

## ◆橋梁における FRP 適用技術の将来展望

講師：学校法人ものづくり大学

建設学科教授 大垣賀津雄 氏



FRP、最初に睦好先生がプラスチックではだめだ、ファイバーレインフォーストポリマーと呼びなさいと言われていましたので、ポリマーで呼称してゆきます。川崎重工業在席時代からFRP関係の補修を研究してきました。若いころはレインボーブリッジ、かつしかハープ橋など有名な首都高速などの仕事に携わることができました。趣味は資格マニアのようですが、溶接やコンクリート関係を勉強したことがあります。橋の調査といったことでは、最近「世界の橋」というウェブサイトを構築していて、それを見た日テレが所さんの番組で鉄道橋を科学するというテーマで、先週の土曜からロケに行きました。これは見に行った東北の橋で、第二広瀬川橋、第一只見川橋ですが、こういった橋を取材しています。機会があれば放映を見てください。

### 1. はじめに

2007年ぐらい土木学会複合構造委員会ができたすぐに、当時北大の上田多門先生が委員長で私が幹事長の時に小委員会がありまして、「複合構造技術の最先端」「各種新材料の特性・新しい材料を使った複合技術」「樹脂材料による複合技術」等の書籍を出しました。出版以来すでに10年以上たち内容が陳腐化してきたので、来年度ぐらいから新しい出版の委員会を立ち上げたいと考えています。皆さんにご協力いただきたいと考えています。中身は簡単で、各社で研究されている新技術とか適用事例とかそういうものを集めて、最新情報を整理することを考えている途中です。また、協会を通じてご案内したいと思いますので、よろしくお願いたします。

なぜ補修補強が必要なのか、鋼橋で言いますと腐食が多い。昔は塗料があまりよくないものも結構あって、フタル酸系とかがよく使われています。耐用年数7年といわれていますが、7年ごとに塗り替えるほど自治体は豊かでなく、場合によっては30年も放置されています。それと平成5年にスパイクタイヤが禁止となり、スノータイヤでも滑りやすいので融雪剤が用いられるようになりました。一番多いのが塩です。そのまま散布していますので、溶けて伸縮装置から下に漏れて橋台や橋脚のけた端部に塩水がかかります。この影響がコンクリート橋のPC鋼線を腐食させたり、鋼桁の端部を腐食させたりしています。それと床版です。通常、床版は下側がひび割れなどで痛むのですが、最近では上から塩分が入ると上側

鉄筋が腐食して土砂化して痛んでくるということで、これが顕在化しているので、すごく嫌な状況にあります。RC床版の上側は命ですから、下側の鉄筋と上側のコンクリートが釣り合っているだけです。そこがなくなってゆくのは非常に怖い。床版だけでなくPC橋などは命取りになりかねないわけです。また、元々活荷重20tを想定していたのが25tまで荷重が大きくなりましたが、補強できていない橋が山ほどあります。実は、基準が変わっても、特に自治体の橋は課題が大きく、トラック荷重の増加は過疎地帯を含めて課題です。さらに阪神大震災後に耐震規制が厳しくなりました。



この3つに対する補修補強が追いついていない状態です。この時点で我々に求められたのが、強い炭素を使って簡単に補強しましょう。ものによってはFRPにしましょうそんな話が進みました。長所としては鋼構造物に熱を加えたり孔をあけたりしないということで、CFなら補強が簡単にできる。高弾性で高強度かつ軽量ということで施工が容易ということです。この研究会もこの趣旨で研究を進めておられると思いますし私も同様です。

もう一つ最後に説明したいと思うのは、弾性合成構造です。こういった新しい考えで設計法を見直すと助かるものが結構あることを説明したいと思います。腐食対策として当て板工法が難しいということで炭素繊維強化接着工法が、重機不要、狭隘箇所適用可能、部材ダメージが少ないという特徴で増えています。ご紹介いただいた2018年の土木学会指針ですが、この前の2013年10月にNEXCOからCFシートによる補修補強工法マニュアルが出され、この内容を含めて学会指針に入れてあります。もともと2000年に土木学会からコンクリートに対する指針が出ているのでその内容をリファインするのと、鋼構造物指針を合わせて学会から出すことを趣旨として委員長をやらせていただきました。日鉄の小林さんが幹事長です。これで、鋼構造であろうとコンクリートであろうと適用できる新しい指針ができ、最近NEXCO指針も新しくなったのですが、トラス橋の格点腐食の補修や桁橋の補強について、いずれもCFで適用できることを証明しています。今後こう言った協会の役割がますます重要になってくると考えます。

最近2021年1月出版したコンクリート充填鋼管の適用技術について説明します。建築学会では昔からありますが土木では専門書がありませんでした。また9月に、現在高速リニューアルとして大規模更新で床版取替えを進めています。連続合成桁の場合は非常に難しいことであり、その内容を整理した専門書を出版しました。これら2冊の内容を紹介させていただきます。今後樹脂材料を含めて適用技術を拡大してゆければと考えています。

## 2. CFRPによる鋼構造腐食部の補修

最初にCFによる鋼構造物腐食部の補修、補強の話です。FRPの補強コンクリート、FRP橋脚、最後に鋼コンクリートの複合構造。こういった内容で話をしたいと思います。

まず鋼構造物の補強です。疑問点はいろいろあります。鋼とCFが計算通り合成するか、圧縮には効くのか、降伏点まではがれずに行けるのかなどです。そこで簡単な梁を作ってシートを貼って実験しました。パラメータは素地調整など。例えば荷重を上げてゆくと突然はがれる、端部をはがれる。樹脂が一番弱いので切れる。どんなに工夫しても降伏点まで持たない。圧縮は計算に乗ってくるが、はがれるのは課題なので、端部をずらして貼りましょうということにしました。15~25mmほどずらすとはがれにくくなることが分かりました。それで実験を行い、施工手順、腐食損傷部の応力低減、降伏点付近まで剥離が生じないかなどこういったものを検討し、降伏点の80~90%まで工夫してもそのあたりまで。そういう状況の中で日鉄さんと初めてNEXCOのトラス橋の浅利川橋の補修を行い、散水車を走らせて応力を計測して、それなりに減少させることができました。さらに、はがれるのは嫌なので、間に柔らかいものを入れたらどうか、高伸度弾性パテですがこれでどうかを議論しました。繊維の種類を変える、端部だけ変えるなどいろいろな議論をしました。パテで剥離を抑制できる、ガラスなど弾性係数の低い繊維は剥離しにくい、座屈荷重は計算通り評価可能であるといったことなどがわかってきました。

NEXCOの指針には、下フランジの腐食部分を補修するときにパテを入れるとよいとしました。CFも積層していますが一番外側にアラミドの保護層を入れ仕上げ塗装を行うとしています。下フランジ側から立ち上げて現場で貼るという補修を行っています。最近実施したのはトラス橋の格点の腐食ですが、ここも同じようにCFシートで補修できることが新しい指針に取り入れられています。また、少し大きい5mくらいの柱の実験を大学で行いました。トラス橋の下弦材の下が飛び出ている部分が腐食しているケースが多く、この溶接部が切れるとどうなるかを確認しました。四角い断面の下側が切れるわけですから著しく耐力低下する。それでCF補強+AF巻きの補修効果を確認しました。

## 3. CFRPによる鋼構造部材の補強

補強ですが、期待は桁橋の補強です。どこを補強するのか。実は腹板が弱いので、まず腹板全体に貼ってみると座屈が抑えられるので、耐荷力があがる。四辺支持の曲げ試験では高伸度弾性パテを入れるとはがれ防止効果が認められる。柔らかい材料を入れるとよいものと思う。せん断試験でも補強効果が認められ、一挙に低下するのではなく徐々に低下することが大事です。曲げせん断でも同じような結果でになります。解析でパテをインターフェイス要素として、間にエポキシ樹脂を挟んだ積層モデル化として計算すると、ほぼ満足できる結果が得られることがわかりました。

最近ですがNEXCOと一緒にトラス橋の耐震補強を実施しています。一番多いのが斜材の補強で引張力に対してH鋼で設計されています。パラメータとしてずらし貼りとか重ね貼りで実験しました。無補強に対して補強したものは少し耐荷力が大きくなります。ピーク

の包絡線を描くと引張側は良いが圧縮側で低下します。繊維がつぶされる・折れる傾向がありこの改善を進めています。このように耐震補強に使えることがわかってきました。

#### 4. FRP 補強コンクリート

最近少しやっていることが、CFCC です。東京製綱が行う米国の海上コンクリート構造物で、緊張材及び鉄筋代替材として使うというものです。米国でも凍結防止剤の塩分使用の問題が顕在化しています。今、NEXCO でもこういった使い方が一部に好まれてきています。革新的なものにしたいとの要望があります。これは NEXCO 西日本の橋で三井住友建設が施工しました。鉄筋を一切使わず、アラミドロッドを使っています。鉄を使わない、そういう時代になってきました。工事費は高いです。価格の低い GFRP ロッドぐらいではどうかと考えられますが、三井住友建設の壁高欄の使用例も示されています。

私たちが昔研究したものに鋼床版のゴムラテ舗装の上にガラス繊維シートを施工するというものがあります。よくなかったのはゴムラテがはがれてきたことがあって接着には限界が感じられました。最近のほかの例ですが、CF シートを RC 梁の下側に貼って補強したものです。上側には SFRC と緻密なモルタルを適用しています。無補強の床版は弱いですが、強いモルタルを入れると強度は上がります。それ以上に CF 補強はすごく効果があります。柔らかい樹脂を入れると変位が大きく強度低下は著しくない状態に改善されます。このようにコンクリート構造物も補強できることを私たちの研究室でも確認させていただきました。

#### 5. FRP 橋梁の技術開発

ここからは補強ではなく、全部 FRP にしてみたらどうかという話です。集成桁と呼んでいるもので、GFRP の引き抜き材を接着剤で組み立て桁にしています。これを 4 点曲げ試験を行うと破壊時に爆裂する。外観をよくするのに部材内部にいろいろなものを入れていきます。それで積層部が剥離します。引き抜き材の接着層ではなく部材の中で剥離しており、びっくりしました。さらに、床版を作ってみました。中身にガラス、表面に炭素を使いました。もともと木製の床版を使っていた第二連絡橋の床に使いました。3 年ほど経ちますが木製床版では腐食が進みますが FRP なので劣化が進まない。最近、沖縄の浦添公園の歩道橋も完成しました。断面が箱型、部材はガラス繊維のバータム (VI 法) で作られています。この試験を行い安全率 6 倍を確認して現地施工を行っています。この時も熊本から沖縄まで 18m を一体で運搬しました。大きさとしてギリギリでした。さらに大きくなると現場継ぎ手が欲しいということで、継ぎ手の実験を行いました。

もう一つ、防衛省の案件で CFRP の応急橋梁があります。さらに軽くしたい、オスプレイの中に入れて運搬する話も聞いています。日本飛行機から相談を受け試作品の実験や解析の内容を審議しました。このような技術開発が実際に始まっています。CF で高価なもので 1/2 の試作品を作っています。

## 6. 鋼コンクリート複合構造

合成桁ですが昔は鋼桁と RC 床版を桁に使ったものでしたが、最近では PC 床版など厚い床版となっています。これは北海道・千島の沢橋で学位論文のテーマになった橋です。これで仕事は終わったと思っていたのですが、最近合成桁の研究を始めました。ずれ止めの研究をしています。プレキャスト床版を並べて合成桁を作ったときに、スタッドが PC 床版の孔の中に入らないので、この中に柔らかい樹脂モルタルを入れたらどうか。1966年に橋先生の本の中に書かれています。完全な合成と弾性合成、ずれをわざと入れるんです。先ほどのポリウレアと一緒に。わざとずらすとどうなるか、それは計算が難しい。当時は計算が追いつかなかったが、今は計算してしまえばよいと思います。弾性合成を使って計算すると比較的合理的な結果になります。ずれ止めが少なくとも PC 床版が使える。そこを研究しようという課題を整理中です。それ以外に CFT について、中国ではすでに 530m のアーチ橋が建設されています。日本で最大の支間長は新西海橋 230m ほどですが、これがどんどん伸びています。こういうのを見ていると、CFT の中にもっと柔らかいものを入れたらという逆の発想が出てきます。座屈さえ止められれば軽いほうが良い、そんなことで樹脂モルタルを入れたりとか研究しています。合成構造も面白いと思います。

## 7. まとめ

落橋はどうか。中国では最近よく起こっています。鋼橋、PC 橋、PC のポストテンションが多いです。犯人の大型トラックがすべて映っています。これは日本で起こらないのかということです。落橋の悲劇は、いろんな橋で起こっています。過積載とか、地震とかいろいろです。最近では、2017年にプラハ、床版歩道橋です、開通後 33年、センシングしていたにもかかわらず落橋しました。ミャンマーで粗悪な中国製つり橋がかなりあり、この橋のケーブルが切れた、2018年です。イタリア 2018年これは 50年過ぎています。2019年台湾、これは鋼橋でワイヤーの腐食です。今年の 5月メキシコ、桁の溶接部の品質が悪い、悲劇ですね。このように世界中で落橋しています。これは 2点重要な事項があります。危ないところが見えない、見えるように改善しましょう、やみくもにセンシングしてもダメです。モニタリングはしっかり見えてこそ意味があります。もう 1点は改築する、強い構造に置き換えることです。そのためには、CF や FRP 樹脂材料など、また弾性合成桁など新しい考え方も入れて組み合わせて考えるとよいのではないかと思います。

以上