

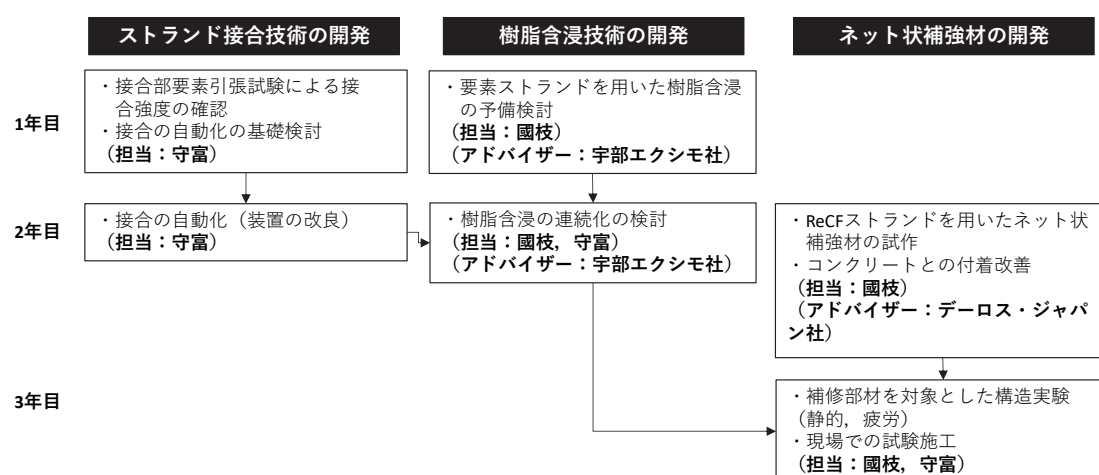
道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】 ※令和4年度以前採択研究課題用

①研究代表者		氏 名（ふりがな）		所 属		役 職	
		國枝 稔		岐阜大学		教授	
②研究 テーマ	名称	リサイクル炭素繊維のコンクリート構造物用補強材への応用					
	政策	[主テーマ] (2)			分科会／ 公募タイプ	ハード／タイプII	
	テーマ	[副テーマ]					
③研究経費（単位：千円） ※端数切り捨て。実際の研究期間に応じて記入欄を合わせる こと		令和4年度	令和5年度	令和6年度	総 合 計		
		9,497	17,549	12,991	40,037		
④研究者氏名（研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）							
氏 名			所属・役職（※令和7年3月31日現在）				
國枝 稔			岐阜大学・教授				
守富 寛			岐阜大学・名誉教授				
⑤研究の目的 本研究では、廃棄物として排出されるリサイクル炭素繊維（ReCF）を接合し、コンクリート用のネット状補強材として加工し、コンクリート中での補強材としての性能を確認することを目的とする。技術の実用化の内容と各年度の達成内容を以下に示す。 1年目：バッチ式で「接合による長繊維化工程」および「樹脂含浸工程」の最適化を目指す。長繊維化工程については、一部連続加工の可能性についても検討を進める。 2年目：長繊維化の連続工程についての検討，ならびに長繊維化されたReCFを連続樹脂含浸する技術開発を行う。 3年目：ネット状に加工し，補修部材としての性能が確保されているかを確認する。							

⑥これまでの研究経過、目標の達成状況

本研究開発は、図－1に示すように、①ストランド接合技術の開発、②樹脂含浸技術の開発、③ネット状補強材の開発、の各フェーズから構成される。基本的な担当として、ストランドの製造技術の高度化（①、②）については、守富が担当し、コンクリート補強材への適用にあたっての検討（③）については國枝が担当した。1年目、2年目においては、特にストランドの作製およびその製造の連続化を目標として設定し、3年目のネット状補強材の製造および現場での適用検証に向けて検討を進めることとし、回収されたReCFからネット状補強材を橋梁の上面増厚に適用する段階まで進めることができた。



図－1 本研究開発の全体計画と年度計画

⑦中間・F S評価で指摘を受けた事項への対応状況

■補修現場で使用する場合の活用条件、活用方法について

コンクリート構造物の鉄筋腐食に起因した健全性の低下が多く、耐腐食性のある補強材の利用が根本的な解決手段となる。従来、CFRPを用いた構造物・部材の高耐久化に関しては、30年以上前にすでに検討が行われておりその優位性が確かめられている。一方で、最大の課題はコストにあり、ReCFは廃棄物を使用することから、コスト削減が可能であり、普及の可能性が高い。これを前提に、以下の点についての優位性が確認できる。

- ・軽量、フレキシブルなネット状補強材であり、技能者が減少するなかで生産性向上が期待できる。
- ・一般に厳しい環境条件およびかぶりの小さな箇所における鉄筋腐食に対して補修、補強を行う場合が想定されるなか、再度鉄筋を用いるのではなく本技術を適用すべきと考えられる。
- ・例えば、超高強度繊維補強コンクリートを用いた補修方法などが積極的に提案されているが、基本的に部材厚が小さいことから、通常の鉄筋を用心鉄筋として配置することが

できず、当該ネット状補強材を用いることに優位性がある。

■加熱処理による強度低下が補強材活用に与える影響度合いについて

高温で処理するほど CFRP に付着した残留炭素を除去することが可能であるが、一方で炭素繊維そのものにダメージを与えることから、500℃程度以下に抑えることでバージン材の80～90%以上の強度を確保することができる。強度低下があるとはいえ、一般的な鉄筋に比べれば、そのレベルは非常に高く優位性がある。例えば、ストランドの太さを大きくすれば補強材としての耐力が確保できることから、土木分野において部材の設計をすることは十分に可能である。なお、強度（耐力）そのものではなく、そのばらつきの大小が設計用値や安全係数に与える影響が大きいことから、引張強度試験のデータを蓄積し、それらの設計用値を定めることが今後の課題といえる。

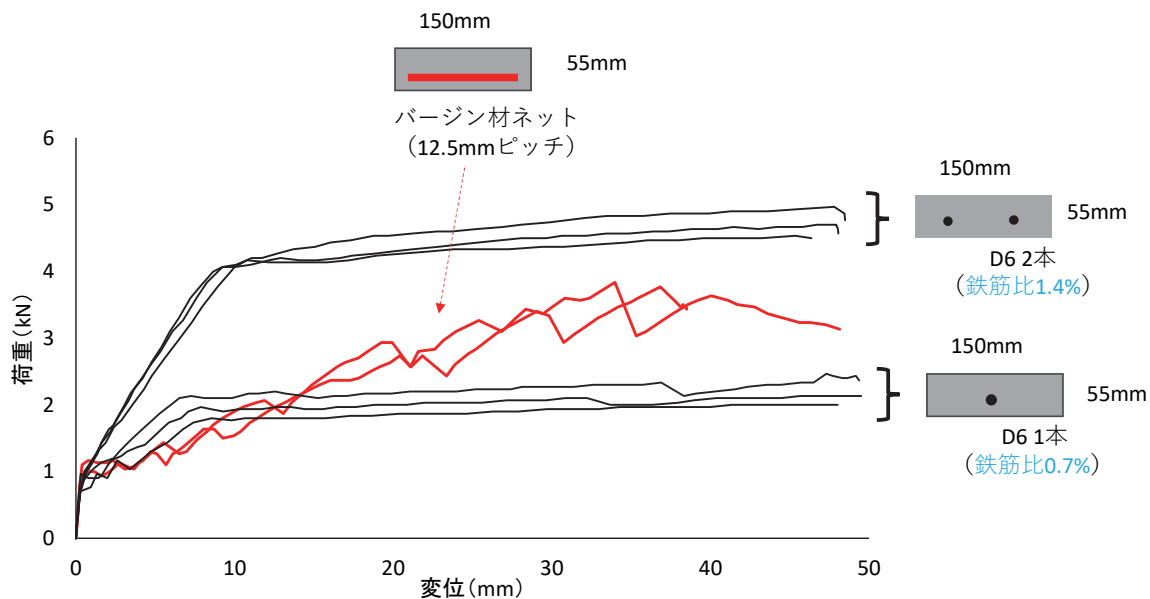
■コスト分析について

コスト分析に関しても、バージン材を用いた補強材の製造コストに対して 50%を目標に現時点で検討を進めたが、現時点で CFRP 廃材を回収する際の費用が算定できず、よってトータルコストについては今後の課題となった。

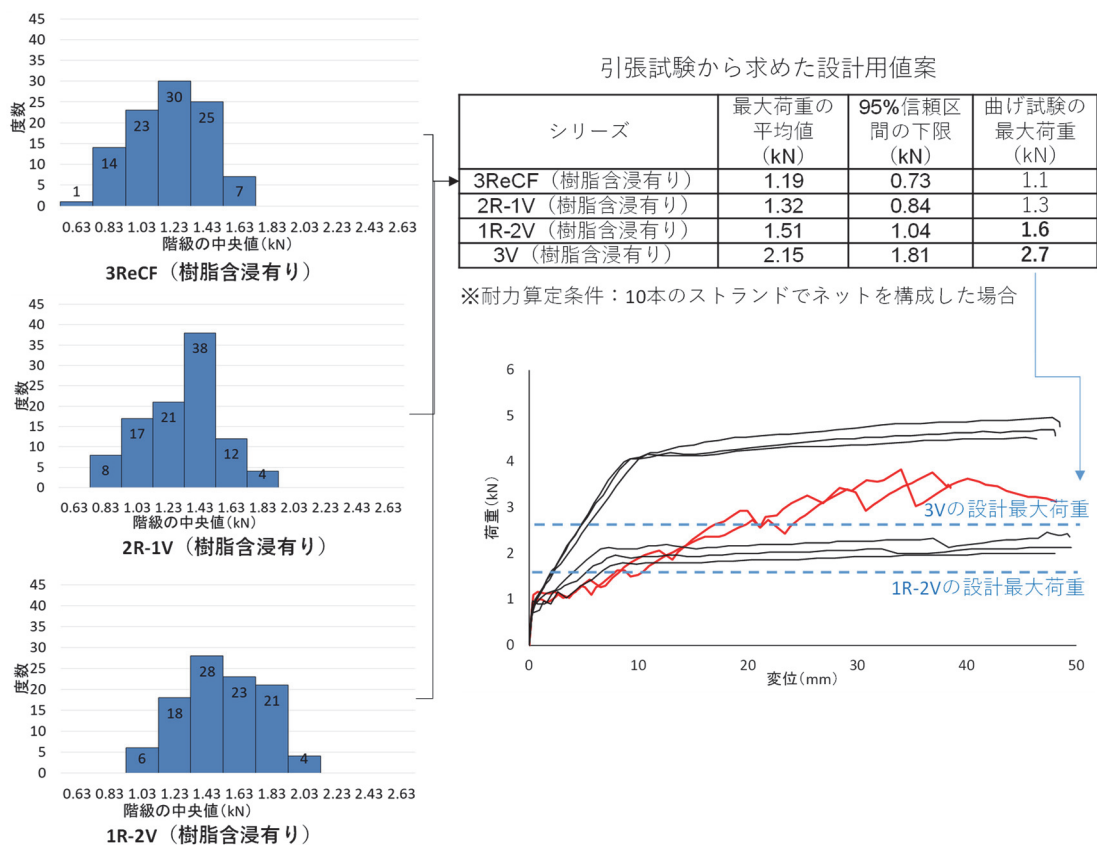
■最終的に製造されるネット状材に確保すべき性能、その品質などの目標条件（接合条件や樹脂の種類、含浸方法、ネット製造法など）について

目標とする力学特性を図-2 に示す。厚さ 55mm のモルタル部材に D6 鉄筋を 1 本あるいは 2 本入れた部材が、一般的な補修における部材厚と鉄筋比の範囲と考えた場合、ネット状炭素繊維の場合に鉄筋比 1%程度の応答を示すことが分かっており、ReCF を用いた補強材によってもこの程度の補強効果が期待される。

なお、図-3 に示すように、製造された補強材の設計用値を例えば 95%フラクタイルを用いて行くと、10 本のストランドの場合において 1R-2V シリーズでは要求性能を満足しないが、本数を増やすなどの対応により満足させることができる。



図ー2 補強材の目標性能の概念図



図ー3 補強部材の設計方法の概念図

■疲労特性などリサイクル材料の特性について

ストランドの引張疲労抵抗性に関しては、接合部の疲労耐久性は高くないため、本研究の範囲内では引張耐力に対して 20%程度が疲労限であることを実験的に確認した。接合部の長さを長くするなどの対策を検討するなど今後の課題である。

■現場での施工性や施工時における留意点について

本研究開発で対象とする ReCF ネットは、補強量が十分ではないにしても、フレキシビリティを有することが特徴の 1 つである。施工試験においても、既往の材料を扱った経験しかない施工業者でも容易に取り扱うことができることを確認した。なお、鉄筋等の金属と接触させると鉄筋が腐食するため、両者の配置には注意する必要がある。

■本技術を用いた補修・補強によって得られる構造物の目標耐用年数等について

リサイクル材であっても炭素繊維そのものの耐腐食性は確保できていることから、従来の RC 構造物のように耐用年数がかぶりの物質移動抵抗性に依存しないという優位性がある。

⑧研究成果

リサイクル炭素繊維を用いてストランド状に加工した上で、樹脂含浸し、かつメッシュ状に加工する一連の工程を可能とした。また、このメッシュを用いて、橋梁床版の増厚補修の目地部等に適用する施工試験を行い、その適用性を検証した。

適用先として、補修時におけるかぶりが小さく耐腐食性が必要とされる部位や、目地部など接着剤等で接合している部位に、機械的な付着を期待できる本材料を用いることで、補修部の再劣化への抵抗性が向上し、構造物の長寿命化に寄与できるとともに、環境性も高めることが可能である。

⑨研究成果の発表状況

以下の発表実績に加えて、現在2編の論文を投稿中である。

（国際会議論文）

- (1)Hewei XU, Minoru KUNIEDA, Hiroshi MORITOMI:Tensile Property of Recycled Carbon Fiber Strand for Concrete Reinforcement, 11th International Conference on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites in Civil Engineering, Brazil, pp.266-275, 2023(査読あり)

（学術論文）

- (2)Hewei XU, 國枝 稔,守富 寛：接合部を有するリサイクル炭素繊維ストランドの引張特性の評価，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集, pp. 1-6, 2023(査読あり)
- (3)Hewei XU, 栗田 将暢,國枝 稔,守富 寛：接合部を有するリサイクル炭素繊維ストランドの引張耐力評価，コンクリート工学年次論文集, pp. 1567-1572, 2024(査読あり)

（学会発表）

- (4)栗田 将暢,Hewei XU, 國枝 稔,守富 寛：ネット状炭素繊維のメッシュサイズが補強効果に与える影響, 令和5年度土木学会中部支部研究発表会, V-50, 2024

⑩研究成果の社会への情報発信

該当なし

⑪研究の今後の課題・展望等

本研究は、焼成処理により得られた有限長さのReCFをスプライサーを用いて連続的に接合し、樹脂含浸の上、ネット状に加工する手法を構築し、さらに実橋梁の上面増厚補修の縦目地部の補強材として試験施工を実施することで当初目標は概ね達成できたと考えられ

る。一方で、今後その普及を進めるためには以下の課題がある。

- ・量産を目指した製造プロセス

上述のとおり、接合や樹脂含浸の自動化までは確立したものの、一般的なストランド生産における製造速度（例えば数km/h）にまでは及ばず、あくまでも試験製造のレベルにとどまった。量産を目指した製造プロセスの確立が必要。

- ・ストランド径の種類を増やす

本検討はあくまでも補修用のネットを想定していたが、コンクリート構造物の構造部材の補強材（補修であっても）として使用するためには、さらに補強効果を高めるために太径のストランドの種類を増やすことが必要。

- ・疲労に対する抵抗性のデータを蓄積する

中間評価時にも提案いただいたように、疲労に対する抵抗性のデータの蓄積が必要。

- ・コスト試算

製造コストについては、本研究開発の過程において既存のCFと同程度であることが推察できた。一方で、原材料コストについては、CFRPの廃材をいくらで引き取るかに依存しているため、算定することができなかった。

- ・CFの取扱い

炭素繊維の加工時に生じる破砕片（粉塵）が健康上の影響を及ぼす可能性があることから、欧州において規制の検討が行われている。本研究開発は、CFRP廃材をできるだけ切断しない方法としての可能性がある一方で、少なからず破砕片が生じるため、量産に向けた加工業者が限られてしまうことが懸念される。

⑫研究成果の道路行政への反映

リサイクル材の使用は道路業界にとって必要不可欠であり、さらにはCFという高耐久な材料を使用することで、構造物の長寿命化という付加価値をつけることが可能であると考えられる。本研究開発で行った試験施工でも示したとおり、「かぶり小」、「打継目」などの条件において、鉄筋を使用した補修を行うことは再劣化を助長するだけであり、ReCF補強材の優位性が発揮される適用事例である。残念ながら構造部材の補強材としての適用には至らなかったが、実構造物においては用心鉄筋などの補強材も多用されており、そのような適用から進めていく予定である。

⑬自己評価

本研究開発は、焼成処理により得られた有限長さのReCFをスプライサーを用いて連続的に接合し、樹脂含浸の上、ネット状に加工する手法を構築し、さらに実橋梁の上面増厚補修の縦目地部の補強材として試験施工を実施することで当初目標は概ね達成できたと考えられる。

量産やコストという視点での今後の課題も多いが、ReCFの利活用に関する今後の可能性が示せたとともに、道路政策が環境負荷低減に貢献できる方策の1つが示せたと考える。