

「革新材料による次世代インフラシステムの構築」 に向けた取り組み

宮里 心一*1・保倉 篤*2

近年プレストレストコンクリートでも、ライフサイクルを考慮した新設構造物の設計や、既設構造物への補修・補強関連の工事が増えている。そのため、材料の長寿命化や高耐久化も注目されてきた。このような背景のなかで、国が主導する産学連携の共同研究として、革新材料の実用化に向けた取り組みが開始された。

本稿では、この革新的イノベーション創出プログラム（COI STREAM）および次世代インフラシステムの構築に関する研究の概要を紹介し、土木構造物における熱可塑性 FRP の実装に向けた展望を紹介する。

キーワード：COI 事業、革新材料、熱可塑性 FRP、土木分野、社会実装

1. はじめに

文部科学省は、10年後のわが国において、より良い暮らしができるようになるために、「革新的イノベーション創出プログラム（COI STREAM）」（以下、COI 事業とする）を開始した。これは、現在は潜在しているが、将来社会のニーズから導き出される「あるべき社会の姿および暮らしの在り方」をビジョンとして設定し、このビジョンの実現へ向けて、10年後を見据えた革新的な研究開発課題を特定し、産学連携で研究開発を進めていくプログラムである¹⁾。活動の期間は、平成 25 年 10 月から最長で 9 年度間である。なお、ビジョンには次の 3 項目がある。

ビジョン 1：少子高齢化先進国としての持続性確保

ビジョン 2：豊かな生活環境の構築（繁栄し、尊敬される国へ）

ビジョン 3：活気ある持続可能な社会の構築

金沢工業大学では、革新複合材料研究開発センター（以下、ICC とする）を拠点とし、ビジョン 3 に向けたプロジェクトを開始した。採択されたテーマは、「革新材料による次世代インフラシステムの構築～安全・安心で地球と共存できる数世紀社会の実現～」であり、これにより、バイオテクノロジー、高分子化学、繊維工学および機械工学などの多岐にわたる研究分野の横断的な技術融合を推進している。なお、研究の最終成果は、ニーズに基づき開発されたシーズ技術を、革新的に向上・統合させた「もの」や「こと」で、社会実装に取り組むことである。

2. 革新材料の開発に向けた研究概要

革新材料による次世代インフラシステムの構築を図 - 1 に示す。橋梁やトンネルなどの社会インフラ、高層建築や次世代住宅などの都市・住宅インフラ、および大型帆走船や洋上風車などの海洋インフラを対象にしている。研究体

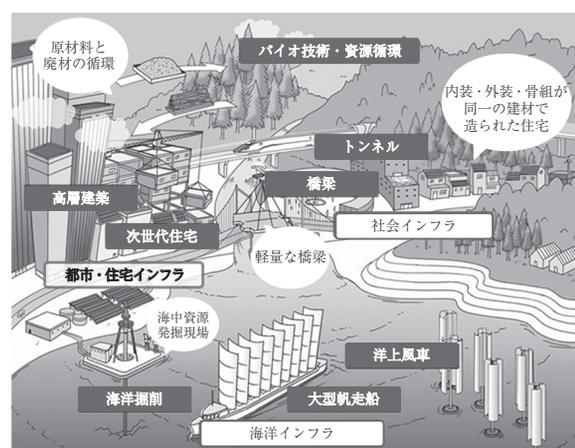


図 - 1 革新材料による次世代インフラシステムの構築²⁾

制を表 - 1 に示す。

表 - 1 研究体制

WG	研究内容
1	革新素材の開発
2	革新製造プロセスの開発
3	アプリケーションの開発
4	リサイクル技術の開発

革新素材を開発するグループ（WG1）では、熱可塑性樹脂の高機能化（高弾性率、長期耐久性、自己修復性および難燃性など）と、化石燃料を使わないバイオ由来の素材開発に向けた研究に取り組む。さらに、従来と比較して複雑な工程を経ることなく、インフラへ適用できる素材の開発を目指す。

また、革新製造プロセスを開発するグループ（WG2）では、強化繊維と樹脂の融合化技術の高度化、長尺・大型

*1 Shinichi MIYAZATO：金沢工業大学 環境・建築学部 教授

*2 Atsushi HOKURA：金沢工業大学 COI研究推進機構 研究員

構造部材の連続成形プロセスおよび製造装置の開発に向けた研究に取り組む。さらに、生産性が100倍に向上し、それに伴いコストが1/10に低減する製造プロセスの実現を目指す。

次に、アプリケーションを開発するグループ（WG3）では、土木・建築・海洋の3分野において、革新材料を用いたインフラ整備の社会実装に取り組む。とくに、革新材料の長所を活かした、すなわち長寿命化、軽量化および高強度化などに伴う社会コストの低減を目指す。

さらに、リサイクル技術を開発するグループ（WG4）では、大容量の処理能力で、低コストな再利用技術およびリサイクルシステムの実現に向けた研究に取り組む。

これらにより、素材の開発からアプリケーションまでの一貫した研究が実現可能となる。

3. 土木構造物への実装に向けた展開

3.1 従来の土木分野でのFRPに関する取組み

従来から日本の土木分野でも、FRPに関する取組みは進められていた。ここでは、建設用先端複合材技術協会（旧ACC倶楽部）、炭素繊維補修・補強工法技術研究会、ならびに土木学会複合構造委員会の活動内容を紹介する。

建設用先端複合材技術協会（旧ACC倶楽部）では、①先端複合材の調査および研究、②建設分野における先端複合材の使用に関する調査および研究、③先端複合材の建設分野への使用の促進、普及および宣伝、④先端複合材の使用に関する新規建設分野の開発および研究、⑤建設分野における先端複合材の使用に関する施工技術、施工機械の改良および開発、⑥講演会・研究会などの開催および関係資料の刊行、および⑦目的を達成するために必要な一切の事項について、取り組んできた³⁾。

また、炭素繊維補修・補強工法技術研究会では、炭素繊維シート接着工法の普及・発展のため、各種設計・施工指針などの整備に取り組んできた。本工法は、炭素繊維シートに樹脂を含浸させながら接着し、CFRP化することで不足する鉄筋量を補い、せん断耐力、曲げ耐力および疲労寿

命を向上させる工法である。そのため、道路橋の床版補強、橋脚の耐震補強、トンネル覆工のはく落対策および建築の耐震補強などの幅広い分野で利用されてきた。なお近年では、コンクリート構造物だけでなく、鋼構造物の補修・補強も対象としている⁴⁾。

さらに、土木学会複合構造委員会では、①諸課題の調査および研究、②設計・施工・維持管理に関する指針・基準などの作成と更新、③講習会、シンポジウム、講演会および見学会などの開催、④国内および国外の学協会関係機関との研究連携、⑤刊行物などの企画編集、および⑥複合構造の調査研究および中・長期目標の設定について、取り組んできた。これまでに、20の研究小委員会が設立され、具体的な課題についての調査および研究を推進し、その内14の研究小委員会が表-2に示す成果物を発刊した⁵⁾。

このように、FRPは土木分野でも注目されていた。ここで、プレストレストコンクリートにおいては、とくに既設構造物の補強として注目されている⁶⁾。

3.2 熱可塑性FRPの土木分野への展開

FRPを作製するための樹脂には2種類がある。ひとつは、熱を加えると硬化する「熱硬化性樹脂」であり、エポキシ樹脂や不飽和ポリエステル樹脂がある。一旦硬化すると、加熱しても軟化せず、スクラップの再利用はできない。土木分野で一般的に用いられてきたFRPは、この熱硬化性である。次に、もうひとつは、熱を加えると溶ける「熱可塑性樹脂」であり、ポリエチレンやポリプロピレンがある。層間はく離れた場合に、再度加熱することで元に戻すことができたり、製造時に発生した不良品を再利用できる。

熱硬化性FRPおよび熱可塑性FRPにかかわらず、軽量、高強度および高耐食性などの長所を有する。ただし、熱硬化性FRPの場合、コストが高いなどの短所があった。そこで、これらの短所を改善すべく、熱可塑性FRPでは、連続成形による生産性の向上により、コストの低減を図れることが期待されている。今後、COI事業により熱可塑性

表-2 土木学会の研究小委員会で発刊された成果物

種類	小委員会	成果物
複合構造シリーズ	新材料による複合技術小委員会	複合構造技術の最先端 -その方法と土木分野への適用-
	FRP歩道橋設計ガイドライン小委員会	FRP歩道橋設計・施工指針（案）
	複合構造の基礎に関する書籍作成小委員会	基礎からわかる複合構造 -理論と設計-
	FRP水門技術ガイドライン作成小委員会	FRP水門設計・施工指針（案）
複合構造レポート	複合構造の現状調査小委員会	最新複合構造の現状と分析 -性能照査型設計法に向けて-
	新材料による複合技術小委員会	各種材料の特性と新しい複合構造の性能評価 -マーケティング手法を用いた工法分析-
	維持管理小委員会	事例に基づく複合構造の維持管理技術の現状評価
	FRPによる鋼および複合構造の補修・補強小委員会	FRP接着による鋼構造物の補修・補強技術の最先端
	樹脂材料による複合技術研究小委員会	樹脂材料による複合技術の最先端
	複合構造を対象とした防水・排水技術研究小委員会	複合構造物を対象とした防水・排水技術の現状
	東日本大震災被害調査小委員会	巨大地震に対する複合構造物の課題と可能性
	FRPと鋼の接合方法に関する調査研究小委員会	FRP部材の接合および鋼とFRPの接着接合に関する先端技術
FRP複合構造研究小委員会	土木構造物用FRP部材の設計基礎データ	
	FRPによるコンクリート構造物の補強設計研究小委員会	FRPによるコンクリート構造物の補強設計の現状と課題

FRPに関する研究開発が推進され、課題が解決されたならば、土木構造物への実装に繋がると考える。

著者は、土木分野へのアプリケーションを開発するグループのリーダーとして従事しており、次節以降において、COI事業に関する研究活動の概要を紹介する。

3.3 土木技術者によるCOI事業での研究会

3ヵ月に1度の頻度で開催される「土木分野への革新材料実装研究会」では、土木分野への革新材料の実装に向けて、ニーズ調査を目的とした意見交換をしている。写真-1に研究会の様子を示す。研究会には、社会の第一線で活躍する発注者（管理者）、施工者、製造者ならびに評価認証者が参画し、さまざまな立場の技術者から、多くのニーズ・要求仕様を提案できる体制となっている。また、COI事業に参画している、素材・成形を専門とした研究者も積極的に参加しているため、異分野交流による情報交換を実現している。

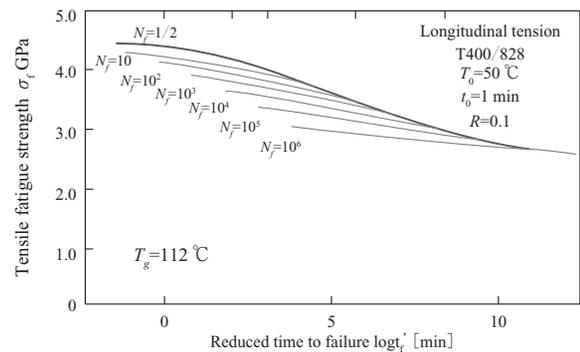


写真 - 1 研究会の様子

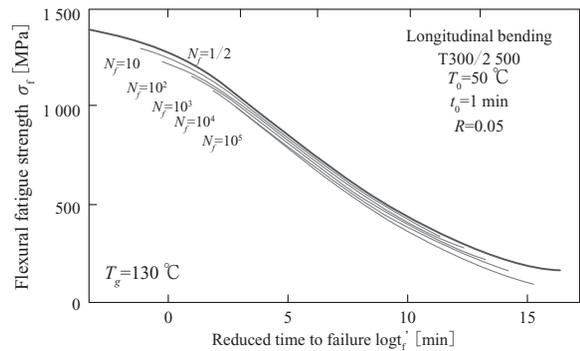
この研究会では、土木分野への革新材料の実装に向けて、4つのテーマに分けて検討している。すなわち、①新設部材の全体が熱可塑性FRPで構成される場合、②コンクリートあるいは鋼と熱可塑性FRPのコンポジットで構成される新設物（部分的に熱可塑性FRPを使用する場合）、③既設物の補修・補強に熱可塑性FRPを使用する場合、および④仮設物・付帯物として熱可塑性FRPを使用する場合に区分し、適用可能な実装物を把握している。さらに、短期（2～3年間）で開発可能なケースと、長期（8年間）の開発を要するケースに区分し、素材や形状に対する仕様を整理している。その結果は、革新素材の開発グループや革新製造プロセスの開発グループに情報提供して、具体的な物の製造に取り掛かっていただく予定である。

3.4 COI事業に参画する他分野の研究者との勉強会

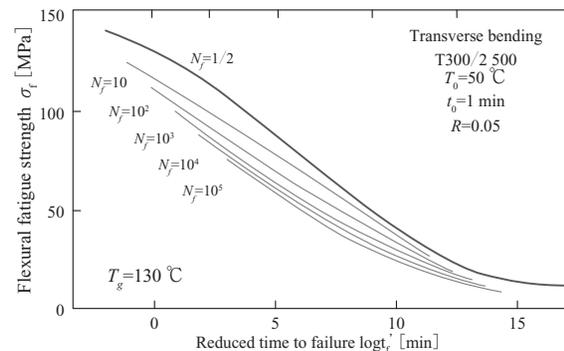
金沢工業大学の学内において、FRPに関する勉強会が2ヵ月に1度の頻度で行われている。この勉強会には、土木工学、機械工学および繊維工学の研究者が集い、各分野におけるFRPに関わる研究成果や調査結果を、相互に発表している。たとえば、機械工学の研究者より、熱可塑性CFRPの長期耐久性評価に関する研究が紹介された。それ



(a) 繊維方向の引張疲労破壊



(b) 繊維方向の圧縮疲労破壊



(c) 繊維直角方向の引張疲労破壊

図 - 2 疲労強度のマスター曲線の例⁷⁾

によれば、時間-温度換算則（アレニウス則）を適用し、高分子材料の粘弾性の経時変化を実験的に解明しており、図-2によれば、100年間で繊維方向の引張疲労強度は4.5 GPaから3.2 GPaに、繊維方向の圧縮疲労強度は1400 MPaから600 MPaに、繊維直角方向の引張疲労強度は140 MPaから65 MPaに低下することが示された。

また、学内にとどまらず、実際の現場に赴き、FRPが土木分野におけるどのような所に適用されているかを、素材開発の研究者や成形技術の研究者に認知していただくため、現場視察が行われた。写真-2は、橋梁用のFRP製点検路である。また、写真-3は、FRP製自転車道である。このFRP製自転車道の架設前は、木橋が使用されていたが、結合部のボルト穴の腐食損傷により、わずか13年で架替えとなった。なお、いずれも環境条件の厳しい海岸付近に設置されており、FRPの高い耐食性を活用すべく、供用されていることが確認された。また、FRPの軽量を活用すべく、橋台への負荷低減と取付け作業時間の短縮



写真 - 2 橋梁用の FRP 製点検路



写真 - 3 FRP 製自転車道



写真 - 4 FRP 製仮設橋



写真 - 5 FRP 製歩道橋

により、工費削減を図っていることを確認できた。さらに、写真 - 4 は、FRP 製仮設橋である。この橋は、前節の研究会の参画者より情報提供をいただき、視察するに至った。工事現場内において作業員が一時的に通行する橋として使用されており、軽量なために組立てが容易であるという FRP の特長が活かされていた。なお、工事完了後、別の現場へ転用することが可能である。最後に写真 - 5 は、国内における最初の FRP 製歩道橋の実装例である。沖縄県の海中道路を跨ぐため、非常に過酷な環境であるが、架設から約 15 年が経過している現時点でも劣化していないことが確認された。

4. おわりに

本稿では、COI 事業について紹介すると共に、ICC を拠点とした熱可塑性 FRP の研究について述べた。そのなかで、FRP の特長である、軽量および高耐食性などの長所を活かしつつ、従来の熱硬化性 FRP に比べて 1/3 のコストダウンを図れる熱可塑性 FRP が、将来の土木構造物に活用されることを目標に進めている活動を記した。

わが国では、高度経済成長期において、数多くの土木構造物が建設された。その後、40～60 年が経過した現在では、経年劣化の進行や耐震性の不足などが問題になっている。これらにより、土木構造物の撤去・更新、または補修・補強が必要とされている。そこで近年では、ライフサイクルを考慮した新設構造物の設計や、既設構造物の補修および補強が増えている。本 COI 事業の成果として開発される熱可塑性 FRP が、安全なプレストレストコンクリート構造物の実現に、あるいはその建設工事や補強工事に寄与できればと願っている。

謝 辞

本稿は、独立行政法人科学技術振興機構（JST）の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション（COI）プログラム」の支援事業の取り組みを紹介した解説である。

参考文献

- 1) 独立行政法人科学技術振興機構：「センター・オブ・イノベーション（COI）プログラム」
<http://www.jst.go.jp/coi/outline/outline.html>
- 2) 学校法人金沢工業大学：COI 研究推進機構
<http://www.kanazawait.ac.jp/icc/>
- 3) ACC 建設用先端複合材技術協会
<http://acc-club.jp/>
- 4) 炭素繊維補修・補強工法技術研究会
<http://www.tampoken.com/>
- 5) 土木学会 複合構造委員会
<http://www.jsce.or.jp/committee/fukugou/>
- 6) 木村耕三, 井部 博：連続繊維補強材によるコンクリート構造物の補修・補強 入門, コンクリート工学, Vol.53, No.2, pp.219-223, 2015
- 7) 中田政之：特集 5 高分子基複合材料の耐久性・長期寿命の予測, MATERIALS and PROCESSING, No.2, pp.11-13, 2005

【2015 年 2 月 26 日受付】