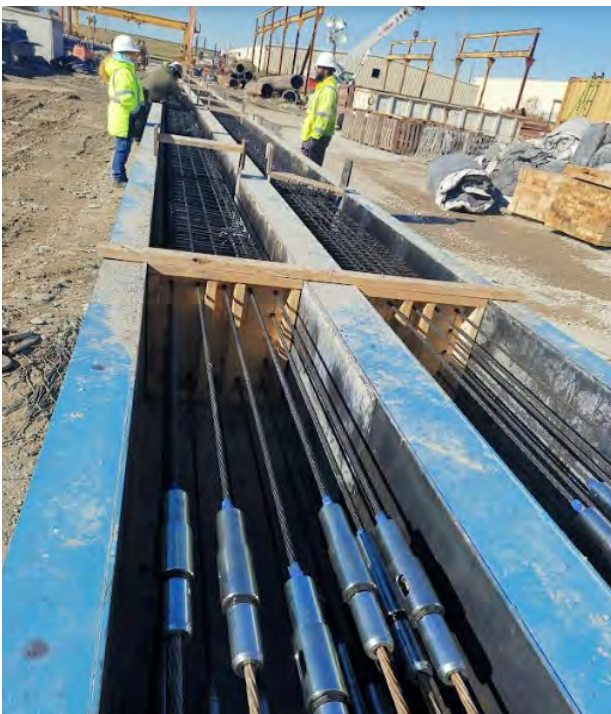
2021年より『ノンメタル(非鉄)』をコンセプトとしたFRPのみで補強された橋梁のプレキャストPC製品の製作が開始されました。使用されたのはノースカロライナ州の沿岸部にある Harkers Island Bridgeで、沖合の小島につながる約1kmのパイル橋脚により支持されるプレテンション桁橋です(写真-1)。橋脚、橋桁、床版などの補強にCFCCとGFRPが使用され(写真-2)、補強材に金属を使わずFRPで製作された腐食しない橋として注目を集めています。

CFCCが採用されたのは、24inchスクエアPCパイル(写真-2)、54inch PC桁、72inch PC桁、78inch PC桁(写真-3)の4種類で、特に24inch PCパイルでは緊張材、補強筋ともにCFCCが使用されています。



Photographed by Dylan Ray

写真-1 Harkers Island Bridge 架設工事の全景



PC 緊張材の配置状況



PC 緊張材(CFCC スターラップの取付状況)

写真-2 24inch スクエア PC パイルの配筋状況



CFCC 緊張材の配置状況
(緊張後)



CFCC 緊張材使用橋桁
(GFRP スターラップの取付状況)

写真-3 PC 桁の配筋状況

ミシガン州のローレンス工科大学での研究結果によると、FRPからなるPC橋梁のライフサイクルコストは通常の鋼材で補強されたPC橋梁に対し、100年後にはコストが半分以上になるとの試算が出ています(図-1)。

バージニア州での大型物件Hampton Road Bridgeでの採用(ACCトピックスVol. 32参照)や、今回のHarkers Island Bridgeでの採用により沿岸部での FRP材料の使用は注目を集めており、その他の州からの問い合わせも増えて来ております。

これらの実績を基に、CFCCの採用は今後益々増えていくものと期待されています。

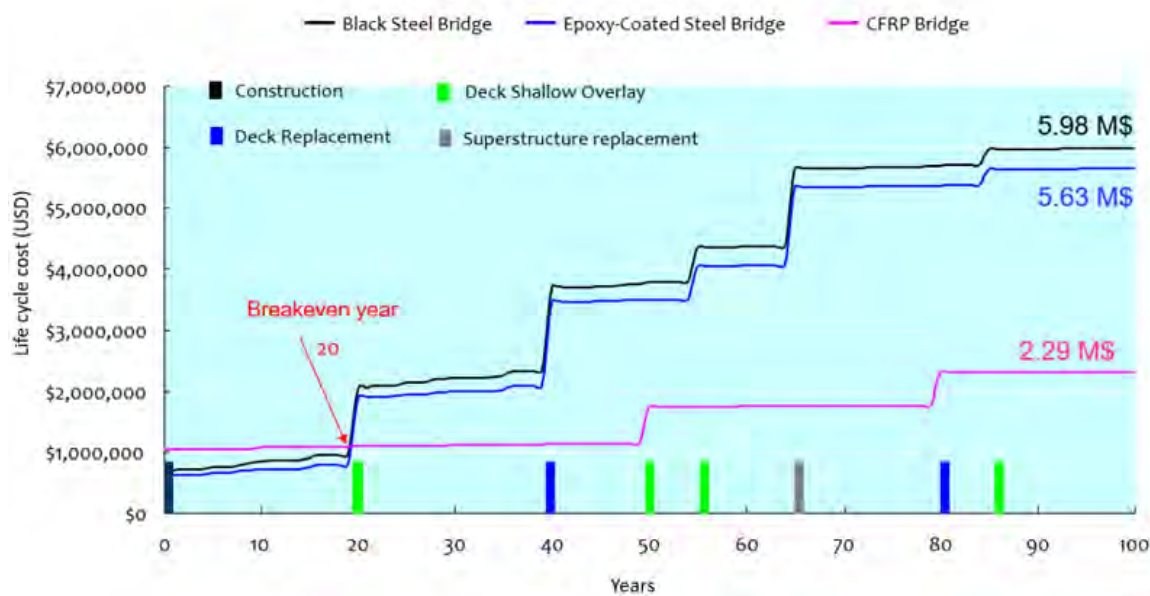


図-1 各種材料を用いた橋梁のライフサイクルコスト試算

※10ページ施工実績一覧表No.698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
662	フロリダ州交通局	Brevard County Project	北米フロリダ州	-	PCシートパイル補強(プレテンション緊張材)	CFCC 1X7 15.2φ L=2698m	2018年4月
663	フロリダ州交通局	Halls River Bridge Replacement Project	北米フロリダ州	18inchパイル パイル長55-70ft	PCパイル及びシートパイル補強(プレテンション緊張材)	CFCC 1X7 15.2φ L=2340m	2018年7月
664	フロリダ州キーウェスト市	Key West Ferry Terminal Pier	北米フロリダ州	14inchパイル パイル長40ft, 50ft	PCパイル補強(プレテンション緊張材, スパイラル筋)	CFCC 1X7 15.2φ L=2340m CFCC U 5.0φ L=1326m	2018年8月
665	オハイオ州交通局	Box Beam Project	北米オハイオ州	橋長57ft 幅員32ft	PC箱桁(プレテンション緊張材)	CFCC 1X7 15.2φ L=5837m	2019年6月
666	ミシガン州交通局	Bursh Street Bridge over I-94	北米ミシガン州	橋長228ft 幅員60ft	PC桁(プレテンション緊張材)	CFCC 1X7 15.2φ L=42231m	2019年6月
667	バージニア州交通局	High Rise Bridge	北米バージニア州	橋長1920m, 幅員26m	PCパイル(プレテンション緊張材, スパイラル筋)	CFCC 1X7 15.2φ L=98919m CFCC 1X7 10.8φ L=46260m	2019年11月
668	フロリダ州交通局	Ibis Waterway	北米フロリダ州	18inchパイル 橋長21m	PCパイル(プレテンション緊張材, スパイラル筋)	CFCC 1X7 15.2φ L=3968m CFCC U 5.0φ L=2772m	2019年11月
669	秋田県秋田地域振興局	橋梁補修工事(権之助沢橋)	秋田県	PC単純ボス騰T桁橋 橋長30.0m 幅員6.0m	床版張出部補強	高弾性リッドライン HM8 φ 660m	2020年6月
670	岐阜県高山土木事務所	桑原谷橋床版補強工事	岐阜県	橋長33.15m 幅員7.7m	RC床版上面補強	高弾性リッドライン HM12 φ 1116m	2020年8月
671	宮崎県都城土木事務所	岩脇橋	宮崎県	橋長25.2m 幅員12.2m	RC床版上面補強	高弾性リッドライン HM12 φ 350m	2020年8月
672	秋田県	新川井橋	秋田県	橋長110.5m 幅員11.0m	床版張出部補強	高弾性リッドライン HM12 φ 38m	2020年10月
673	バージニア州交通局	Laskin Road	北米バージニア州	-	PCパイル(プレテンション緊張材, スパイラル筋)	CFCC 1X7 15.2φ L=6080m CFCC 1X7 10.8φ L=5350m	2020年10月
674	フロリダ州交通局	St. Joe Bay Inlet	北米フロリダ州	10inch × 30inch シートパイル	シートパイル(プレテンション緊張材)	CFCC 1X7 15.2φ L=490m	2020年10月
675	横浜市・川崎市	末吉橋(鶴見川)補強改良工事	神奈川県	橋長107.8m 幅員13.3m	床版張出部補強	高弾性リッドライン HM12 φ 1500m	2020年11月
676	バージニア州交通局	I-64 Queens Creek	北米バージニア州	橋長800ft	PCパイル(プレテンション緊張材, スパイラル筋)	CFCC 1X7 15.2φ L=182488m CFCC 1X7 10.8φ L=41800m	2020年12月
677	メリーランド州交通局	Harry Nice Middleton Bridge	北米メリーランド州	66inchPCシリンダーパイル 橋長1.7マイル	PCシリンダーパイル(プレテンション緊張材, スパイラル筋)	CFCC 1X7 15.2φ L=182488m CFCC U 9.7φ L=156240m	2020年12月
678	長崎県長崎振興局	一般国道206号道路改良工事(元村橋拡幅工)	長崎県	橋長14.5m 幅員14.75m	床版上面補強	高弾性リッドライン HM12 φ 90.3m	2021年3月
679	岩手県北広域振興局	一般国道281号下川井地区2号橋上部工工事	岩手県	プレテンション方式PC単純中空床版橋 L=21.5m 製作数17本	高耐久仕様桁の桁端面補強	CFCC U5.0φ 553.52m	2021年3月
680	岩手県	一級河川北上川筋天神橋架替(上部工(ほか)工事 天神橋)	岩手県	プレテンション方式PC単純T桁	高耐久仕様桁の桁端面補強	CFCC U 5.0φ L=289.6m	2021年3月
681	国土交通省九州地方整備局鹿児島国道事務所	国道3号川内道路(薩摩川内IC～串木野IC)法面処理工事 いちき串木野下名	鹿児島県	グラウトアンカー78本	NMグラウトアンカー(HM5)	CFCC 1X7 12.5φ L=4750m	2021年5月
682	防衛省南関東防衛局	艦研川崎(2)法面整備土木その他工事	神奈川県	グラウトアンカー32本	NMグラウトアンカー(HM2)	CFCC 1X7 12.5φ L=978m	2021年6月
683	フロリダ州モノローカントリー市	Bimini Drive	北米フロリダ州	橋長28m	PCパイル(プレテンション緊張材, スパイラル筋)	CFCC 1X7 15.2φ L=3510m CFCC U 5.0φ L=3211m	2021年7月
684	国土交通省九州地方整備局鹿児島国道事務所	令和2年度国道3号川内道路芦ヶ野地区法面処理工事	鹿児島県	グラウトアンカー21本	NMグラウトアンカー(HM3)	CFCC 1X7 12.5φ L=1257m	2021年8月
685	神奈川県西土木事務所 小田原土木センター	令和2年地すべり対策工事(公共)当初3号その4	神奈川県	グラウトアンカー8本	NMグラウトアンカー(HM6)	CFCC 1X7 12.5φ L=1332m	2021年8月
686	フロリダ州交通局	40th Avenue Bridge	北米フロリダ州	桁長 50-60ft	PCスラブ桁(プレテンション緊張材)	CFCC 1X7 15.2φ L=42075m	2021年8月
687	青森県	八戸港改修シーガルブリッジ(取付道路改良)道路工工事	青森県	橋長265.6m 幅員10.5m	PC床版上面補強	高弾性リッドライン HM10 φ 362m HM12 φ 697m	2021年9月

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
688	青森県平内町	線越第18号 清水川橋架替(上部工第一期)工事 清水川橋	青森県	プレテンション方式PC単純T桁	高耐久仕様桁の桁端面補強	CFCC U 5.0 φ L=137.1m	2021年10月
689	神奈川県西土木事務所 小田原土木センター	令和2年度通常砂防工事(公共)明許線越その1	神奈川県	グラウンドアンカー-21本	NMグラウンドアンカー(HM6)	CFCC 1X7 12.5 φ L=4494m	2021年10月
690	NEXCO西日本中国支社	中国自動車道(特定更新等)夢野第二橋他床版取替工事 夢野第二橋(下り線)	島根県	橋長103.0m 有効幅員8.5m	緊張材	テクノール ロット(FRPP) 横締め: 4 φ 7.4mm 2 φ 7.4mm 縦締め: 9 φ 7.4mm L= 44000m	2021年11月
691	気仙沼市建設部土木課	岩尻縦貫線橋梁上部工工事	宮城県	プレテンション方式PC単純中空床版橋 橋長12.3m 桁高0.5m 桁数14本	高耐久仕様桁の桁端面補強	CFCC U 5.0 φ 259.1m	2021年11月
692	ミシガン州交通局	I-94 Advanced Bridges	北米ミシガン州	桁長 90ft	PC桁(プレテンション緊張材)	CFCC 1X7 17.2 φ L=36227m	2021年12月
693	NEXCO西日本徳島工事事務所	四国横断自動車吉野川大橋(仮称)建設工事	徳島県	PC15径間連続箱桁形式 橋長1695.5m	床版一体型プレキャスト排水溝補強筋	CFCC U 5.0 φ L=9598.4m	2022年1月
694	フロリダ州交通局	Northwood Ave.	北米フロリダ州	-	PCパイル(プレテンション緊張材、スパイラル筋)	CFCC 1X7 15.2 φ L=16654m CFCC U 5.0 φ L=19725m	2022年1月
695	静岡県富士土木事務所	春山川橋床版補強工事	静岡県	橋長9.7m 幅員6.0m	RC床版上面補強	高弾性リードライン HM12 φ 455m	2022年3月
696	東北地方整備局南三陸沿岸国道事務所	釜石地区橋梁上部工工事 荒川1号橋	岩手県	プレテンション方式単純中空床版橋	高耐久仕様桁の桁端面補強	CFCC U 5.0 φ L=81m	2022年5月
697	東北地方整備局南三陸沿岸国道事務所	釜石地区橋梁上部工工事 荒川2号橋	岩手県	プレテンション方式単純中空床版橋	高耐久仕様桁の桁端面補強	CFCC U 5.0 φ L=86.1m	2022年5月
698	ノースカロライナ州交通局	Harkers Island Bridge	北米ノースカロライナ州	橋長3200ft 54-78inchハイル 24inchハイル	PC桁、PCパイル(プレテンション緊張材、スパイラル筋)	CFCC 1X7 15.2 φ L=65025m CFCC U 7.2 φ L=59599m	2022年9月
699	東北地方整備局福島河川国道事務所	滝川橋上部工工事	福島県	桁長20.7m 桁高1.1m 製作数12本	高耐久仕様桁の桁端面補強	CFCC U 5.0 φ L=295m	2022年11月
700	広島県西部建設事務所	一級河川太田川水系 榎川支流19隣 砂防激甚災害対策特別緊急工事	広島県	深さ2.5m程度の表層崩壊の防止	荷重伝達材	CFCC 1X7 7.9 φ L=545.2m (アンカー188本)	2022年11月
701	フロリダ州交通局	Barracuda Blvd. New Smyrna Bridge	北米フロリダ州	18inchハイル パイル長120ft	PCパイル(プレテンション緊張材)	CFCC 1X7 15.2 φ L=24343m CFCC U 5.0 φ L=8800m	2022年11月
702	フロリダ州交通局	Coco Plum	北米フロリダ州	桁長40ft	PC桁(プレテンション緊張材)	CFCC 1X7 15.2 φ L=2314m	2022年11月
703	出水市役所	野田郷駅踏線橋線 令和4年度野田郷踏線人道橋補修工事	鹿児島県	踏板寸法1.5x0.33x0.05m	横断歩道橋踏板取替	CFCC U 5.0 φ L=1064m 踏板72枚	2023年2月
704	長崎市役所	網場町里道橋梁修繕	長崎県	橋長3.7m 幅員1.3m 歩道橋	プレテンション部材の緊張材	CFCC 1X7 15.2 φ L=12mx12本	2023年3月



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(瀬尾) 〒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 東京製綱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