

熱可塑性炭素繊維樹脂シートの 低コスト連続加工技術の開発

奥村航* 木水貢* 長谷部裕之** 惣川武勇*** 曾原隆夫**** 柏崎雅彦****
松村峰彰***** 蓬澤博信***** 斉藤博嗣***** 石田応輔*****

熱可塑性CFRPシート(スタンパブルシート)は軽量で高強度であり、鉄の代替材料として注目されている。しかしながら、現状、スタンパブルシートは高価な海外製品の輸入に頼っている。そこで、低コストであるスタンパブルシートの技術開発を行った。まず、熱可塑性樹脂が炭素繊維束に含浸し易くなる炭素繊維織物の処理について検討した。次に、タンパブルシートを連続的に製造する技術の検討を行った。この結果、炭素繊維織物に付着したサイジング剤を除去し、押出ラミネート加工すると熱可塑性樹脂の含浸性が向上することを明らかにした。また、これらの処理と加工を施した試料を用い、連続的にスタンパブルシートを製造する技術を確立した。

キーワード: 熱可塑性CFRP, スタンパブルシート, 炭素繊維織物

Development of a Low-cost Continuous Processing Method for Carbon-fiber-reinforced Thermoplastic Sheets

Wataru OKUMURA, Mitsugu KIMIZU, Hiroyuki HASEBE, Takeo SOHGAWA, Takao SOHARA, Masahiko KASHIWAZAKI,
Mineaki MATSUMURA, Hironobu YOMOGIZAWA, Hiroshi SAITOU and Ohsuke ISHIDA

CFRTP sheets (Stampable sheets) are attracting attention as a material that can replace iron, due to their light weight and high strength. Under present circumstances, however, we are required to rely on expensive imported stampable sheets; therefore, the technology for manufacturing stampable sheets at a low cost was developed. First, carbon-fiber fabrics were processed so that they could be impregnated with thermoplastic resin easily. Next, the technique for continuous manufacturing of stampable sheets was examined. As a result, it was confirmed that the impregnation of carbon-fiber fabric with thermoplastic resin was improved by removing sizing agent and applying extrusion lamination. And the technology for continuous manufacturing of stampable sheets by removing sizing agent and applying extrusion lamination was established.

Keywords: CFRTP, stampable sheet, carbon-fiber fabric

1. 緒 言

炭素繊維強化複合材料(以下、CFRP)は、軽量で高強度という特性から鉄の代替材料として注目され、宇宙・航空機分野で採用されている。近年、CFRPの量産化に向けた検討が行われており、成形時間を短縮できる熱可塑性樹脂を使ったCFRP(以下、熱可塑性CFRP)の開発が盛んに進められている¹⁻³⁾。これは「スタンパブルシート」と呼ばれる熱可塑性CFRPシートをプレス成形加工することで、CFRP部品の成形時間を数

時間から数分レベルに短縮するという試みである。しかしながら、現状、これらの開発の基材となっているスタンパブルシートは高価な海外製品の輸入に頼っている。

本研究開発では、低コストのスタンパブルシートを石川県内から供給することを目的とし、種々の検討を行った。本研究では、炭素繊維織物を基材とし、熱可塑性樹脂にポリアミド6(PA6)を用いたスタンパブルシートの試作を行った。初めに、スタンパブルシートの力学的性質を向上させるための手法を検討した。次に、その成果を基にスタンパブルシートを連続的に作製する技術開発を行った。さらに、得られたスタンパブル

*企画指導部 **繊維生活部 ***テックワン(株)

****優水化成工業(株) *****一村産業(株)

*****金沢工業大学

シートの力学的性質を評価し、鉄の代替材料としての可能性を確認した。

2. 実 験

2. 1 炭素繊維織物の前処理

2. 1. 1 PA系エマルジョン塗布

高い力学性能を持つスタンパブルシートを作製するには、炭素繊維織物の隙間に溶融した熱可塑性樹脂を十分にしみこませた上で、固化させる必要がある¹⁾。そこで、PAの微粒子を溶液に分散させた「PA系エマルジョン」を炭素繊維織物に塗布する処理を行った。これにより、樹脂の浸み込み易さ(含浸性)の改善を図ることを狙いとした。

具体的には、PA系エマルジョン槽に炭素繊維織物を浸漬した後、余剰なPA系エマルジョンをニップローラで絞り、乾燥させてPA系エマルジョン塗布炭素繊維織物試料を得た。

2. 1. 2 サイジング剤除去

一般に炭素繊維には、平滑性と収束性を向上させるために「サイジング剤」と呼ばれる糊剤を附着させており、これが熱可塑性樹脂の含浸を阻害すると考えられている。そこで、サイジング剤を熱処理により分解除去する方法を検討した。

具体的には、電気炉((株)モトヤマ製DC-8080)を用い、炭素繊維織物を処理温度350°C、処理時間10 minで熱処理した。熱処理前後の重量変化により、サイジング剤の除去を確認した。

2. 2 押出ラミネート加工

PA系エマルジョンは一般的に高価であり、低コスト化には不利である。現状では、熱可塑性樹脂の形態としては、「フィルム」が低コスト化に適していると考えられる。フィルムはペレットと呼ばれる粒状の熱可塑性樹脂を溶融し、平面上に押出すことで製造される。そこで、フィルム成形時の溶融状態(流動性)を利用し、炭素繊維織物上にフィルムを成形することで、炭素繊維に熱可塑性樹脂を含浸させ、連続的にラミネート加工する検討を行った。

具体的には、いしかわ次世代産業創造支援センターに設置されたフィルム成形押出機((株)プラスチック工学研究所製)を用い、炭素繊維織物上に溶融したPA6樹脂を塗布する押出ラミネート加工を行った。押出ラミ

ネート加工の概略図を図1に示す。この手法はフィルム成形で使用されるTダイの直下に炭素繊維織物を繰り出すことで、炭素繊維織物と熱可塑性樹脂フィルムを貼り合わせる手法である。本研究では、幅500 mmの12K平織炭素繊維織物に約80 μmのフィルムを貼り合わせた。

さらに、ラミネートシートを積層して100 mm角で厚さ2 mmのスタンパブルシートを作製し、炭素繊維織物とフィルムの積層から得られたスタンパブルシートとの力学的性質を比較した。スタンパブルシートの力学的性質の評価は、万能試験機((株)島津製作所製100KNplus)を用いて三点曲げ試験により行った。試験片はスタンパブルシートから炭素繊維方向0°/90°に沿って、幅15 mm、長さ100 mmに切断して試験片を作製した。試験条件は支点間距離80 mm、R5 mmの圧子を用い、曲げ速度5 mm/min、室温23°C、湿度50%とし、曲げ強度および曲げ弾性率を求めた。

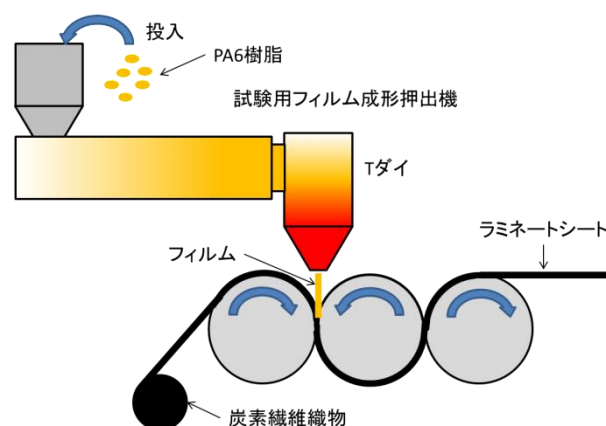


図1 押出ラミネート加工の概略図

2. 3 スタンパブルシートの連続成形

プレスによるスタンパブルシートの成形方法は、一枚毎に生産する為、生産速度が低く、低コスト化には課題が多い。スタンパブルシートを連続的に成形することができれば、生産速度を高くすることができ、コストを低くできると考えられる。そこで、前項までの結果を基に、サイジング剤除去した炭素繊維織物にラミネート加工したシートを4層積層し、連続的にスタンパブルシートを成形する検討を行った。本研究では、幅500 mm、厚さ約1 mmのスタンパブルシートを作製した。得られた試料について前項2. 2と同様に三点曲げ試験により、試料の力学的性質を評価した。

3. 結果と考察

3. 1 炭素繊維の処理

図2に炭素繊維織物に種々の処理を施して得られたスタンパブルシートの曲げ強度と曲げ弾性率を示す。PA系エマルジョン塗布、および、サイジング剤除去を炭素繊維織物に施して作製したスタンパブルシートは、未処理のものと比較して、高い曲げ強度と曲げ弾性率を示した。特に、炭素繊維織物のサイジング剤除去を行うと、曲げ強度と曲げ弾性率の向上が顕著となり、曲げ強度は670MPa、曲げ弾性率は63.6GPaに達した。いずれの処理も炭素繊維束への熱可塑性樹脂が空隙無く含浸したため、曲げ強度および曲げ弾性率が向上したものと推察される。

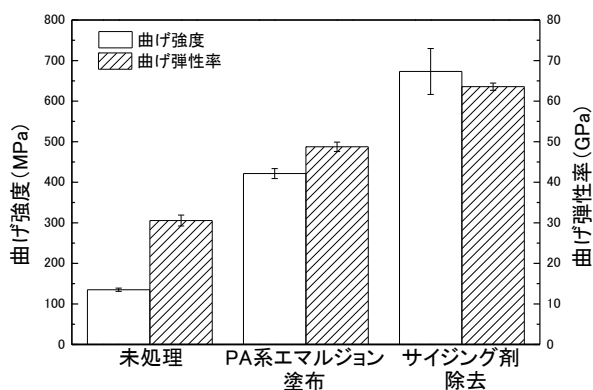


図2 炭素繊維織物の処理によるスタンパブルシートの曲げ強度と曲げ弾性率

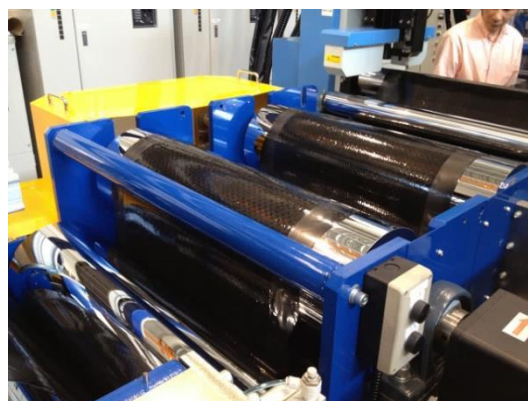
3. 2 押出ラミネート加工

図3に押出ラミネート加工の試作状況を示す。サイジング剤を除去した炭素繊維織物とフィルムを貼り合わせた試料(ラミネートシート)では炭素繊維織物の目ズレが起こらず、積層時のハンドリング性が良好であることを確認した。図4にフィルムと未処理の炭素繊維織物を積層して作製したスタンパブルシートと上述のラミネートしたスタンパブルシートの曲げ強度および曲げ弾性率を示す。図4より、ラミネートシートの方が曲げ強度および曲げ弾性率が高くなることが分かった。

3. 3 スタンパブルシートの連続成形

図5にスタンパブルシートの連続加工の状況を示す。連続加工を検討した結果、厚さ約1mmで幅500mmの長尺のスタンパブルシートが得られるようになった。ま

た、連続成形条件を制御することで、熱可塑性樹脂の含浸性を制御し、曲げ強度が約100MPaから約500MPaの範囲のスタンパブルシートが得られるようになった。樹脂含浸を抑制したもの(樹脂含浸抑制タイプ)としていないもの(樹脂含浸タイプ)の曲げ強度と曲げ弾性率を図6に示す。



(a) ローラー部分



(b) 巻き取り部分

図3 押出ラミネート加工の試作状況

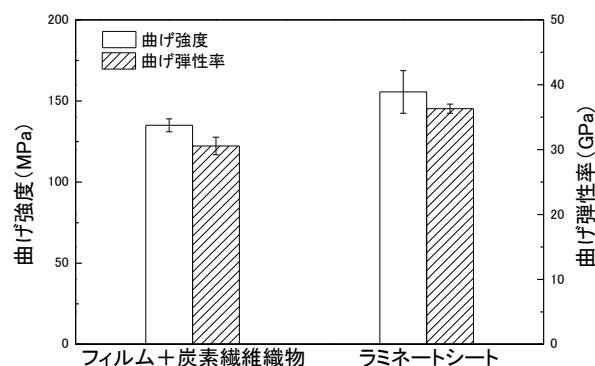


図4 ラミネートシートから得られたスタンパブルシートの曲げ強度と曲げ弾性率

また、連続成形で得られるスタンパブルシートのコストは、一枚毎にプレス成形して得られるスタンパブルシートのコストと比較して約3割のコストダウンが見込めるようになった。

本研究で連続加工により得られたスタンパブルシートと金属材料の曲げ強度と比重を表1に示す。本研究で得られたスタンパブルシートは鉄とほぼ同等の曲げ強度を持ちながら、鉄より比重が約1/5、アルミニウムと比較しても比重は約1/2である。このことから軽量化に資する、鉄の代替材料として熱可塑性CFRPの

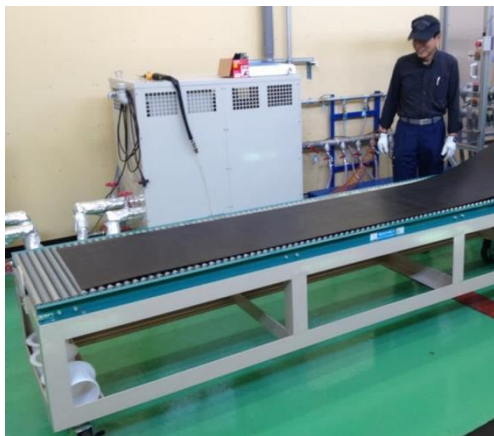


図5 スタンパブルシートの連続成形状況

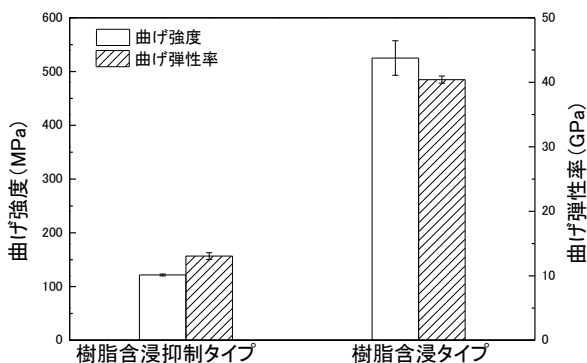


図6 連続成形で得られたスタンパブルシートの曲げ強度と曲げ弾性率

表1 材質による曲げ強度と比重

材質	曲げ強度(MPa)	比重
鉄	300~600	7.8
アルミ	200	2.7
本研究のスタンパブルシート	100~500	1.4~1.5

可能性が示された。

4. 結 言

本研究では、熱可塑性樹脂が炭素繊維織布に含浸し易くなる炭素繊維織布の処理を検討すると共に、スタンパブルシートを連続的に製造する技術について検討した結果、以下の知見を得た。

- (1) 炭素繊維織布にPA系エマルジョンを塗布することや、炭素繊維織布に付着しているサイジング剤を除去することで、熱可塑性樹脂が含浸し易くなり、その結果、その炭素繊維織布から作製したスタンパブルシートの曲げ強度および曲げ弾性率が向上する。
- (2) 押出ラミネート加工することで、積層時に炭素繊維織布の目ズレを抑制できると共に、熱可塑性樹脂が含浸し易くなり、ラミネートシートから作製したスタンパブルシートは曲げ強度および曲げ弾性率が向上する。
- (3) サイジング剤除去した炭素繊維織物に押出ラミネート加工したラミネートシートを積層し、連続的にスタンパブルシートを作製する技術を確立した。これにより、従来と比較して約3割のコストダウンが見込めるようになった。

謝 辞

本研究は、経済産業省「平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業」の委託を受け、テックワン(株)、優水化成工業(株)、一村産業(株)、金沢工業大学との共同研究の一環として実施しました。記して関係諸氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Wataru Okumura, Hiroyuki Hasebe, Mitsugu Kimizu, Ohsuke Ishida, Hiroshi Saito. Development of Carbon Fiber Fabric Reinforced Polypropylenes. Sen'i Gakkaishi, 2013, vol. 69, no. 9, p. 177-182
- 2) 橋本雅弘, 岡部朋永, 西川雅章. 単子分散炭素繊維による熱可塑性プレス基材の開発とその力学特性評価. 日本複合材料学会誌, 2011, vol. 37, no. 4, p.138-146
- 3) 高橋淳, 鶴澤潔, 大澤勇, 北野彰彦, 山口晃司, 臼井勝宏. 自動車の安全設計と信頼性向上に貢献する複合材料技術-VIII. 日本複合材料学会誌, 2007, vol. 33, no.3, p.82-86