

熱可塑性CFRPの立体成形技術の確立

－立体成形可能な熱可塑性炭素繊維生地の開発－

林浩司、中島隆康、立川英治

Development of c-CFRTP three dimensional molding technology
- Development of c-CFRTP semi-preg fabric for three dimensional molding -

Koji HAYASHI, Takayasu NAKASHIMA and Eiji TACHIKAWA

熱可塑性炭素繊維複合材料(CFRTP)は、比強度、比剛性に優れ、ハイサイクル、リサイクル等の観点から、自動車産業をはじめとした様々な産業用途で注目されている。しかしながら複雑な立体形状に成形する場合、通常、炭素繊維は織物組織であることが多いため、賦形性に乏しく、成形時しわができるといった問題があった。そこで本研究では、立体成形可能な連続繊維CFRTP(c-CFRTP)セミプレグを開発することを目的に、炭素繊維を合成繊維(熱可塑性樹脂)で被覆し、これを使用してニット生地を作製する技術の確立を検討した。その結果、被覆条件、ニット生地作製条件等を検討することで、炭素繊維の損傷を抑え、立体成形加工用c-CFRTPセミプレグを作製できることがわかった。

1. はじめに

炭素繊維を用いた複合材料(CFRP)は、比強度、比弾性率が高く、現在、スポーツ、レジャー用品、航空宇宙分野、発電用風車、圧力容器など各種用途で使用されており、今後さらに需要が伸びるといわれている¹⁾。このような中、自動車の炭酸ガス排出量に関する規制強化への対応として²⁾、自動車の軽量化が従前にもまして強く求められており、近年、CFRPを自動車へ応用する試みが本格的に始まったところである。

現在、CFRPに使用される樹脂としては、主にエポキシなどの熱硬化性樹脂が用いられているが、これらは、成形時間が長い、プリプレグの保管が煩雑などの欠点があった。特に、CFRPを量産型自動車に使用するためには、成形サイクルを短くすることが大きな課題であり、現在、熱硬化樹脂と比較して成形時間が短い熱可塑性CFRP(CFRTP)に関する研究が活発に行われている³⁾。

一方、CFRTPは様々な部材での使用が期待されており、そのため複雑な形状を有するCFRTP開発の要望が強い。現在製造されているCFRTP積層板は、主に、炭素繊維織物を基材としているため、経糸と緯糸が直行しており、自由な変形が難しい。そのためCFRTP積層板を複雑な形状に立体成形すると、成形時しわが入りやすいなどの問題があった。

そこでこの課題を解決するため、これまでほとんど検討されていない、編み物(ニット生地)を基材とする連続繊維CFRTP(c-CFRTP)セミプレグの開発を検討することとした。編み物を基材としたc-CFRTPは、炭素繊維がループを形成しているため、織物を基材としたc-CFRTPほど強度・弾性率等の向上は期待できないものの、生地の伸縮性が大きく変形が容易なため、立体成形金型に追従しやすく賦形性が高いと予想される。また、編み物は、生地の作製において整経工程が不要なため、比較的簡単に、かつ高価な炭素繊維を必要最低限の量で作製することができ、耐衝撃性の向上も

期待できる。しかしながら、炭素繊維は曲げに対して非常に弱く、従来、ニット生地を作製することは困難であった。そこで、撚糸によるカバリング、及び筒編しながらカバリングするカバーニットの手法により炭素繊維を被覆することで、編み物を基材としたc-CFRTPセミプレグの開発を検討した。熱可塑性樹脂には、軽量で、耐薬品性が高く、現在、自動車において多く使用されているポリプロピレン(PP)樹脂を使用した。

2. 実験

2.1 試料

表1に使用したPP繊維を示す。炭素繊維は1K及び3K(東レ(株) T300 1000-50A 594d、T300B 3000-50B 1782d)を使用した。

表1 使用したPP繊維

素材	形状	織度
ポリプロピレン	マルチフィラメント	30d
ポリプロピレン	マルチフィラメント	313d

2.2 カバリング中間基材の作製

意匠撚糸機(オゼキテクノ(株) トライスピ)を使用し、炭素繊維を芯糸として313dのPP繊維でダブルカバリングを行った。

2.3 カバーニット中間基材の作製

カバーニット筒編機(圓井繊維機械(株) CK-N)を使用し、炭素繊維を芯糸として30dのPP繊維でカバーニットを行った。

2.4 編成性評価

筒編試験機(釜径3.5インチ)を使用し、7ゲージで編成性の評価を行った。

3. 結果及び考察

3. 1 カバリング中間基材の作製

図1に作製したカバリング中間基材の一例を示す。織度は1300dであった。炭素繊維は594dであることから、PP繊維は、計算上、炭素繊維の周りに約2.3倍の繊維長(シングルカバリングでは約1.15倍)でカバリングしている。それぞれの密度から計算で求めた炭素繊維体積含有率(Vf)は30.3%であった。カバリング数を増やしていくと、黒色の炭素繊維が白色のPP繊維でカバリングされ、糸の色は徐々に白くなった。カバリング数増加とともにカバリング性は向上していくものの、曲げに対しては硬くなり、ニットループの形成において不利であると予想された。カバリング性、及び糸の硬さから総合的に判断してカバリング数を決定した。



図1 カバリング中間基材

3. 2 カバーニット中間基材の作製

図2に作製したカバーニット中間基材の一例を示す。炭素繊維の周囲をPP繊維が平編み組織となって被覆していることがわかる。織度は1116d、計算で求めたVfは37.0%であった。カバリング中間基材と比較して、カバーニット中間基材の方がVfが高いにもかかわらず、糸の色はやや白く、カバリング性が優れていることがわかった。炭素繊維の周りをカバーニットしているPP繊維の長さを調べると、炭素繊維の約17倍の長さで被覆しており、このことがカバリング性が優れる原因と考えられる。また、カバーニット中間基材は、カバリング中間基材と比較して、糸が曲げに対して柔らかかった。カバーニット中間基材は、伸縮性が高く柔軟なニット組織で被覆されていること、及び、炭素繊維とPP繊維との間に若干の空隙があるため、柔らかい糸となったと考えられる。カバリング中間基材は、糸の製造過程において、芯糸である炭素繊維がPP繊維で外側から締め付けられるのに対し、カバーニット中間基材の場合は、炭素繊維を締め付ける力が働かないため、空隙が生じたと考えられる。糸径はカバリング中間基材と比較して若干太くなった。



図2 カバーニット中間基材

3. 3 CFRTPセミプレグの作製

カバリング、カバーニット両中間基材の編成性を評価した。筒編試験機で作製した編地の一例を図3、4に示す。作製し

たCFRTPセミプレグは、織物を基材としたものより柔軟で、立体追従性が優れていた。また、カバリング中間基材を使用したニット生地には、ほんのわずかではあるが炭素繊維の損傷(切断)がみられたのに対し、カバーニット中間基材の場合は、カバリング中間基材に比べてVfがやや高いにも関わらず、炭素繊維の損傷がほとんど認められなかった。カバーニット中間基材は、炭素繊維の被覆性が優れ炭素繊維とニット針と摩擦が抑制されたこと、及び、糸の曲げ柔らかさが優れていることなどから、編成性が優れていたと考えられる。

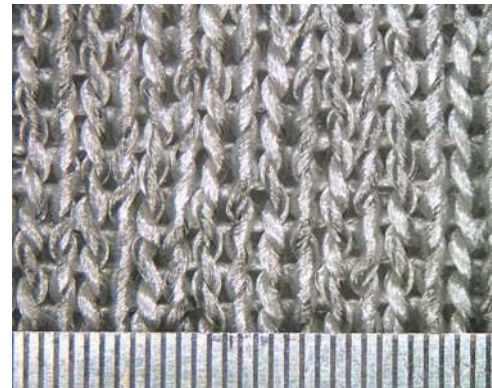


図3 カバリング糸を使用した編地

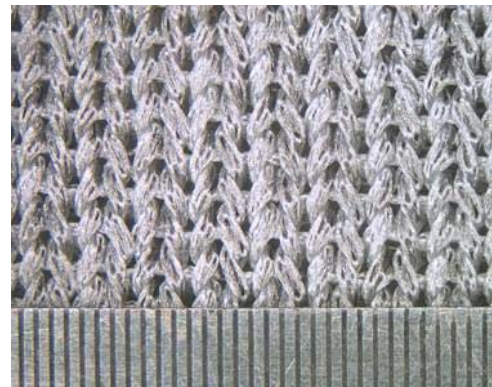


図4 カバーニット糸を使用した編地

3. 4 3K炭素繊維への応用

1Kと比較して汎用な3K炭素繊維を使用して、連続繊維CFRTPセミプレグの作製を検討した。1K炭素繊維で得られた知見をもとに、PP繊維の織度、カバリング数等を適宜調整して炭素繊維をカバリング、及びカバーニットした繊維状中間基材を作製し、ニット生地を編成した。図5、6に繊維状中間基材、図7、8に平編み組織及びフライス組織のニット生地を示す(写真中の1目盛り:1mm)。フライス組織においては、炭素繊維の損傷(切断)がわずかに認められたものの、編成条件等を適正化することで編成性の向上が可能と考えられた。ニット生地にはさまざまな編み組織があり、これにより伸縮の異方性が大きく異なる。フライス組織は平編み組織と比較して、ウェール(横)方向の伸縮性に優れている。立体成形時、生地の伸縮異方性を考慮して成形金型に投入するこ

とで賦形性がさらに向上することが期待できる。



図5 カバリング中間基材(3K)

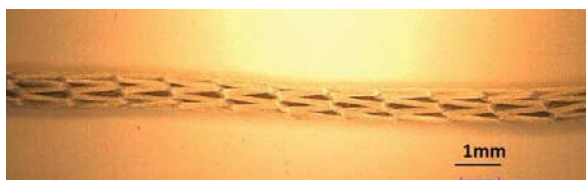


図6 カバーニット中間基材(3K)

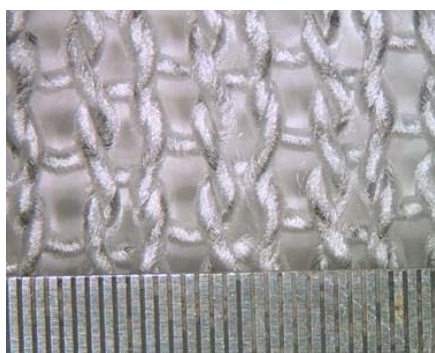


図7 平編み組織(カバリング中間基材使用)

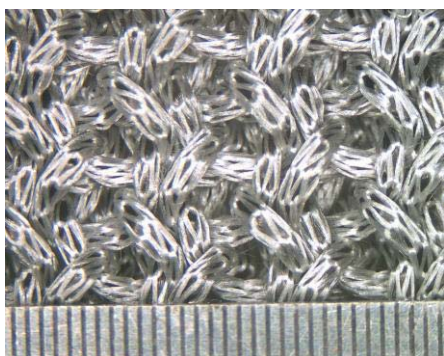


図8 フライス組織(カバーニット中間基材)

4. まとめ

立体成形可能な連続繊維CFRTPセミプレグを開発することを目的に、炭素繊維をPP繊維でカバリング、及びカバーニットして被覆し、ニット生地を作製する検討を行った。

カバーニット中間基材は、カバリング中間基材に比較して、カバリング性、糸の柔軟性に優れ、編成性が良かった。作製したCFRTPセミプレグは、織物を基材としたものよりも柔軟で、立体追従性が優れていた。

【謝辞】

本研究を実施するにあたり、ご指導ご助言いただきました岐阜大学仲井朝美教授に感謝いたします。ニット生地作製に当たり適切なアドバイスをいただきましたミワマサニット(株)三輪芳元様に感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 井塚淑夫, 炭素繊維複合化時代への挑戦, 繊維社, 2012
- 2) 【EU】自動車のCO2 排出量を規制する規則, 国立国会図書館調査及び立法考査局, <http://www.ndl.go.jp/jp/data/publication/legis/pdf/02480103.pdf>
- 3) 例えば, サステナブルハイパーコンポジット技術の開発, NEDO, http://www.nedo.go.jp/activities/EF_00038.html

Abstract

In order to get c-CFRTP semi-preg using knitted fabric, we researched covering methods of carbon fiber, and evaluated knitting property of these thread.

As the results, covered yarn by circular knitting was superior to covered yarn by twisting in covering property, thread softness, and knitting property. And c-CFRTP semi-preg based on knitted fabric was superior to those of based on woven fabric in three dimensional followability.