

三菱ケミカルインフラテック(株)の事例： 炭素繊維補強材
～橋梁の補修・補強に使用される「リペラーク」「eプレート」「リードライン」～

私たちの生活を便利にしている多くの橋は長い年月とともに老朽化し、橋の架け替え、あるいは補修・補強が必要になります。既存構造物を撤去して造り直すより、補修・補強して利用し続けた方が廃棄物等の排出による環境負荷も、社会が負担するコストも抑えられ、工事中の交通の妨げなどによる生活の不便さも軽減されます。さらに、歴史的・文化的な価値が高く、長寿命化や防災・減災への対応が求められる構造物を補修や補強をすることは、歴史財・文化財を守るためにも大切な取り組みです。

今回は、SDGs 貢献事例として、特に橋梁の補修・補強に効果的な三菱ケミカルインフラテック(株)が提供する炭素繊維補強材について、加藤さん(左)、柗さん(中央)、長谷川さん(右)にお話を伺います。



グループ内再編も経ながら、土木建設分野に特化して、
PAN系炭素繊維とオリジンであるピッチ系炭素繊維の販路拡大を狙う

柗さん：

炭素繊維は、比重が鉄の約 1/4 しかないにもかかわらず強度は鋼材の約 10 倍あり、さらに、化学的に安定で塩害にも強いなど数多くの特長を兼ね備えた素材です。ところで、炭素繊維は製造する原材料により 2 種類に分けられ、その物性に違いがあることをご存知ですか。

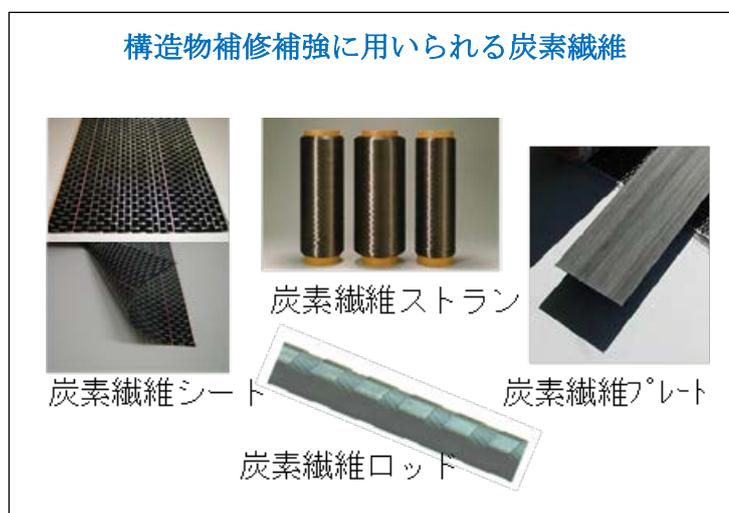
日化協：

是非、お教えてください。

柗さん：

新聞等でも取り上げられていますが、航空機や自動車等へ使用される炭素繊維は、ポリアクリロニトリルを原料とする PAN 系炭素繊維です。こちらは、引張強度が高く鋼材の 10 倍以上の強度があり、弾性係数(伸び難さ)が鋼材の 1~2 倍程度の材料になります。

もう一方は、コークスや石油を原料とする炭素繊維で、ピッチ系炭素繊維と言



います。こちらは、PAN系炭素繊維より強度は低いのですが、弾性係数が高い材料で、鋼材の3倍以上の弾性係数を有する炭素繊維材料も製造可能です。

当社グループである三菱ケミカルグループは、日本で唯一PAN系とピッチ系の両方の炭素繊維を製造しています。その中で、当社は、土木建築用途向けの製品を取扱い、製造販売しています。

加藤さん：

当社グループの旧三菱レイヨンは、PAN系炭素繊維の製造メーカーとして有名ですが、当社は旧三菱化学をルーツにし、1969年当時から三菱化成工業(株)坂出工場(現、三菱ケミカル(株)香川事業所)で、石炭コークスを原料とした様々な製品(1次材料、2次材料)を製造し、その1つとしてより付加価値の高い製品であるピッチ系炭素繊維も製造していました。

1990年頃に当社が与えられたミッションは、オリジナル開発品であるピッチ系炭素繊維の土木建築用途向けの販路拡大だったのです。

日化協：

そうでしたか。三菱化成オリジンであるピッチ系炭素繊維の開発が発端となり、土木建築分野に特化して事業化をとったのですね。その後は三菱化成と三菱油化が合併し三菱化学に、さらに三菱化学と三菱樹脂と三菱レイヨンの統合で三菱ケミカルとなるなど、組織の統合が進みましたが。

梶さん：

その後になります。土木建築分野に使用されるPAN系及びピッチ系の炭素繊維材料を販売する当部は、三菱樹脂の建設材料を取り扱う組織にまとめられました。それは、三菱樹脂は原料系ではなく資材などの製品系が多く、建設分野の商品を多く扱っていたためです。その時の組織名はインフラ製品をたくさん取り扱うという象徴的な名前にとのことで、当社は三菱樹脂インフラテックとなりました。

そして、2017年4月の三菱化学、三菱樹脂、三菱レイヨンの統合で、三菱ケミカルインフラテック(株)となりました。

日化協：

三菱グループ内の企業合併に伴う事業再編の機会に、炭素繊維の機能や用途分野で、効率的に組織再編して、三菱ケミカルインフラテック(株)である御社は、土木建築などのインフラ分野に特化して、事業展開を進めてこられたのですね。

1980年代後半から、ゼネコンや競合他社との協働もあり、 PAN系炭素繊維が徐々に市場へ投入されていく

日化協：

いつ頃から、炭素繊維は、構造物の補修・補強用途としてのニーズが高まったのでしょうか。

加藤さん：

炭素繊維が大きく注目されたのは1995年の阪神淡路大震災がきっかけとなります。震災の際にテレビで多く放送されご存知と思いますが、神戸市内の阪神高速道路の転倒はショッキングでした。この橋脚転倒を受け、震災前に建設された橋梁の一部は大型地震があった場合、転倒してしまう危険があることが分かりました。そこで注目されたのが軽量で強度の高い素材である炭素繊維です。

日本国内には、都市部にも山岳部にも橋梁があります。特に、山岳部にある橋梁を補強する場合

は、大きな重機を現場に持ち込むことが困難になります。しかし、炭素繊維は軽量のため、人力での施工が可能で、強度が高いため鋼材の代わりに使用可能な点で現場のニーズに合致し、市場に採用いただきました。

実は、阪神の震災前にも、炭素繊維の協会(炭素繊維補修・補強工法技術研究会：以下、炭補研という)／東レ、東燃(現 日鉄ケミカル&マテリアル)、当社、ゼネコン等が会員)で、炭素繊維を土木建築用補強材として PR 活動を行っていたのですが採用成績は芳しくなく、震災を機に、多くの企業や研究機関等で建設材料としての研究が進み技術論文も数多く発表されるようになりました。

その後、国の指針化に向けた土木研究所や建築研究所の働きかけもあり、国も炭素繊維を積極的に使うために委員会やワーキングで検討して、炭素繊維による補強の技術的な設計指針が整備されるようになりました。

日化協：

設計指針などに御社はご協力されましたか。

加藤さん：

はい。例えば、最初の設計指針は、1990年頃に NEXCO(旧・日本道路公団)が着手しました。NEXCOでは、炭素繊維を使用して高速道路の補強するため、ゼネコン各社と協働し、最終的には炭素繊維を製造する当社も含めた3社(東レ、東燃、当社)も協働して、様々な開発事業を進めました。

その後、NEXCOに加え、土木学会と建築学会からも、炭素繊維補強設計マニュアル(連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針/連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案)が発行されました。

炭素繊維の設計マニュアルと施工事例

連続繊維補強材を用いた耐震改修設計・施工指針

連続繊維補強材を用いたRC/SRC増築建築物の耐震改修設計・施工指針
日本建築防災協会

梁せん断：
高強度シート補強
+ 定着

機械式定着工法

アンカーボルト (M20)
鋼板 (t=9mm)
炭素繊維シート

—特徴—
・比較的人手容易な材料で施工可能
・鋼板での固定のため、腐食の懸念がある

梁曲げ、スラブ下面：
中・高弾性シート補強
施工事例写真(梁下曲げ補強)

独立柱：
高強度シート補強
施工事例写真
せん断補強

繊維方向

繊維方向

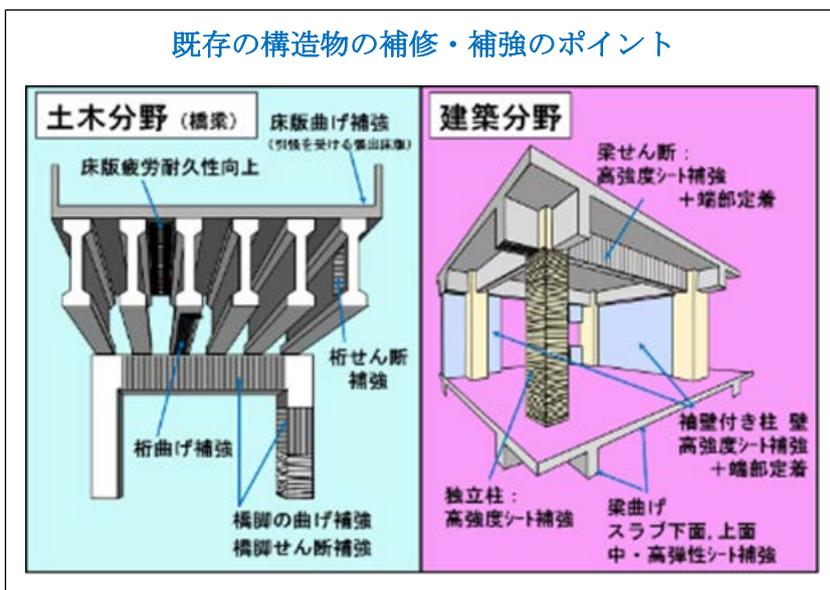
日化協：

炭素繊維による補強の技術的な設計指針は、具体的にどの様なものでしょうか。

加藤さん：

阪神淡路大震災では、高速道路も建物も壊れ、特に 1981 年以前の建物(旧耐震設計法と言われる設計方法で建設)が大きな被害を受けたことから、1981 年以前に建てられた建物の性能を新しい耐震基準まで引き上げる法律(耐震改修設計法)が制定されました。炭素繊維による耐震設計指針には、新耐震基準まで引き上げるための計算方法や設計に使用する材料特性(引張強度等)が示されています。

橋梁の上部工(橋桁、床版等)に関しても同じような設計ガイドラインが示されています。橋梁の場合は地震の際に不足する耐震性能を補う設計(耐震設計)のほかに、車両重量が増加したことで現状の橋桁や床版が現行の交通荷重に耐え切れなくなった場合に行う耐荷設計も追加されています。これは、15 トンから 20 トン程度の車両重量を想定した 40 年前迄に建設された橋梁



に対して、1994 年の車両総重量規制緩和による 25 トンの車両も通行可能な橋梁に補強するためです。当然車両重量が増加すれば、橋桁や床版が負担する荷重が増えるため、土木研究所と炭補研が 1990 年代後半に行った共同研究成果をベースにこの耐荷補強の設計指針にまとめられ、現在も様々な構造物の補強設計に使用されています。

日化協：

整備される指針は、時代や社会事情で変化しつつも、建物・構造物道路や橋の老朽化対策、耐震対策などに、御社らが実施した実験データ等をもとに炭素繊維の特長を活かした使用を促して、市場の拡大に役立っているのですね。

協働した技術的な設計指針の整備の一方で、
オリジンのピッチ系炭素繊維の安全性などの情報も収集して、市場へ

加藤さん：

阪神大震災以降 PAN 系炭素繊維が構造物の補修・補強用途として使用が拡大しましたが、当社グループがピッチ系炭素繊維においては国内最大の製造会社ということもあり、高弾性といった特徴を生かした橋桁のたわみ抑制効果の高いピッチ系炭素繊維も合わせて PR していきました。

日化協：

この PR というのは、ピッチ系炭素繊維の建造物等の補強に使って欲しいというロビー活動にな

りますでしょうか。

加藤さん：

そうですね。当社の試験施工は1987年12月ですが、その時点でピッチ系炭素繊維を貼り付けた時の補強性能の実験は実施済みで、ある程度目途が立っていました。そのため、こうした活動を通じてピッチ系炭素繊維貼り付けによる構造物の補強効果を建設業界各社に知ってもらい、それ以降は、実構造物に取り付けてどうなのかを大手ゼネコン各社の協力を得て、実施したのです。

1987年から1995年までは、ピッチ系炭素繊維が実構造物の補修に適用した事例は、極めて少ない件数でしたが、実構造物への施工によって、データの蓄積をしていくことが出来ました。

日化協：

この間に、ピッチ系炭素繊維のよる安全性に関する実績データを集められたのですよね。まさに、1987年から1995年までは、安全性の確認の時期だったのですよね。

加藤さん：

はい、そうです。1995年の阪神淡路大震災の復興時にあっても、シート状に加工した炭素繊維をご覧になって、「紙みたいなものをコンクリートに貼って利くのか」「鉄とコンクリートの代わりにはならないだろう」と皆さんから言われていました。

日化協：

その頃は、まだまだ炭素繊維自体の安全性の確認と検証の時期ですものね。

加藤さん：

そうですね。それは、炭素繊維の見た目にもあると思っていました。紙の様な炭素繊維シートを貼り付けたのに、鉄と強度が一緒になるという、これまでの常識では考えられないことで、当時は、なかなか皆さんから受け入れられなかったのだと思います。

そこで、当社では、PAN系と合わせてピッチ系の炭素繊維の営業を開始した1995年頃に、ピッチ系炭素繊維の良さを頂くようにしました。営業担当全員がスレート板にピッチ系炭素繊維を貼ったサンプルを持ち歩いて、営業先を回りました。実際に、スレート板にピッチ系炭素繊維を貼ったものと貼ってないものを、営業先の方に踏んでいただいて、ピッチ系炭素繊維の強度に加え、特徴である伸び難さを実際に試して頂くといった営業からスタートしました。

日化協：

実際に体感して貰い、その強度を理解して頂くような地道に営業をされたのですよね。

加藤さん：

はい、そうなのです。当時は、基本的に、鉄とコンクリートでインフラ構造物が造られており、耐震補強用の材料としてPAN系炭素繊維が徐々に使用され始めた時期でしたから、営業先の皆さん

確認実験を元に実構造物に適用した事例



は、PAN 系炭素繊維が使えたとしても、ピッチ系炭素繊維も構造補強材として使えるとは、誰も思っていないのです。しかし、建設関係者の中には、たわみ抑制により効果的なピッチ系炭素繊維も、PAN 系炭素繊維と同様に市場を拡大していこうという期待もあり、一部の大手ゼネコンさんなどは今後の可能性を信じ、当社と一緒に共同研究して下さったのだと思います。

**PAN 系だけでなくピッチ系炭素繊維のラインナップも充実させ、
橋げたのたわみ軽減にも、工期短縮・コストの削減にも寄与**

日化協：

御社の炭素繊維には、原料の違いで2種類(ピッチ系とPAN系)あることを、先程ご紹介いただきました。是非、それらの特長もお教えてください。

長谷川さん：

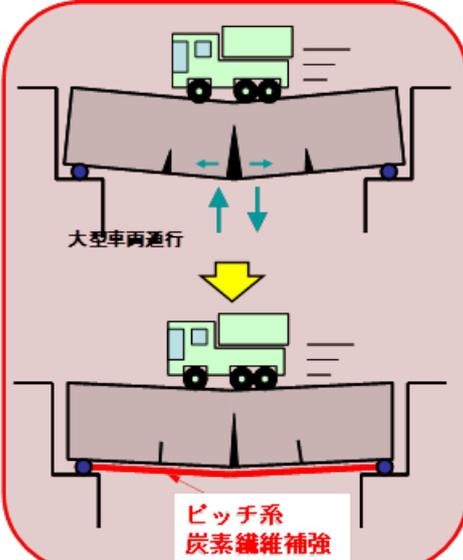
一般的に強度が高いグレードといわれる炭素繊維は、PAN系になります。強度が高く、弾性係数も鉄よりは少し高い炭素繊維です。一方、ピッチ系炭素繊維は、PAN系炭素繊維より引張強度は高くないですが、弾性係数が高く鉄の3倍以上のヤング係数の繊維も製造可能です。

この様に、PAN系とピッチ系の炭素繊維では特徴が異なりますが、橋梁補強に使用する場合は、その特徴を生かして使用される部位が違います。

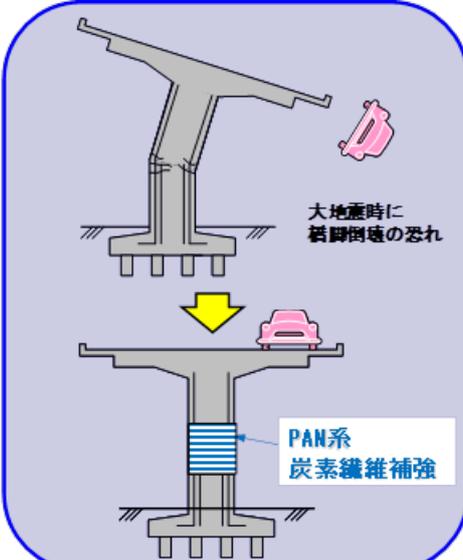
例えば、図の左側のような橋げたで、変形をするような部材に対しては、ピッチ系炭素繊維の伸びにくいシートを貼ったほうが、橋げたの変形を抑えることができ、橋に使われている鉄筋に発生する力(たわみ)を低減することができます。

また、図の右側のような橋脚では、高い強度のPAN系炭素繊維を使用することで、ある程度の変形にも粘りに対応でき、橋脚が折れないという補強に適しています。

ピッチ系炭素繊維と PAN 系炭素繊維の主な適用箇所とその特長



ピッチ系炭素繊維
⇒たわみを抑制で既設鉄筋応力緩和



PAN系炭素繊維
⇒高い引張強度で柱を拘束

	ピッチ系炭素繊維	PAN 系炭素繊維
引張強度	○	◎
弾性率	◎	○
適した施工例	橋桁の曲げ補強 等	橋脚のせん断補強 等

日化協：

こちらのシートは、触るととてもしなやかですね。

長谷川さん：

これ(写真上)は、「リペラーク」という織物状の製品です。当社は、PAN系とピッチ系の炭素繊維の両方を揃えています。使用方法としては、織物状のリペラークに、工事現場で樹脂を染み込ませて補強対象(コンクリートや鋼材)に貼り付け補強を行います。

当社は、織物状の「リペラーク」の他に、炭素繊維を工場で板状に加工した「eプレート(写真中)」、棒状に加工した「リードライン(写真下)」といった商品も取り揃えています。これらの「eプレート」「リードライン」は引抜成形法といった工法で製造し、工場の方で炭素繊維に樹脂を染みこませて成形しているため、工事現場での樹脂含浸作業が不要になります。したがって、現場での工程が減り、工事期間も短くすることができます。

例えば、織物状のリペラークをそのまま工事現場に持っていくと、まずは貼り付ける前の下地処理(強度の弱い部分の除去作業)の後プライマー塗布(エポキシ樹脂の接着をよくする材料)、不陸修正(エポキシパテで表面の段差を平滑にします)、含浸樹脂塗布(シートにしみこませる樹脂)シート貼付、含浸樹脂塗布が必要です。

しかし、工場で予め、炭素繊維に樹脂を染みこませて成形するため現場での樹脂含浸作業が不要となり、下地処理を行った後は、プレートに接着剤を塗布して貼り付けるだけとなります。

日化協：

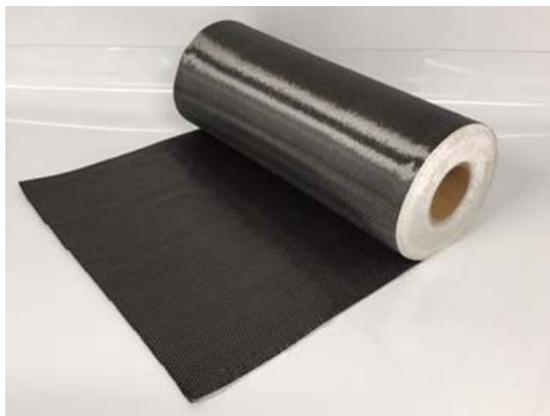
工事現場での工程が少なく、工事日数も軽減でき、簡単な施工になるのですね。

長谷川さん：

はい。工場製品のため、品質も安定しています。

また、補強量を多くする必要がある場合、シート状の炭素繊維を3層か4層貼ることがありますが、何回も同じ工程を工事現場で繰り返す必要があります。そのため、工場でプレート状に加工してしまえば、かなりの量の炭素繊維を含有させることができます。条件にもよりますが、100ミリ幅2ミリ厚のプレートは、何層分のシートに相当するののかというと、最大では10層のシートに相当させることができます。

炭素繊維シート (リペラーク)



炭素繊維プレート (eプレート)



炭素繊維棒状 (リードライン)



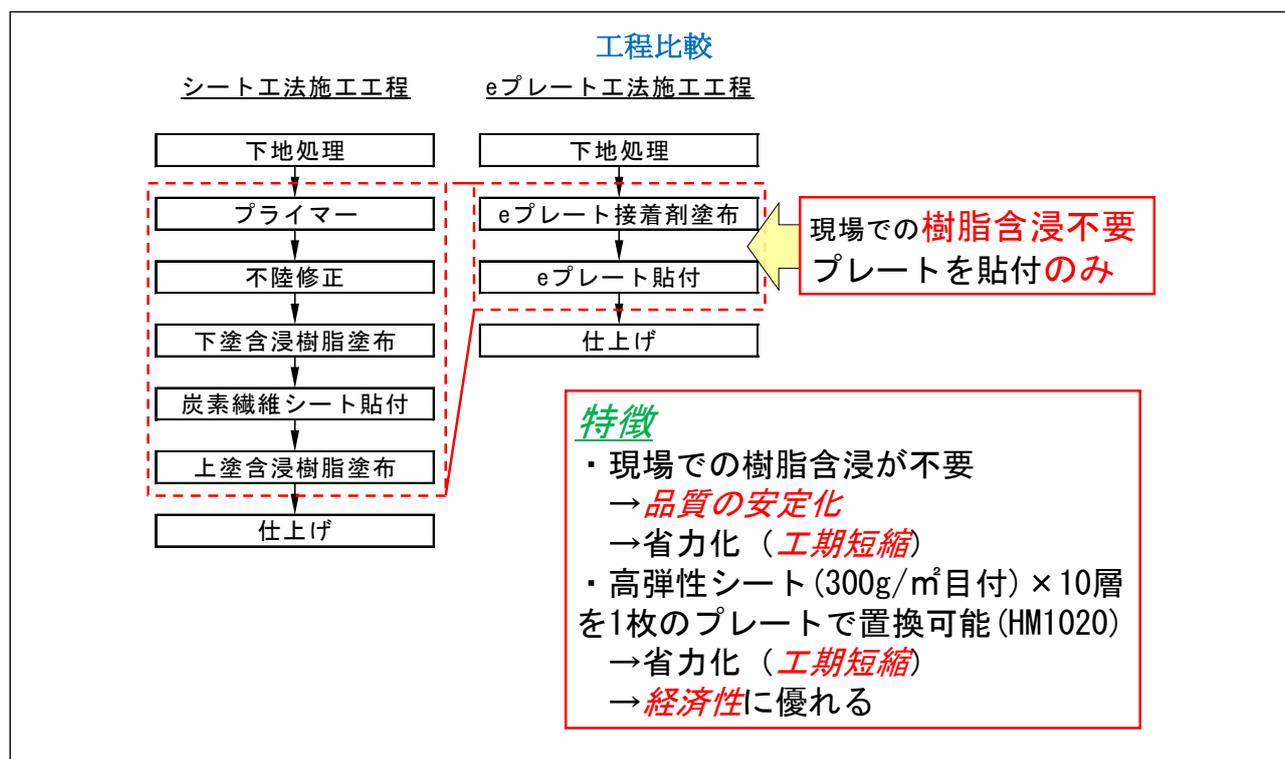
特に、ピッチ系のCFRPプレート(eプレート)は、国内では当社のみが取扱いとなっています。

日化協：

工事現場の工期削減効果も、建設業にとっては人件費の削減にも繋がりますし、素晴らしい取り組みですね。

長谷川さん：

そうですね。現場での作業工程を減らすことで、作業手間にかかる費用を抑えることができる点に加え、工期を短くすることで、足場の設置期間を短くすることができて、さらに足場のリース費も抑えることができると考えられます。



日化協：

そうですね。東京オリンピックを前に、短納期で補修工事を進められれば、街の景観や混雑にも影響が少なく、作業する方の人手不足にも貢献しますね。

長谷川さん：

はい、そうなのです。近年現場の作業員さんの高齢化が課題となっており、現場作業の機械化がすすめられています。炭素繊維補強工事は機械化されていませんが、軽量の炭素繊維を使用するため、作業員さんの負担軽減に役立っていると思います。

日化協：

シート状の炭素繊維はしなやかなので、ニーズも高いのではないのでしょうか？

長谷川さん：

そうですね。プレート状のeプレートは、フラットなところにしか設置できませんから、四角や丸い橋脚には、シート状の炭素繊維「リペラーク」をご提案しています。

日化協：

橋脚のデザインに合わせて、PAN系もしくはピッチ系の炭素繊維の選択に加え、炭素繊維の形状も選べるのですね。

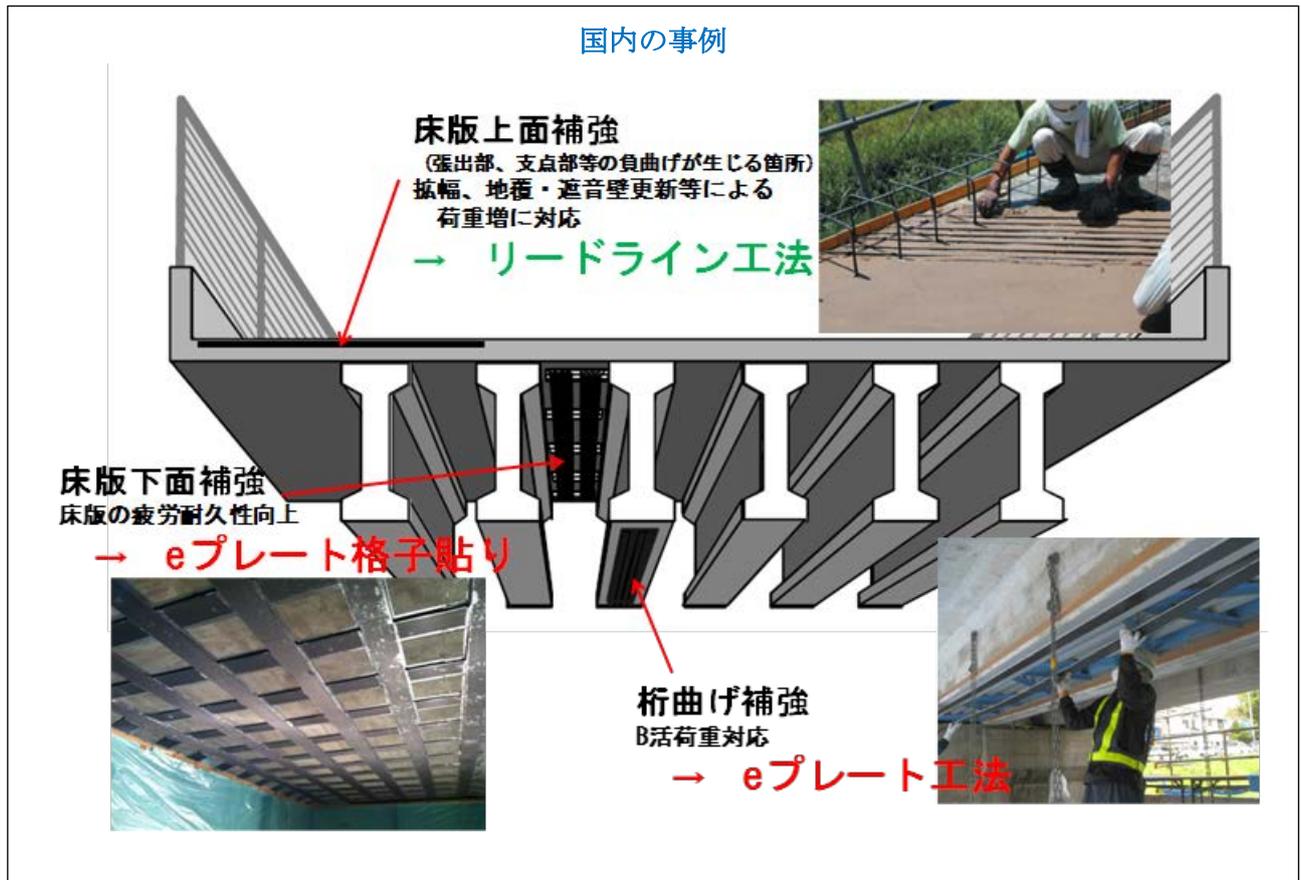
今後も、日本が国として成り立つように事業を通じて、
国内の老朽化した建築・構造物に役立っていききたい

日化協：

オリジンであるピッチ系炭素繊維補強材は、海外でも施工事例はありますか？

長谷川さん：

現在のところ、国内が主なビジネス範囲で、年間 300 件程度の案件に出荷しております。内訳は土木構造物と建築物で半々です。



日化協：

世界的にも、陸橋などの構造物や歴史的建造物の補強の必要性などもニーズが高いと思いますが、、、。

長谷川さん：

あまり数は多くないですが、海外からの問い合わせも来ています。東南アジアや中国、台湾等への出荷の実績も有り、現地に施工指導に行ったこともあります。

加藤さん：

海外への展開には、各国の設計基準の違いもハードルとしてあるかと思っています。日本の設計基準では、桁の曲げ補強はピッチ系炭素繊維が効果的で、橋脚のせん断補強は PAN 系炭素繊維が効果的です。一方で、海外の設計基準では、PAN 系炭素繊維が効果的な場合が多々ありますが、中国国内でも製造され始めたことから比較的安価な価格でも流通し始めていて、価格勝負ではビジネスが困難なケースもあります。しかし、我々の強みであるピッチ系炭素繊維の特徴を PR していき、

その有用性を理解いただく必要はまだまだあり、ビジネスの拡大のチャンスはあると思います。

国内では、ピッチ系炭素繊維のシートやプレートが使われる設計も一般的になっていますし、実績も多く出てきました。しかし、海外では設計方法が日本とは違い、PAN系炭素繊維が一般的に使われています。だからこそ、当社が力を入れてきた高弾性のピッチ系炭素繊維を、海外で展開していく上で、その有効性をどうアピールしていくのかが課題になるでしょう。海外での展開の一つの切り口としては、鉄の補強にアピールすべき特長があるため、ピッチ系炭素繊維がPAN系炭素繊維に比べて有効性がある材料が使われる鉄の陸橋等の補修・補強では大いに展開可能ではないかと考えています。建設材料に使用するピッチ系繊維は、海外で製造している企業がありませんから、三菱ケミカルグループとして、当社の高弾性のシートやプレートをその使用、施工方法も含めて拡販できるチャンスはあると思います。但し、製造量の多いPAN系炭素繊維より価格が高いことや、設計方法が違うなどの問題点のクリアも必要ですね。

梶さん：

当社は、PAN系とピッチ系の両方の炭素繊維が揃うのが実は強みです。その中で、オリジンであるピッチ系炭素繊維をさらに伸ばしていこうとしています。これは、他社にない特徴で、炭素繊維に関する総合力が一つの魅力ですから、この魅力を大切にして今後も事業を展開していきます。

日化協：

本日は、貴重なお話をいただき、ありがとうございました。

(本インタビューは、2018年11月15日に三菱ケミカルインフラテック(株)本社にて行いました)

【インタビューを終えて、三菱ケミカルインフラテック(株)の梶さんより】

SDGs 目標 9 として「気候変動の影響に耐えられる強靱なインフラ構築」に貢献することは、まさに三菱ケミカルホールディングスグループの経営理念である KAITEKI 実現であり、当グループの企業価値を高めると考えております。

「炭素」を敵と見るのではなく、資源として活用するパイオニアとして、インフラ補修に役立つ製品や工法に関して、より一層のイノベーションを創出していく所存です。

【インタビューを終えて、三菱ケミカルインフラテック(株)の加藤さんより】

阪神大震災以降、構造物の耐震化推進、笹子トンネル天井版崩落後の老朽化構造物の維持点検法令化などこの数十年で色々な施策がなされてきました。今後は、これから益々増える日本の老朽化インフラ構造物の維持補修に対して考えていかなければなりません。多くの構造物延命化を果たすには、より安価に・簡便に・効果のある補修補強材料が望まれる時代となるものと思われまます。炭素繊維を中心に今後も、社会インフラ構造物の維持管理に貢献できるよう努めて参りたいと存じます。

【インタビューを終えて、三菱ケミカルインフラテック㈱の長谷川さんより】

建設材料としての炭素繊維はかなり認知されてきたと思いますが、鉄筋やコンクリートと比べるとまだまだ新材料の分類かと思います。現在は高強度、高弾性である点を生かして使用いただいておりますが、新たな用途も含め検討しつつ、更に多くの方にご使用いただけるよう商品開発も行っていきたいと思っています。

【インタビューを終えて、日化協の五所より】

安心で安全な生活を送る上で、既存構造物の耐震強化のための補強・補修は大切なメンテナンスです。しかし、国土交通省の報告によれば、日本国内にある約 73 万橋の橋梁のうち、7 割以上となる約 52 万橋が市町村道にあり、建設後 50 年を経過した橋梁の割合は、2028 年には 50%に増加するとのことで、崩落等の事故を防止するためにも、早期の補強・補修が求められます。

インタビューさせていただいた三菱ケミカルインフラテック様は、軽量で強度のある炭素繊維 (PAN 系、ピッチ系とも)を開発し、先に示した社会的課題を解決すべく社会に提供し、国内の建設・構造物の補修補強で実績を重ねてきました。それには、安全性などの情報を競合他社と共に集積することに加え、学会や建設業界とデータや情報を共有し、施工に関わる基準・指針作りにも尽力したからこそ、炭素繊維という新たな素材の用途を創出し、市場を確立できたのだと思います。さらに、補修補強の施工現場での作業時間、コストの低減に加え、施工しやすさなどの工夫を、自社素材の特長を活かした製品ラインナップの拡充 (シート、プレートなど)によっても実現したことも、市場から高く評価されているのだと思います。

今回の事例を SDGs 貢献の視点から考えると、技術革新により生まれた新素材と社会への活用と実装の事例であり、素材の特長を活かした建築・構造物の補修補強を通じ、建築廃棄物の発生抑制による環境負荷低減、インフラ維持のための社会的負担コストの軽減などライフサイクルコストの最小化に寄与する事例であると思います。素材の社会への実装事例から、持続可能な都市、さらには社会のあり方も見せて頂いたのではないのでしょうか。是非、国内だけでなく同じ悩みを抱える海外にも、三菱ケミカルインフラテック様の素材を展開していただきたいです。

【三菱ケミカルインフラテック㈱の基本情報】

主な事業： アルミ樹脂複合板、樹脂フィルム積層鋼板、住宅資材用途の合成樹脂製品、プレート、押出成形品、ウレタン材、パーティション、冷熱管材、冷却塔、給水タンク、土木資材、物流資材、炭素繊維シート、ケミカル資材等、及びその周辺商品の製造、加工及び販売、並びに給水タンク・冷却塔とこれに付帯する機器の組立、施工、点検、診断、修理

従業員数： 約 1000 名 (2019 年 3 月末時点における各事業の合算値)

売上高： 約 650 億億円 (2019 年 3 月末時点における各事業の合算値)

リペラーク等の用途： 既存構造物の補修・補強

リペラーク等の展開： 日本および東南アジア

関連の取得国際規格：

製造： 三菱ケミカルグループ

坂出工場（ピッチ系炭素繊維製造）の取得規格： ISO14001 ISO9000 OHSAS18001

大竹および豊橋工場（PAN系炭素繊維製造）取得規格： ISO14001 ISO9000 OHSAS18001

リペラーク等に関するお問合せ先： 土木・防水補強部 Tel. 03 (3279) 3089

リペラーク等に関する情報： http://www.mp-infratec.co.jp/products/civil_engineering_materials_05.html

http://www.mp-infratec.co.jp/products/civil_engineering_materials_06.html

以上