

■コンクリート補強用 FRP 材料に関する ISO の動向

筑波大学大学院准教授 金久保利之

1. はじめに

国際標準化機構（ISO：International Organization for Standardization）では、工業分野の様々な国際規格（IS：International Standard）の策定が行われますが、具体的な IS の案作成や各国からの投票は、ISO 中の技術委員会（TC：Technical Committee）で取りまとめられます。コンクリートに関する TC としては TC71（Concrete, Reinforced Concrete and Prestressed Concrete）が活動しており、さらに TC の中に分科会（SC：Sub Committee）が組織され各種検討を行っています。TC71/SC6 は、FRP などのコンクリートの新しい補強材（Non-Traditional Reinforcing Materials for Concrete Structures）を取り扱う SC として、2000 年から活動を開始しました。本稿では、現在までに TC71/SC6 において検討されている内容を紹介します。なお、TC71/SC6 の幹事国は日本であり、日本コンクリート工学会（JCI）内に組織された ISO 対応委員会が、日本での議論およびとりまとめの役割を担っています。



2. 今までに TC71/SC6 で制定された国際規格

2000 年に JCI がホストとなって東京で行われた SC6 第 1 回会議では、コンクリート補強用 FRP 材料の標準試験法や品質規格の策定を行っていくことが議論されました。日本では、1990 年頃に行われた建設省総合技術開発プロジェクトや関連する研究開発の成果がほぼ出揃っていた時期であり、土木学会や建築分野で関連する指針などが発刊されています。これらの中には FRP 材料の標準試験となり得る内容も多く含まれていたため、SC6 の幹事国である日本から FRP 材料の標準試験法の案が提案されました。国際規格の策定過程では、SC 内での投票や、TC 参加国（P-member）による 2 回の投票を経て新規格が策定されますが、長い時を経て、やっと 2008 年にコンクリート補強用 FRP 材料の試験法を定めた ISO 10406 シリーズが発行されました。2 部構成となっており、第 1 部が FRP 棒材、第 2 部がシートに関する試験法になっています。それらの題目と内容を下の表に示します。

表-1 ISO 10406 シリーズの内容

ISO 10406-1:2008 Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete —Test methods— Part 1: FRP bars and grids	ISO 10406-2:2008 Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete —Test methods— Part 2: FRP sheets
1 Scope 2 Normative references 3 Terms, definitions and symbols 4 General provision concerning test pieces 5 Test method for cross-sectional properties 6 Test method for tensile properties 7 Test method for bond strength by pull-out testing 8 Test method for performance of anchorages and couplers 9 Test method for long-term relaxation 10 Test method for tensile fatigue 11 Test method for alkali resistance 12 Test method for creep failure 13 Test method for transverse shear strength 14 Test method for flexural tensile properties 15 Test method for the coefficient of longitudinal thermal expansion by thermo-mechanical analysis	1 Scope 2 Normative references 3 Definitions and symbols 4 General provision concerning test pieces 5 Test method for determining tensile properties 6 Test method for overlap splice strength 7 Test method for determining bond properties of fibre-reinforced polymer (FRP) sheets to concrete 8 Test method for direct pull-off strength of FRP sheets with concrete 9 Test method for freeze/thaw resistance 10 Test method for exposure to laboratory light sources 11 Test method for durability

章題に見られるように、ISO 10406 シリーズでは引張試験のみではなく、様々な試験法が規定されています。これは、試験温度の規定などの細かい変更点がありますが、当時の日本の指針類をほぼそのままの形で案としたため、JIS には規定されていない試験法も多く含まれています。例えば、第2部のシートの試験法では、6章（重ね継手試験方法）、7章（せん断付着強度試験方法）、8章（接着強度試験方法）、11章（耐久性試験方法）の内容が日本工業規格の標準仕様書として制定されましたが、2007年に廃止されました。このように、国際規格と国内規格で、年代的なねじれ現象のようなことが起きています。なお、国際規格は3年または5年ごとに定期見直しが行われますが、ISO 10406 シリーズは2012年に定期見直しの投票が行われ、引き続き存続することが決定しました。その際に試験温度や編集上の誤記などの訂正が行われ、修正版が近く発行される予定となっています。

SC6では、2004年の会議において、FRP材料を用いたコンクリート構造物の設計基準（design code）の策定を検討することを議決しました。しかしながら、基準の位置づけや他のSC（特にSC4：構造用コンクリートの要求性能、SC7：コンクリート構造物の維持および補修）との活動との兼ね合いから、あまり議論が進まずにいました。2007年のSC6会議で、設計に関わる基本的な考え方を示したアンブレラコードとすること、新設（主に棒材対象）と既設の補修、補強（主にシート対象）の両者に対応するものとすること、さらに2008年のSC6会議で、基準（code）ではなくガイドライン（guideline）とすることが議決され、具体的な規格案の作成作業に移ることができました。しかし、その元となるような基準はなく、JCIの対応WGで、ほぼ新たに書き起こされました。その際には、当然ながら、日本の既存の基準や指針と意図の異なる内容が含まれないように配慮されています。その後、TC参加国（P-member）による投票により反対票がなかったため、1回の投票が省略され、2013年4月に国際規格として発行されました（ISO 14484:2013 Performance guidelines for design of concrete structures using fibre-reinforced polymer (FRP) materials）。

3. 現在の国際規格の制定に向けた活動

SC6 の発足の当初から、FRP 材料の品質規格の策定は考えられていました。FRP 材料になじみの薄い国や地域では、ISO などで具体的な規格値が与えられていると使いやすいという考えがある反面、鉄筋と違い FRP 材料には様々な種類や形態がありますので、逆に規格値が与えられることによって新たな材料の開発や使用の足枷になるとも考えられます。近年、諸外国でもシートに対する注目度が高くなってきており、ヨーロッパで販売されている材料の中には、物性値がどのような値で表記されているのかよくわからないものもあります。このような背景から、JCI の対応 WG では、品質規格として、シート材料に関して、具体的な数値を規定するものではなく、引張強度、弾性係数および破断歪の数値の求め方を規定する規格を策定することにしました。具体的には、引張強度は試験結果のばらつきを考慮した下限値とすること、弾性係数は試験結果の平均値とすること、などです。また、ISO 10406 シリーズでは規定されなかった目付量や設計厚の求め方、出荷の際のサンプリング方法などを策定しようとしています。このような考えにより作成された案とともに、新業務項目提案 (NP : New work item Proposal) を 2012 年に行ったところ、全有効投票が賛成で、具体的な検討に入ることが決定しました。当然ながら、日本が規格案を提案し、主体的な策定作業を行っています。

4. 今後の活動

今後、FRP シートの材料規格案に関して、SC 内、TC 参加国による投票が行われていきます。それらへの対応は JCI の対応 WG で行っていきますが、WG のメンバーはもとより、メーカーなどの関係者からも広く意見を募っていきたいと思います。なお、FRP 棒材の品質規格については未だ議論がなされていません。ISO の対応 SC である TC71/SC6 は、日本が幹事国となって活動している SC ですので、国内からの意見が大きければ、主体的に国際規格を策定することも可能です。

『第4回FRP複合構造・橋梁に関するシンポジウム』に参加

昨年11月1日～2日、東京四谷の土木学会講堂にて『第4回FRP複合構造・橋梁に関するシンポジウム』が開催されました。このイベントは土木学会複合構造委員会が主催、日本建築学会、日本材料学会、日本複合材料学会、強化プラスチック協会の後援によるもので、FRPの材料特性、構造、耐久性や橋梁分野への適用性に関する論文が2日間で20編発表され、80余名の参加者が集まり盛会となりました。ACCからは、技術委員会の渡部委員より、「FRP緊張材を用いたPCはりの長期耐久性に関する検証試験」のタイトルで発表を行いました。



講演中の渡部技術委員

この論文は、東京大学生産技術研究所が1998年から実施し、ACCが材料提供や技術支援を行っている長期暴露試験の成果をまとめたもので、試験体の製作から現地での暴露、一定期間経過後に行った載荷試験や性状試験など、ほとんどすべての部分においてACCが関わっています。本試験についてはこれまでに何度か学会等で発表してきましたが、今回は計画15年間の中の14年目ということで、ほぼ最終段階の内容となっています。以下、その概要を紹介します。

プレストレストコンクリート（PC）構造物の緊張材にFRPを使用した場合、FRPとコンクリートの線膨張係数の違い、FRPの繊維自体やマトリクス樹脂の加水分解により、コンクリートとの付着が長期的に劣化し構造性能が低下するとの指摘がありました。このため、PCはり試験体を2種類製作し（1体の長さが150cm～200cmの規模）、一つは海岸縁の飛沫帯での自然暴露、もう一つは水槽内で温水の浸漬と室温乾燥を繰り返す促進暴露を実施、暴露前後でPCはりの載荷試験等を行うことで、付着劣化が本当に起こるのか検証しました。FRP緊張材は、炭素としてCFCC、アラミドとしてテクノーラを使用し、比較用のPC鋼より線試験体と合わせ35体を製作し暴露しました。その結果、自然暴露3年後の、促進暴露300サイクル後の試験体に対する静的載荷試験において、FRP緊張材を用いた試験体に性能低下は見られず、付着劣化は起こっていないことが分かりました。また、一部の自然暴露試験体に対し疲労載荷試験を行ったところ、載荷回数の増加にともなうたわみの変化が、PC鋼より線に比べFRP緊張材は小さく、疲労の影響を受けにくいことも分かりました。さらに、暴露後のFRP緊張材の断面を電子顕微鏡で観察しましたが、繊維やマトリクス樹脂に損傷は見られず、加水分解も発生していないことが分かりました。これらの結果より、FRP緊張材は長期に亘って安定した性能を保っており、これを用いたPC構造物は耐久性に優れたものと言えます。なお、自然暴露試験体の一部が現在も暴露を継続しており、15年を超える長期暴露は世界的にも珍しいものとなっています。今後、東大生産技術研究所と協力して、これら試験体の調査・試験を行っていきたいと考えています。

伊豆海洋暴露試験場の供試体確認

2013年2月5日（火）、6日（水）にACCの参加者6名で、伊豆海洋暴露試験場の見学を実施しました。2月5日に伊豆高原の旅館にて、今後の暴露場の維持管理方針について打合せを実施し、2月6日に伊豆海洋公園内の海洋飛沫帯コンクリート暴露試験所にて試験体（写真1、2）の状態観察および、東京大学生産技術研究所の協力のもと、一部試験体の自然電位の計測を実施しました。

供試体は、曲げひびわれを事前に与えた後、無載荷状態で下表のように、1999年から暴露されたものです。

暴露状態	供試体寸法	暴露場所	PC 鋼より線	CFCC	テクノーラ	計
自然暴露	200x150x2000	伊豆海洋公園	5	5	5	15

参加者（ACC 会員／敬称略）

中井：前田工織（株）

安藤：三井住友建設（株）

渡部：川田建設（株）

志道：（株）ピーエス三菱

古瀬：東京製綱（株）

秀熊：新日鉄住金マテリアルズ（株）コンポジット社

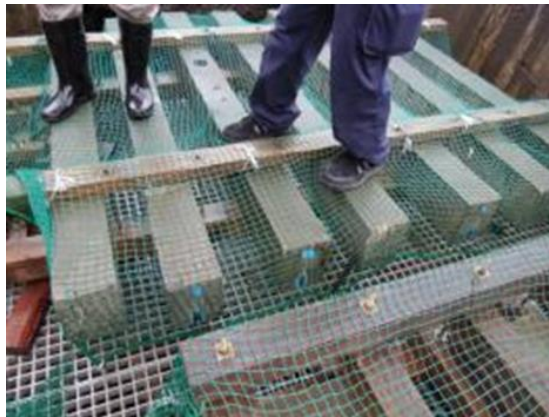


写真1
自然電位を測定した暴露試験体



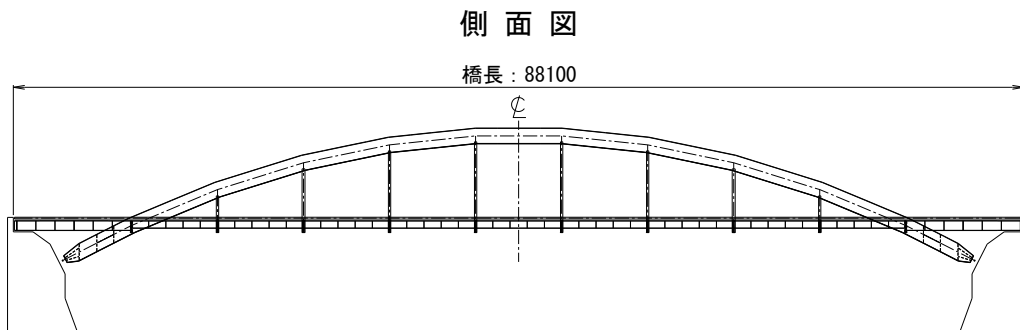
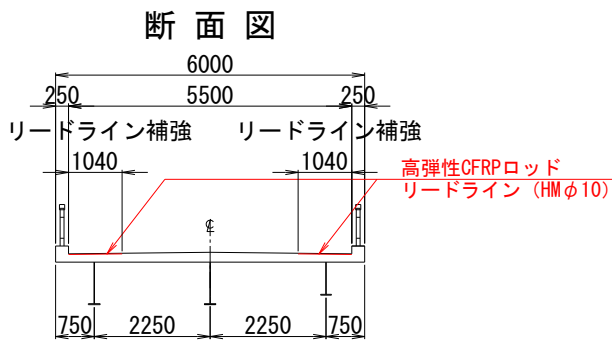
写真2
試験体下の状況

高弾性リードラインを使用した張出床版上面補強事例 ＝柳本橋橋りょう補修工事＝

継続実績より

480

本橋は1959年建設の鋼アーチ橋です。建設後50年が経過し、設計荷重の見直しに伴い、張出床版の鉄筋応力度、コンクリート応力度が許容値を超過することから、補強することとなりました。汎用的な炭素繊維シート工法と比べ経済性に優れ、工期も約3分の1に短縮できることから高弾性CFRP ロッド（リードライン）による補強工法が採用されました。本橋で使用された、CFRP ロッドは高弾性タイプ HM10φで、130mm 間隔で配置され、CFRP ロッド総延長が1300m 程度となっております。



テクノロジーロッドを用いた斜張橋橋脚の耐震補強 ＝志摩丸山橋＝

継続実績より
493

1989年に竣工した志摩丸山橋は、三重県の志摩半島南部、英虞湾と太平洋にはさまれた前島半島を縦断する一般国道260号志摩バイパスの海上橋で全長318mの橋梁であり、主橋部228mは2径間連続PC斜張橋です。支間113.4mは当時道路一等橋のPC斜張橋としてはわが国最大の支間を有していました。伊勢志摩国立公園にあり、真珠の海を一望する道として日本の道百選に選ばれた国道260号とともに奥志摩のシンボルとなっています。

耐震補強工事は橋梁全体にわたって行われ、東南海地震に備えています。AWS工法はアラミドロッド緊張材を用いて壁式橋脚の変形性能を向上させる工法です。斜張橋主塔の橋脚に初めて適用された事例です。

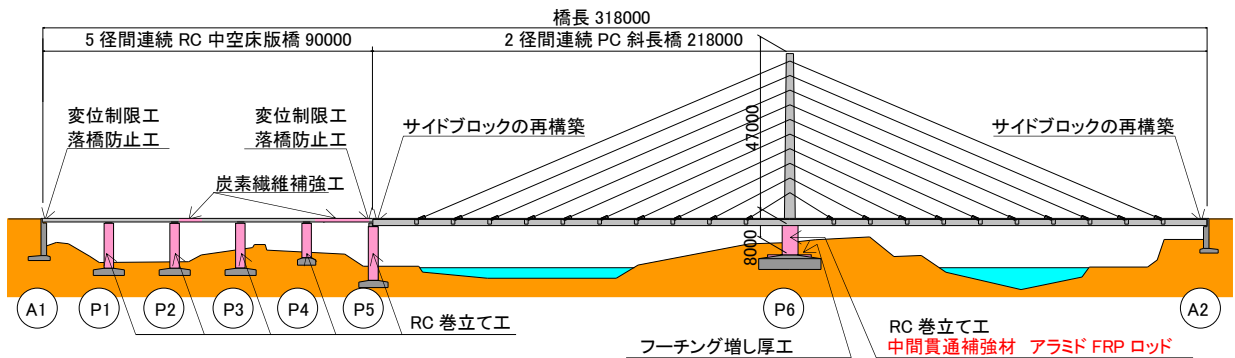


図-1 志摩丸山橋の側面図

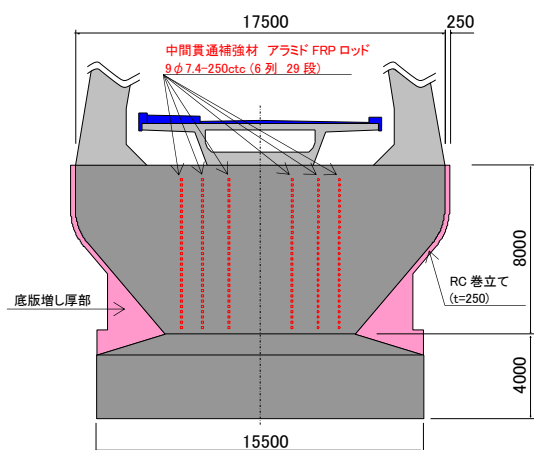


図-2 主塔の橋脚部の補強正面図と写真

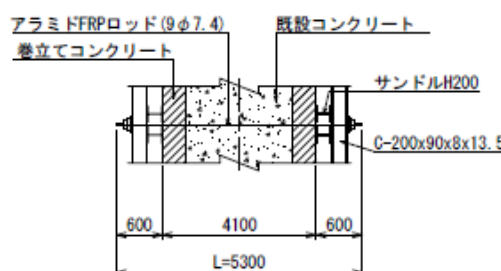


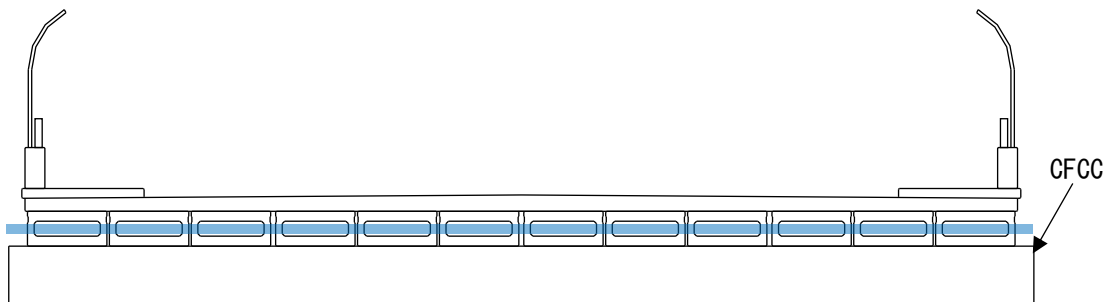
図-3 補強断面の概要図

CFCC を用いたポストテンション横締めケーブル =M-50 over NSRR Bridge=

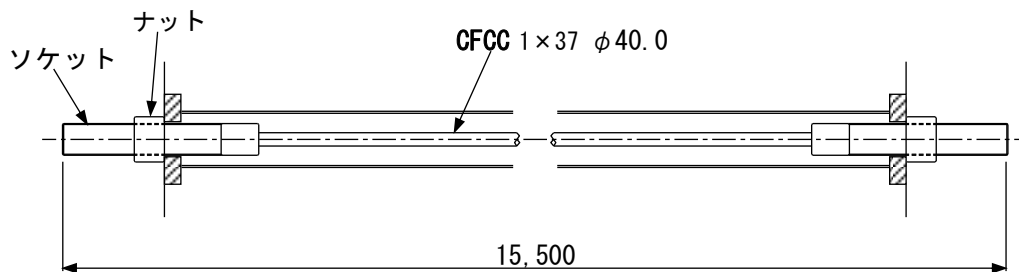
継続実績より
495

米国北部の寒冷地では、凍結防止剤の影響で補強鋼材が錆びることによる橋梁の早期劣化が問題となっています。米国ミシガン州ジャクソン市における劣化した既設跨線橋の架け替え橋に、横締めケーブルとしてCFCC 1×37 φ40.0mm, 15.5mが全 20 本（延べ 310m）に採用されました。

この橋はプレキャストの Box Beam を並べて架設する PC 橋（3 径間、橋長約 40.7m、幅員約 15.1m）です。その横締めケーブルに錆びない CFCC を採用したことで、ダクト内へのグラウト注入が不要となり、ケーブル張力のモニタリングや、将来損傷した Box Beam を単体で交換することも可能となりました。



桁・デッキ 橋梁断面



CFCC テンドン長さ

●横締めケーブルの挿入状況（CFCC は軽量でクレーンが不要）



クラック抑制のためにCFCCを使用した張出し架設橋 ＝遠賀川渡河橋＝

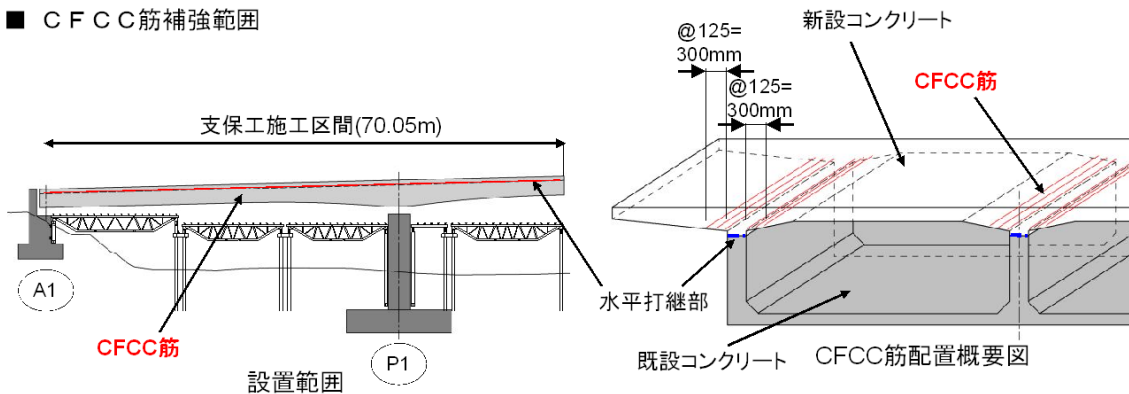
継続実績より
507

遠賀川渡河橋は、県道直方水巻線の一部として北九州市と鞍手郡の間に位置する遠賀川を跨ぐ橋長 357m、幅員：14.0m～17.0mの PC 5 径間連続 2 室箱桁橋です。コンクリート水平打継面のクラック抑制のために、CFCC が採用されました。CFCC は錆びないため、コンクリートかぶり部に配置可能であるためです。使用量は CFCC U5φ 75m×18 本、総延長 1,350m です。

また、本橋の施工は出水期・非出水期を通じて行う必要があり、HWL 等の河川制約条件を満足するように工程管理や支保工の構造を工夫しながら施工される中、CFCC の軽量で運搬のし易さ等施工性の良さも活かされました。

<CFCC筋>

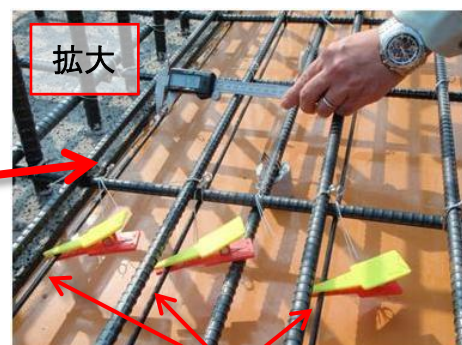
■ CFCC筋補強範囲



CFCCの梱包・納入状態
※各コイル巻（75m×18本）を包装したもの



CFCC 配置確認状況



CFCC

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
480	奈良県五条土木事務所	柳本橋床版上面補強	奈良県		床版上面張出部補強	高弾性リドラインφ 10 1360m	2011年9月
486	国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所	国道8号山の神橋他橋梁補修工事(山の神橋)	福井県	橋長 7.7m 幅員 10.1m(全幅)	RC床版上面補強	高弾性リドライン HM12φ 150M	2011年5月
487	沖縄県土木建築部	伊良部大橋橋梁整備第6期工事(上部工その5)	沖縄県	橋長 2,185mのうち295m 幅員 8.5m	主桁セグメントかぶり部補強、沓座モルタル補強、シア部補強	CFCC U φ 5.0 L=7,102m	2011年8月
488	ミンガン州交通局	Pembroke Avenue Bridge over M-39	米国ミンガン州	橋長 33m 幅員 19m	ポストテンション横締めケーブル	CFCC 1x37 φ 40.0 20.5mx12本	2011年8月
489	愛媛県南予地方局	交通改第23号の5(国)387号 地方道路整備工事(東川橋)	愛媛県	橋長 10,300m 幅員 13,000m	支承部沓座モルタル補強	CFCC U φ 5.0 141.6m	2012年1月
490	長野県松本市	市道2068号線清水元町橋狭量修繕工事(清水元町橋)	長野県	橋長 6.11m 幅員 7.57m(全幅)	RC床版上面補強	高弾性リドライン HM8φ 60m	2012年1月
491	宮崎県宮崎土木事務所	平成23年度交付建設第2-1-4号 宮崎西環状線松橋工区(仮称)新相生橋 上部(P1張出)工事	宮崎県	橋長 412.3m	支承部沓座モルタル補強	CFCC U φ 5.0 677m	2012年1月
492	神奈川県小田原土木事務所	大涌沢地すべり防止区域 平成22年度地すべり対策工事(公共)12月補正1号その4 平成23年度地すべり対策工事(公共)当初4号その3 合併	神奈川県	-	グラウンドアンカー	NMグラウンドアンカー 23本+19本	2012年3月
493	三重県志摩建設事務所	志摩丸山橋	三重県	橋脚1基	橋脚RC巻き立て補強	テナーφ 7.4mm 8378m	2012年度工事
494	国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所	中島大橋	富山県	橋脚1基	橋脚RC巻き立て補強	テナーφ 7.4mm 983m	2012年度工事
495	ミンガン州交通局	M-50 Bridge over NSRR	米国ミンガン州	橋長 41m 幅員 15.2m	ポストテンション横締めケーブル	CFCC 1x37 φ 40.0 15.5mx20本	2012年6月
496	メイン州交通局	Fryeburg Little Pond Bridge	米国メイン州	橋長 13.9m 幅員 11m	ポストテンション横締めケーブル	CFCC 1x37 φ 40.0 11.4mx5本	2012年8月
497	沖縄県土木建築部 宮古土木事務所	伊良部大橋橋梁整備第7期工事(上部工その7)	沖縄県	プレキャストセグメント製作工 70基 支承据付工 18基	下床版及びウェブマッチ面ひび割れ防止対策 支承モルタル補強対策	CFCC U 5φ 8,568m	2012年8月
498	鹿児島県北薩地域振興局	道路整備(交付金)工事(蘭牟田瀬戸架橋第1橋)	鹿児島県	橋長 217m 有効幅員 6.5m PC3径間連続箱桁橋	プレキャストPC床版(ルーフ継手部) 下縁突起部のRC補強	CFCC U 5φ	2012年9月
499	宮崎県西都土木事務所	平成23年度交国橋補第3-04号 国道219号糸郷谷橋橋梁補強工事(糸郷谷橋)	宮崎県	橋長 150m 幅員 6.5m(全幅)	RC床版上面補強	高弾性リドライン HM12φ 470m	2012年11月
500	宮崎県宮崎土木事務所	平成24年度 県橋維持 第01-04号 大淀大橋 床版補強工事(大淀大橋)	宮崎県	橋長 500m 幅員 20.5m(全幅)	RC床版上面補強	高弾性リドライン HM12φ 220m	2012年11月
501	西日本高速道路株式会社	屋嘉第一高架橋(下り線)床版改良工事	沖縄県	橋長 227.7m	プレキャストPC床版(ルーフ継手部) 下縁突起部のRC補強	CFCC U 5φ 5,091.28m	2012年12月
502	兵庫県	上の山橋梁	兵庫県	26.5m 1橋 24.5m 3橋	プレキャストPC床版(ルーフ継手部) 下縁突起部のRC補強	CFCC U 5φ 0.3mx140本	2013年1月
503	沖縄総合事務局 開発建設部	那覇港橋梁上部工工事	沖縄県	上部工工事 L-171m	-	CFCC 1x7 φ 10.5 L=781m CFCC 1x7 φ 12.5 L=154m	2013年2月
504	神奈川県西湘地域県政総合センター	蛇骨川上流地区 平成23年度蛇骨川上流(その2)治山工事	神奈川県	-	グラウンドアンカー	NMグラウンドアンカー 88本	2013年3月
505	神奈川県西土木事務所 小田原土木センター	大涌沢地すべり防止区域 平成24年度地すべり対策工事(公共)当初3号その2	神奈川県	-	グラウンドアンカー	NMグラウンドアンカー 39本	2013年3月
506	宮崎県宮崎土木事務所	宮崎西環状線松橋工区(仮称)新相生橋上部(P3張出)工事	宮崎県	4径間連続波形鋼板ウェブPC箱桁橋	プレキャストPC床版の角欠け防止	CFCC U 5φ 148m	2013年5月
507	福岡県直方県土整備事務所	県道直方水巻線(仮称)遠賀川渡架橋橋梁上部工工事(1工区)	福岡県	橋長 357m、支間長 47.25m+75.0m+110.0m+75.0m+47.25m、 有効幅員 14.0~17.0m(車道7.0m+付加3.0m、歩道②@3.5m)	PC5径間連続箱桁橋 水平打継面クラック抑制	CFCC U 5φ 1,350m	2013年7月
508	国土交通省九州地方整備局対馬事務所	厳原港大橋新設工事	長崎県		鉄筋代用	テナーφ 13mm 120m	2013年度工事
509	宮崎県	平成24年度交付建設第2-1-7号 宮崎西環状線 松橋工区(仮称)新相生橋上部(P2)張出工事	宮崎県	橋長 412.3m うち施工分132.8m 有効幅員 22.0m	沓座部モルタル補強筋	CFCC U 5φ 720m	2014年10月竣工予定



編集後記

会員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。

建設用先端複合材料技術協会

事務局(榎本) 〒103-8306 東京都中央区日本橋 3-6-2 日本橋フロント 東京製鋼株式会社内
Tel.03-6366-7797 Fax.03-3276-6870 E-mail: info@acc-club.jp