

■FRP にさらに期待する

京都大学大学院工学研究科教授

宮川 豊章

ACCトピックスには第13巻でインタビューを受け、「LCCによるアプローチを目指して」とのタイトルをいただいています。これは2001年11月号でしたので、20世紀から21世紀に変わった年のことでした。当時はまだライフ・サイクル・コスト、LCCに対する認知度は低く、LCCという言葉は知っていても、なかなか一般の技術者には内容を信じてもらえなかったように記憶しています。もっともACCの方々にはみなさんさすがによくご存知でした。現在では、管理者あるいはオーナー側のインハウス・エンジニアの方にもその名称になじみができ、興味を持っておられる方も数多いようです。



良いものは高く当然です。“開運！なんでも鑑定団”あたりでは、驚くような評価額が披露される場合があります。しかし、そこでの評価額は決して材料費、人件費、技術料などのみで成り立っているわけではありません。対象となるものに人気があり、市場で要求されているかどうか、このことに大きく影響されています。それがどのように良いものであるかを理解してもらい、要求されないと、普及は厄介なのです。皆になじみのない新しいものについては特にそうでしょう。

炭素繊維やアラミド繊維などを用いたFRPは従来なじみのない材料でした。しかし、ようやくなじみが出てきたのではないかと思います。FRPの場合には、加えてその特徴である耐久性が関与する時間軸での評価が重要です。したがって、その確証を得るのにも時を要し、なじみを得るのに時間がかかるのはもっともでしょう。FRPの良さを理解してもらう最も良い手法はLCCだと思います。従来の補強材の主流である鋼材にはない耐久性を持つFRPは、材料費、初期コストは高くともLCCは低く抑えることができるのです。

さて現在では、LCCと言えば、Low Cost Carrierだそうで、先日も妙なところでLCCという言葉が発見し、Life Cycle Costではないことにとまどいました。しかし、Low Cost Carrierについては、倒産騒ぎなどで一時のブームも沈静化してきています。しかも、LCCは現在市場で要求されている考え方、アプローチです。以前にLCCを用いたストック・マネジメントの効果として、図-1に示すような市民、管理者、コンクリート技術者の3者が得をする仕組みを提案したことがあります。ここでもLCCは極めて重要な要因とみなされています。また、LCCと言えばLife Cycle Cost、という時代になると考えています。

もっとも、良いことばかり言っているだけではACC会員の皆さんにとっても良くないかもしれません。例えば、コンクリートとの付着クリープなどもそうかもしれません。しかし、一点あえて厳しいことを言えば、FRPは耐久性に富むが、接続部は必ずしもそうではない場合もないではないように感じています。システムとしての耐久性が問われているのです。そのような部分については、高耐久性

化することも必要でしょうし、容易に交換できるような使用方法にすることもまた解の一つだと思います。さらには、維持管理上のような部分に目をつけるべきかというリスクに基づく早わかり一覧表もまた必要です。技術には必ず限界があり、完璧はあり得ません。これらのような課題を解決する方法としては、種々の実験、シミュレーション解析がありますが、やはり現実の環境における暴露実験が必須であると思っています。

我々関西地区のコンクリート技術者は明石、舞鶴、熊野の3地区に暴露実験場を持っていました。その成果は、種々の論文として発表されています。現在は、舞鶴は供試体を持ち帰り分析を待っている段階であり、明石は移設されて少々測定しにくい環境となってしまいましたが、熊野は頻繁に供試体の入れ替えや測定が行われています。この熊野には、連続繊維補強材が20年以上暴露されています。この暴露実験の成果は世界に誇るべきものであると思います。しかし、20年以上ということは、新しいものに入れ替えもされてはいるものの、主体は20年も昔の材料あるいはシステムということです。それ以降のより先端的な新しいシステムでの暴露実験が引き続き行われることを期待しています。

第13巻の当時、私はFRPの需要はどんどん増えていくだろうと思う、と述べています。増えてきたけれど私の期待したほどではないのが現状のようです。しかし私は基本的にはオプティミストで、いよいよなじみの出てきたFRPの普及に対してまだまだこれからに期待しています。ここが正念場です。大いに期待しています。

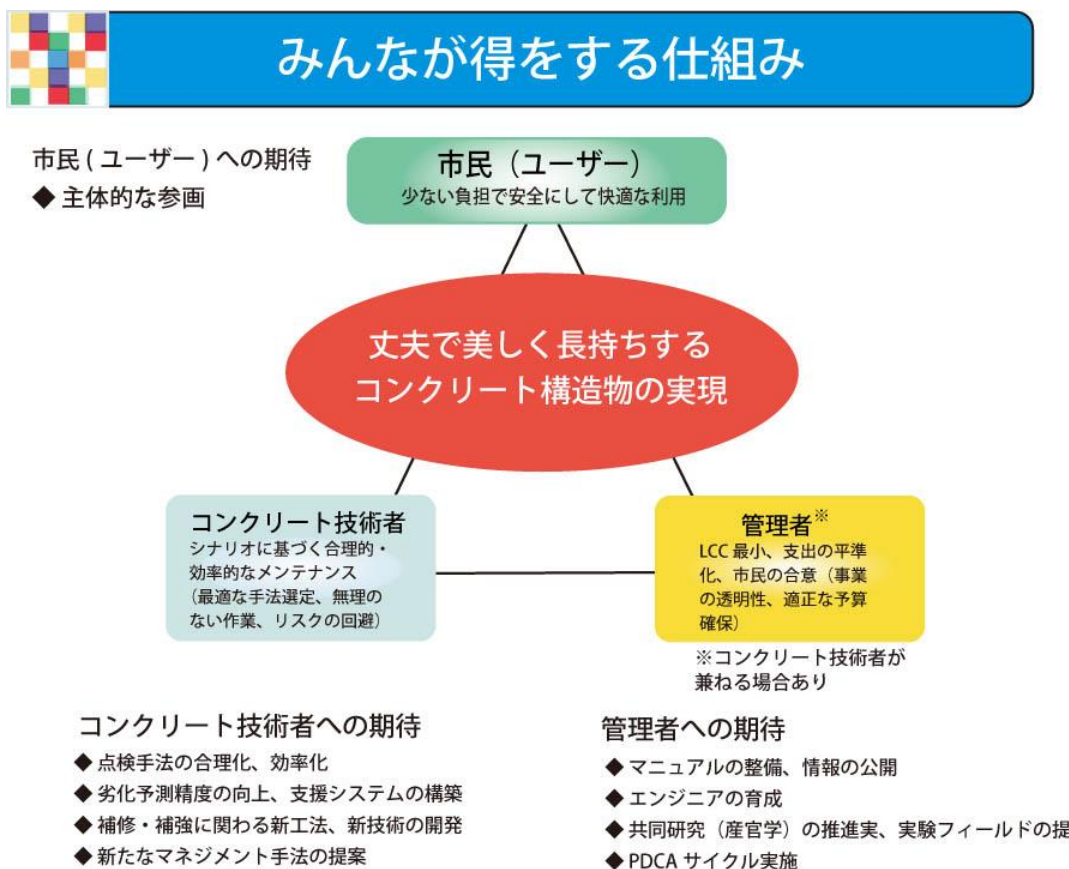


図-1 ストック・マネジメントの効果

FRP 緊張材を用いたプレテンション部材の自然暴露試験 - 中間報告 -

連続繊維補強材(FRP)が建設分野のコンクリート補強材に適用されて 25 年余が経過しています。現在まで FRP 自体の劣化報告はありませんが、乾湿の繰返しの影響でコンクリートと FRP の付着性状の劣化問題が指摘されています。そのため ACC は、東京大学生産技術研究所と共同で、FRP 緊張材を用いたプレストレストコンクリート構造物の長期耐久性を検証するため、プレテンション部材による自然暴露試験を継続して実施しています。暴露条件は一般環境および海洋環境とし、それぞれ内陸部(年平均気温 15℃, 年降水量 1300mm)および海岸に面した飛沫帯(年平均気温 15℃, 年降水量 2300mm)の 2 か所で実施しています(写真-1,2)。

図-1 に示すように、供試体は桁高 200mm×幅 150mm×桁長 2000mm の形状で、緊張材にはアラミド(Technora[®])、カーボン(CFCC[®]) および比較用に鋼より線を使用してプレテンション方式により保証引張強度の 60%相当の初期緊張力を導入しています。また、材齢 2 ヶ月の段階で、曲げ耐力の約 60%の荷重を載荷し、ひび割れを発生させた状態で、1999 年 4 月より自然暴露試験を開始しました。

海洋環境に暴露した供試体から採取した塩化物イオン量は、図-2 に示すように、2002 年(暴露 3 年)と 2010 年(暴露 11 年)の測定結果より、鋼材付近で高い濃度の塩化物イオン量を確認しています。今回、2015 年 1 月下旬から 2 月初旬にかけて、両場所に設置した供試体の状況確認を行いました。外観上からは全く異常は確認されませんでした。今後は、鋼より線を用いた供試体の自然電位等の状況により、供試体を回収し各種試験による健全性の詳細な調査に移行する予定としています。



写真-1 一般環境の暴露状況



写真-2 海洋環境の暴露状況

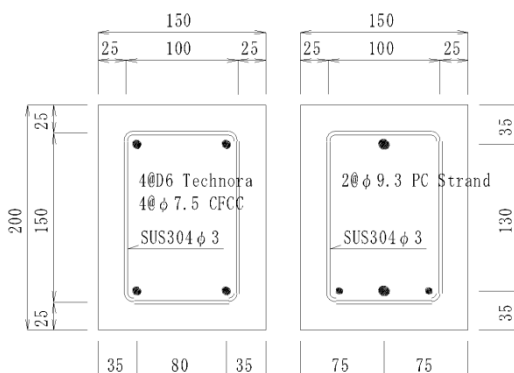


図-1 供試体形状

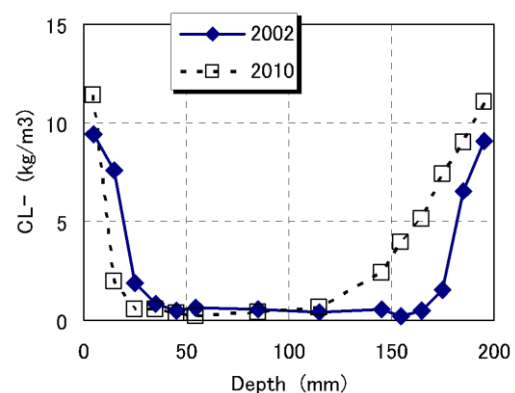


図-2 塩化物イオンの濃度分布

沖縄技術説明会

2014年6月20日、内閣府沖縄総合事務局南部国道事務所にて技術説明会を開催しました。沖縄県での開催は2回目で、今回は、南部国道事務所および北部国道事務所より15名の技術者の方に参加いただきました。ACCからは鈴木会長以下5名が参加し、各材料のリーフレットを配布するとともに、サンプル材料を展示してFRP材料の質感や軽さを確認していただきました。

説明会は、瀬尾事務局長の司会進行のもと、冒頭、南部国道事務所の照屋副所長よりご挨拶をいただき、厳しい塩害環境下にある沖縄県の構造物に求められる耐久性や維持管理の重要性等についてご紹介いただきました。ACCからは、鈴木会長より協会発足の背景や活動履歴、沖縄県でのFRP材料の採用実績、今回の技術説明会の概要など全体的な紹介を行い、続く個別テーマとして以下の3題について説明しました。

(1)FRP材料の説明および適用実績について:榎本委員

FRP材料の材料特性や、優れた耐食性および非磁性を生かした各種構造物への適用実績などについて紹介しました。

(2)長期耐久性試験結果について:中井委員

1999年に製作した自然暴露供試体および促進暴露供試体を用いた各種試験について報告し、FRP材料を用いた構造物の高い耐久性について検証結果を紹介しました。

(3)PC橋梁のライフサイクルコスト(LCC)検討について:志道委員

S地区塩害環境において供用期間100年間を想定したPC橋をモデルに、一般的な塩害対策橋梁や電気防食橋梁と比較して、FRP材料を適用した橋梁のLCC低減に対する有効性について紹介しました。

各テーマについては、それぞれ活発な討議が行われました。沖縄県という構造物の耐久性に対して厳しい環境の中、直に構造物の建設と維持管理を行っている発注サイドの技術者の方々のご意見を聞くことができ、大変有意義な説明会となりました。

今回の説明会開催に際しては、金城博南部国道事務所長他にご尽力を賜りました。この場を借りてお礼申し上げる次第です。



写真-1 照屋副所長のご挨拶



写真-2 鈴木会長による挨拶



写真-3 説明会の状況

CFRP を使用する港湾 PC ホロー桁の実物大載荷試験

ACC 会員会社である東京製鋼株式会社は、国立研究開発法人港湾空港技術研究所との共同研究として、「LCC を考慮した CFRP 補強材の港湾構造物への適用に関する研究」を実施しています。その研究の一環として、実物大規模の試験体による構造性能試験(実物大 PC 桁載荷試験)が、2014 年7月に公開試験で実施されました。試験の結果、CFRP を PC 桁の緊張材および補強材に使用した場合も従来の PC 桁と同等の曲げ性能を有する PC ホロー桁を設計・製作できることが確認できました。今後、ライフサイクルコスト低減と併せた設計施工の考え方が整理される予定です。

<実物大 PC 桁載荷試験の概要>

(1) 載荷試験の目的

PC 栈橋の主桁である PC ホロー桁に、CFRP を緊張材および補強筋として適用した場合も、従来の鋼材の補強材のみで製作した PC ホロー桁と同様の構造性能を有することを確認する。

(2) 試験桁の考え方

実際の PC 栈橋を想定し、その上部工である PC 床版の主桁である PC ホロー桁の部分を単純桁として取り出し、モデル化して、2種類の PC ホロー桁を1体ずつ製作して試験桁とした(図1参照)。

桁の構造性能としては、「使用限界状態の変動荷重」作用時の桁中央断面応力状態が同等になるように設計を行った。

比較材桁

実際の PC 栈橋の PC 主桁の設計をそのまま、単純桁(PC ホロー桁、桁長:9.9 m)に、モデル化して製作した。かぶりは 70 mm (下縁鉄筋)、緊張材は PC 鋼より線 SWPR7B 1S15.2、補強筋は異形鉄筋 D13, D16 [SD345]とした。

CFRP 適用桁

比較材桁の断面寸法をそのまま、耐久性向上のために、最下段の緊張材に CFCC 1x7 φ 15.2 および補強筋(スターラップ)には CFCC1x7 φ 7.5、φ 10.5 を使用した。これら CFRP は塩害腐食の心配がないので、下縁コンクリートのかぶりは 50mm 程度とした。また、材料コスト軽減のため、設計供用 50 年で塩害の影響を受けない範囲の補強材は、比較材桁と同様の鋼材を使用した。

(3) 試験桁の製作

両試験桁は、PC 桁製造会社の同一製造ラインにて製作した(写真1参照)。なお、CFRP 適用桁の場合、弾性係数の異なる緊張材が同一断面に有るため、2段階に分けて緊張作業を行った。その他コンクリート配合・打設、蒸気養生等については同一条件で実施できた。

4) 曲げ載荷試験方法 (写真2参照)

JIS A 5363 による単純はり形式載荷を参考に、支間長 9.6m で、純曲げスパン 1.0m の中央2点載荷で試験を実施した。

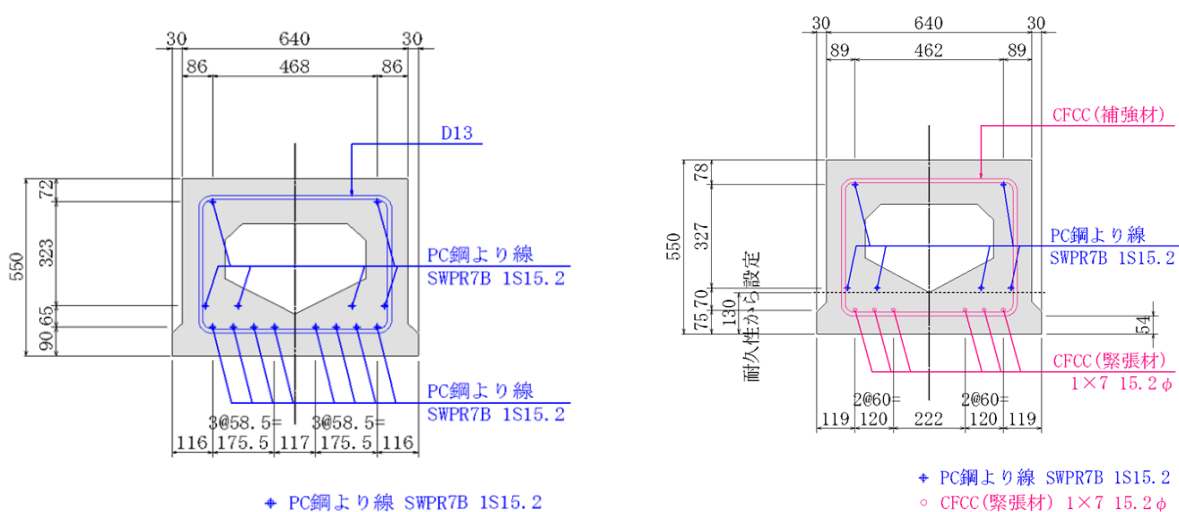
曲げ載荷試験の載荷ステップは、① 初期ひび割れ発生荷重まで単調載荷・除荷、② PC 鋼より線の降伏相当荷重まで単調載荷・除荷、③ 破壊まで単調載荷とした。

(5) 試験結果

荷重-たわみ曲線を図2に示す。両試験桁ともに初期ひび割れ発生まで同一の曲線をたどり、使用限界状態の変動応力作用時相当の荷重である 116 kN 載荷時は同一のたわみ量を呈した。試験桁破壊時の載荷荷重およびたわみ量も十分に大きなものであった。

参考資料

榎本剛, 古瀬徳明, 加藤絵万, 岡崎慎一郎, 横田弘:CFRPを使用する港湾PCホロー桁の実物大載荷実験, 土木学会関東支部第42回技術研究発表会講演概要集, V-61, 2015. 3.



比較材桁

CFRP 適用桁

図-1 試験桁の中央部横断面



CFRP 補強筋組立



緊張作業

写真-1 試験桁製作状況(CFRP 適用桁)



写真-2 曲げ載荷試験状況

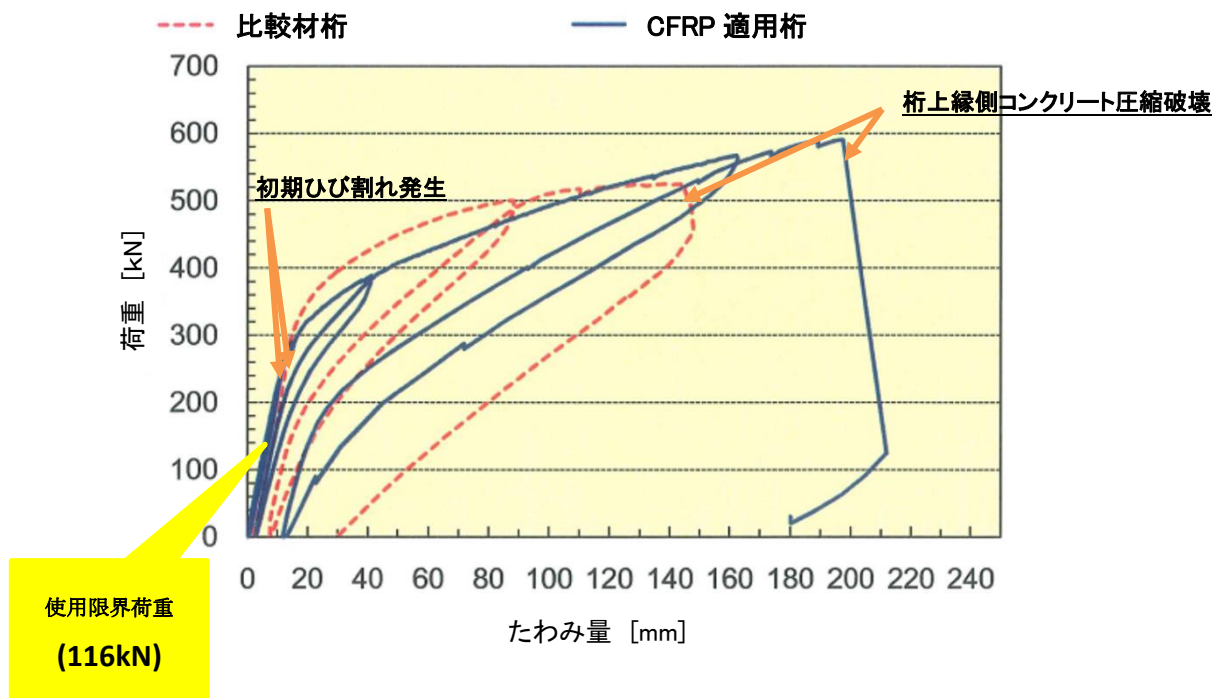


図-2 曲げ載荷試験結果(荷重-たわみ曲線)

伊良部大橋開通 —塩害地区における 100 年対応の橋梁を目指す—

沖縄県の宮古島と伊良部島を結ぶ伊良部大橋(本橋梁部 3540m、海中道路などを含めた県道の長さは 4310m)が、2015 年 1 月 31 日に開通しました。この橋は、無料で渡れる橋としては国内最長です。

開通式典は、松本洋平内閣府大臣政務官、翁長雄志沖縄県知事、下地俊彦宮古島市長、各界各層の招待者など約 1000 人が参加して開催されました。旧伊良部村が国への要請を始めてから 41 年の時を経て、伊良部の住民が永年待ち望んだ架橋がついに実現したことになります。



開通式の模様

平成 17 年に伊良部町を含む 5 市町村の合併により誕生した宮古島の一体化と効率的な行政支援を行うとともに、伊良部島の医療・教育・福祉の向上や架橋による物流コストの低減、市場拡大による地域経済の活性化等、宮古圏の地域振興が期待されています。

この橋梁は、海上に架かる離島架橋であり、島民の唯一の交通手段となり代替道路がないことから、建設当初の技術で考えられる塩害対策を設計施工において十分に検討され、高耐久化・長寿命化が図られました。数多くの塩害対策が施される中で、ACCにおいて普及活動を行っています CFRP のコンクリート補強筋も、セグメントの下床版のコンクリートかぶり内や沓座モルタル内の配筋として使用されています (ACCトピックス Vol.22 および Vol.21~25 の施工実績一覧表参照)。

これを機に、橋梁の高耐久化・長寿命化のために、連続繊維補強材(FRP 材)の有効利用が進むことが期待されます。



伊良部大橋



<本橋の諸元>

路線名:一般県道平良下地島空港線

道路規格:第3種3級、A活荷重

延長:6500m(本橋部 3540m, 海中道路部 600m, 取付部橋梁 170m, 取付道路 2190m)

幅員:橋梁部 8.5m

上部工形式:PC 連続箱桁(一般部)、鋼床版箱桁橋(主航路部)、中空床版(取付部橋梁)

下部工形式:RC 橋脚(一般部)、T 型橋脚(主航路部)、逆 T 型橋台

基礎形式:直接基礎(2 基)、鋼管杭基礎(30 基)、鋼矢板基礎(18 基)

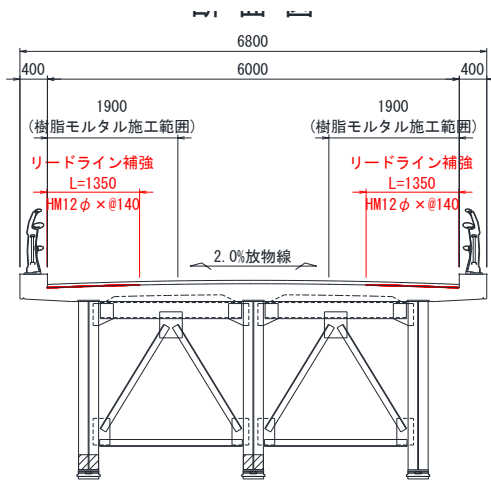
<参考文献>

- 1) 宜保勝、親川賢一、渡久山直樹(沖縄県宮古土木事務所):「伊良部大橋の施工ー耐塩害性向上に対する事例と今後の展望ー」、プレストレストコンクリート, Vol. 52, No. 2, pp.55-63, Mar. 2010
- 2) 白石哲、中村雄一郎、平安山良和(ピーエス三菱):「伊良部大橋上部工の施工ー塩害地区における 100 年対応の橋梁を目指してー」、コンクリート工学, Vol. 49, No. 11, pp.41-46, 2011, 11

高弾性リードラインを使用した張出床版上面補強事例 ＝大原橋橋梁補強工事＝

継続実績より
537

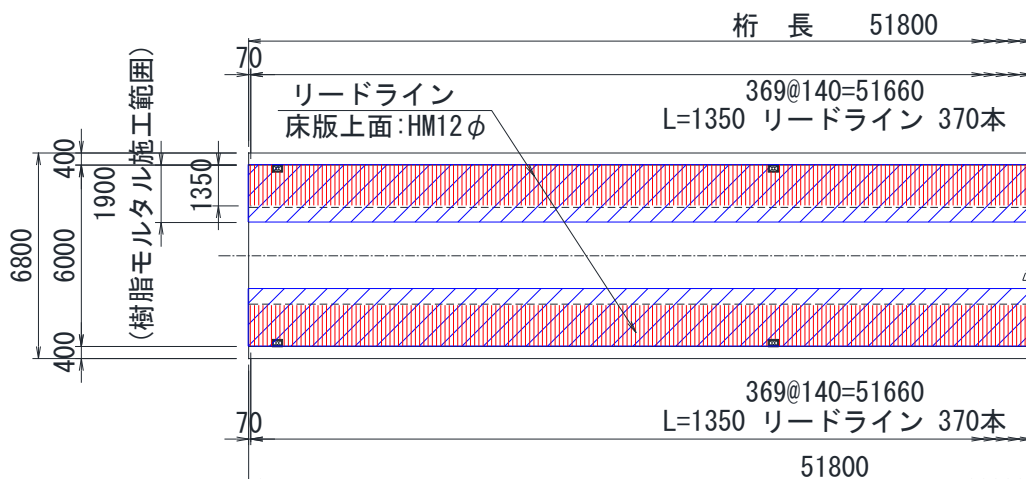
本橋は山梨県都留市に位置する橋長 52.1m、幅員 6.0m (有効幅員) の単純鋼版桁橋です。2027 年のリニア新幹線の開業が決まり、同市にあるリニア見学センターへの交通の集中が予想されるため、補強を行う事になりました。建設当初の 14tf の設計荷重から現行の 25tf の荷重への見直しを行ったところ、張出床版の付根が許容値を超過することから、床版上面の補強を行う事になりました。汎用的な炭素繊維シート工法と比べ経済性に優れ、工期も大幅に短縮できることから高弾性 CFRP ロッド (リードライン) による補強工法が採用されました。本橋で使用された、CFRP ロッドは高弾性タイプ HM12φ で、140mm 間隔で配置され、CFRP ロッド総延長が 1000m 程度となっております。



断面図



リードライン設置状況



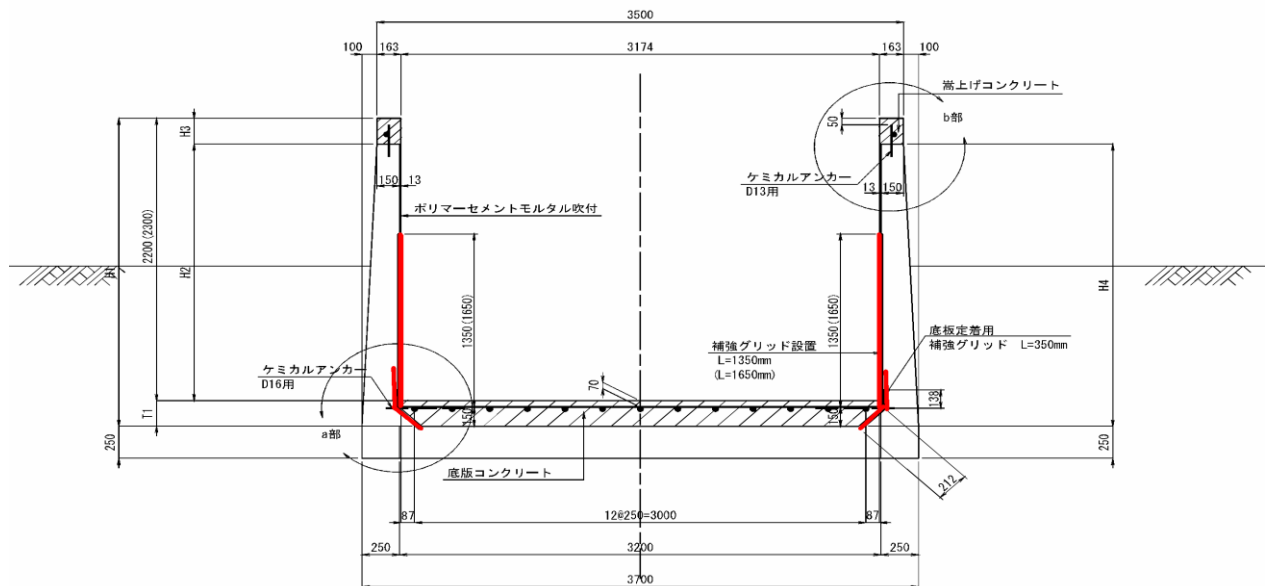
側面図

トウグリッド(CFRP 格子筋)を用いた水路補強事例 =豊田南2期地区 第41工区用水路工事=

継続実績より

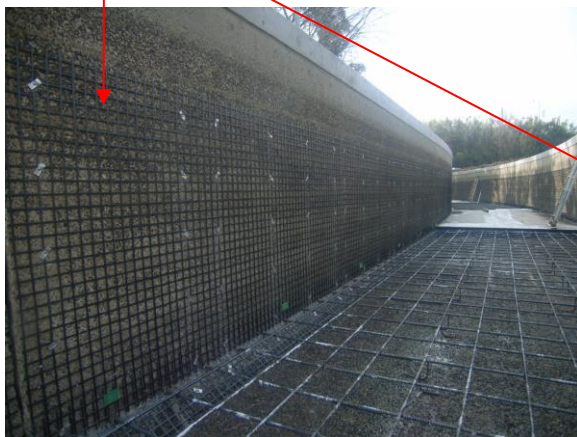
540

本工事は地盤沈下対策事業計画に基づき、豊田南 2 期地区の南幹線用水路を改修する工事です。地盤沈下および、側壁のかさ上げに伴い底板および側壁付根の曲げモーメントが増加し鉄筋の許容応力度が超過することから、通水量の確保を目的に、底板はRC増厚工法、側壁はトウグリッド+高靱性ポリマーセメントモルタルによる補強工法が採用されました。本工事で使用されたトウグリッドは約 670 m²であり、側壁付根のハンチ部はへの字に加工したトウグリッドを適用いたしました。



断面図

トウグリッド FTG-CR8-50



トウグリッド設置状況



底版コンクリート打設後

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
528	宮城県	高倉橋 P2、P4	宮城県	橋脚2基	橋脚RC巻き立て補強	テーパーφ 7.4mm 583m	2014年度
529	ミシガン州交通局	M-102 over Plum Creek (West bound)	米国 ミシガン州	橋長23m 幅員19m	プレテンション緊張材(ホロー桁) 補強筋(ホロー桁、床板)	CFCC 1×7 φ 15.2 延べL=33000m (緊張材合計長さ 8000m 補強筋合計長さ 25000m)	2014年5月
530	ミシガン州交通局	I-94 Bridge over Lapeer Road (East bound)	米国 ミシガン州	橋長50.0m 幅員17.6m	ポストテンション横締めケーブル	CFCC 1×37 φ 40.0 18.03mx 20本	2014年6月
531	内閣府 沖縄総合事務局 南部国道事務所	平成25年度 報得川高架橋上部工 (下りP12~P15)工事	沖縄県	橋長92.350m 有効幅員8.250m	支承部沓座モルタル補強	CFCC U φ 5.0 634m	2014年6月
532	新日鐵住金株式会社	護岸補修工事	愛知県	護岸擁壁1200m	擁壁水中クリッド補強	トウグリッド 5000㎡	2014年7月
533	近畿地方整備局 滋賀国道事務所	国道161号 知内川橋他橋梁補修工事	滋賀県	橋長7.7m 幅員10.0m	RC床版上面補強	高弾性リッドライ HM8φ 237.7m	2014年7月
534	豊見城市役所	市道257号線 橋梁上部工工事	沖縄県	橋長65.8m 総幅員20.8m 26主桁×3径間 PC プレテンション方式 3径間連結中空床版橋	支承部沓座モルタル補強	CFCC U φ 5.0 887.55m	2014年7月
535	メイン州交通局	Kittery Overpass Bridge	米国 メイン州	橋長18.3m 幅員23.0m	プレテンション緊張材 (NEXT Beam)	CFCC 1×7 φ 15.2 6500m	2014年8月
536	ケンタッキー州交通局	Taylor County Bridge	米国 ケンタッキー州	橋長22.6m 幅員8.2m	プレテンション緊張材 (Decked Bulb-T Beam)	CFCC 1×7 φ 15.2 4000m	2014年8月
537	都留市役所	大原橋補修耐震工事	滋賀県	橋長52.1mはば 6.8m	RC床版上面補強	高弾性リッドライ HM12φ 933.6m	2014年9月
538	延岡河川国道事務所	延岡大橋緊急時連絡坂路 設置工事 (延岡大橋)	京都府	橋長536m 幅員24m(全幅)	RC床版上面補強	高弾性リッドライ HM12φ 550m	2014年9月
539	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 φ 5.0 1370m	2014年9月
540	茨城県 農林水産部 県南農林事務所 稲敷土地改良事務所	豊田南2期地区 第41工区用水路工事	茨城県	-	引張り補強部材	トウグリッド 670㎡	2014年12月
541	神奈川県西土木事務所 小田原土木センター	平成26年度地すべり対策 工事(公共)当初4号その2	神奈川県	HM-2 アンカー長 9.74m~15.74m	グラウトアンカー	CFCC 1×7 φ 12.5 延べL=556m (グラウトアンカー 21本)	2014年12月
542	福岡県みやこ町	新柳瀬橋橋梁補修工事	福岡県	橋台2基	橋台補修	トウグリッド 90㎡	2015年1月
543	宮城県 東部土木事務所	開北橋橋梁補修工事	宮城県	橋脚1基	橋脚水中クリッド 段落補強	トウグリッド 60㎡	2015年1月
544	国土交通省 中部地方整備局 名古屋港湾事務所	平成26年度名古屋港 飛島ふ頭南岸壁(-16m) 舗装補修工事	愛知県	舗装版面積 =(5.0m×4.5m) ×5スパン=112.5㎡ 連続繊維補強材 (CFCC) 使用範囲 =(4.8m×4.3m) ×5スパン =103.2㎡	コンクリート舗装版ひび割れ制御	CFCC U φ 5.0 延べL=1180m	2015年1月
545	岩手県盛岡広域振興局	田田野木地区地すべり 防止工事	岩手県	HM-5 アンカー長 13.58m~20.58m	グラウトアンカー	CFCC 1×7 φ 12.5 延べL=2210m (グラウトアンカー 24本)	2015年3月
546	静岡県西伊豆町	平成25年度線越 防災・安全交付金事業(町) 黄金崎柴線法面回収工事 平成26年度 防災・安全交付金事業(町) 黄金崎柴線法面回収工事	静岡県	HM-6 アンカー長 16.69m~21.69m	グラウトアンカー	CFCC 1×7 φ 12.5 延べL=10250m (グラウトアンカー 81本)	2015年4月 完成予定



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