

接着性、含浸特性に優れた熱可塑性FRP用繊維状中間材料の開発(第3報)

－樹脂製の型を使用した編物CFRP平板の立体成形－

林 浩司

Development of intermediate material for fiber reinforced thermoplastic composite superior in permeability and interfacial properties (III)

－ Three dimensional molding of knit CFRP plate using the resin mold －

Koji HAYASHI

金型は耐久性に優れたものの、一般的に型作製に要する期間が長く製造コストも高い。成型品の少量生産や試作を念頭に、耐久性は劣るものの製造コストが低く、型作製に要する期間も短い木材や樹脂を原料とする立体成形型を用いたCFRPの立体成形条件を調査検討した。昨年度までに開発した接着性、含浸特性に優れた繊維中間材を使用し、同時に立体成形性が優れていることを明らかにしている編物CFRP平板を使用した。その結果、ウレタン系樹脂からなる立体成形型を使用し、編物CFRP平板の作製条件、編物CFRP平板の加熱温度、型温度等を検討することで、立体成形ができることを明らかにした。また、繊維中間材からなる織物を熱プレスすることで、織物CFRP平板を簡易に作製できることが分かった。

1. はじめに

炭素繊維強化プラスチック(CFRP)は、比強度等の物性に優れ、スポーツ、航空宇宙分野、圧力容器など各種用途で使用されており、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^{1)~3)}。特に熱可塑性CFRPは、熱硬化性CFRPに比較して成形時間が短く、2次加工が可能なことなどから注目されている。そこで本研究では、熱可塑性樹脂であるポリプロピレン(PP)を対象に昨年度までに開発した接着性、含浸特性に優れた繊維状中間材料(繊維中間材)⁴⁾を使用して、簡易で安価に立体成形品が試作できるシステムを構築する検討を行った。具体的には、この繊維中間材を使用して、これまでに立体成形性が優れることを明らかにしている編物⁵⁾を作製し、金型に比較して製造コストが抑えられ、型作製に要する期間も短い木材や樹脂を原料とする成形型を用いた立体成形について検討した。また、繊維中間材を用いた織物の試作を行い、この織物を使用した織物CFRP平板の試作を検討した。

2. 実験方法

2.1 合成繊維、及び炭素繊維

400d/220fのPPマルチフィラメント(PP繊維)、800d/192fのナイロン6マルチフィラメント(Ny6繊維)、及びPP樹脂に酸変性PP樹脂をブレンドした800d/192fの変性PPマルチフィラメント(変性PP繊維)を使用した。原料のPP樹脂、及びナイロン6樹脂は、これまでの検討で、繊維中間材作製後の一方向CFRP(UD材)において三点曲げ強さが最大となる熔融粘度を持つ樹脂をそれぞれ使用した⁶⁾。同様に、変性PP繊維は三点曲げ強さが最大となる組成(酸変性PP樹脂のグレード、PP樹脂とのブレンド比)で作製した⁶⁾。

炭素繊維は、12K(東レ(株)、T700SC 12000-50C)、及び3K(東レ(株)、T300B 3000-50C)の糸を使用した。

2.2 繊維中間材の作製

前報⁵⁾と同様の方法により、意匠撚糸機を使用して炭素繊維を芯糸にして合成繊維でカバリングすることで繊維中間材を作製した。特に述べない限り、カバリングは1回(シングルカバリング)とし、カバリング数は200回/mとした。炭素繊維体積割合(Vf)がおおよそ40%程度になるように、芯糸に合成繊維を複数本引き揃えて使用した。織物作製で使用した繊維中間材は、12Kの炭素繊維を使用し、Ny6繊維または変性PP繊維でカバリングした繊維中間材を用いた。繊維中間材のVfは、それぞれ45%、39%であった。編物作製で使用した繊維中間材は、3Kの炭素繊維を使用し、PP繊維または変性PP繊維でカバリングしたものを使用した。繊維中間材のVfはそれぞれ37%、40%であった。

2.3 繊維中間材を使用した編物と編物CFRP平板の作製

5ゲージの横編み機を用いて、2.2項に記載の繊維中間材を使用して、ゴム編み組織の編物を針抜きにより作製した⁵⁾。単位面積当たりの質量は約1200 g/m²であった。作製した編物と別途作製した厚さ0.5 mmのPPフィルムを適宜積層し、2 mm厚の型枠内に設置して最終的に190℃、4.9 MPaで30分熱プレスすることで、厚さ約2.5 mmの編物CFRP平板を作製した。熱プレスには、(株)井元製作所の手動油圧加熱プレス機(IMC-1A46-A)を使用した。図1にプレス条件の一例を示す。

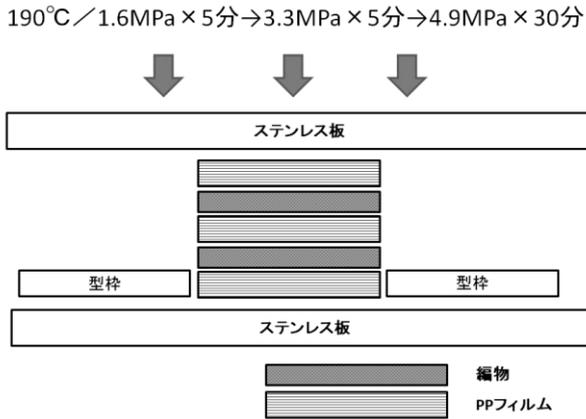


図1 編物CFRP平板の作製方法

2.4 簡易で安価な成型型を使用した立体成形

金属に代わる型材料として、木材、及び合成木材と呼ばれる樹脂ブロック材を検討した。プレス時に型に高い圧力がかかることを考慮し、木材には、比較的硬い材料として木型にも使用されている朴ノ木、樹脂ブロック材には硬さ及び耐熱性の高いウレタン系樹脂材を使用した。図2に示す2種類の形状の型を切削加工により作製し、2.3項記載の編物CFRP平板を立体成形した。編物CFRP平板の加熱にはホットプレートを使用し、一定温度に設定した型により成形した。編物CFRP平板の作製のとく同じプレス機を使用した。

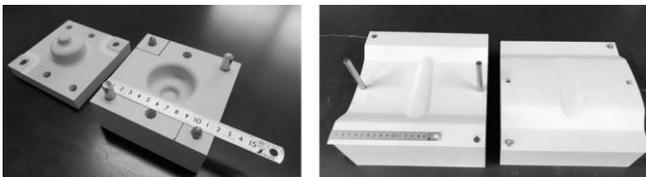


図2 成型型(左:凸 右:靴べら 写真はいずれも樹脂製)

2.5 織物と織物CFRP平板の作製

高強度繊維対応織機((株)トヨシマビジネスシステム TNY101A-20T)を使用し、12Kの炭素繊維、及び2.2項に記載の繊維中間材を使用して織物を作製した。図3に織機と整経の様子を示す。本織機は、テープ状のフラットヤーンでも捻じれなく生地を作製できる機構になっており、縦糸はフラットな状態で整経され均一な糸テンションで織機本体に導入される。また、緯糸は紙管から平行解舒して給糸される機構を有している。織機の主な仕様を次に示す。

織 幅:20インチ

開口装置:コンピューター(PC)制御エアシリンダ稼働

緯入装置:PC制御サーボモーター駆動式、積極レピア

緯糸切断:ギロチンカッター式

筈打装置:PC制御サーボモーター駆動式

回 転 数:20 rpm

織物CFRP平板の作製は、編物CFRP平板の作製で使

用したときと同じプレス機を使用した。変性PP繊維からなる繊維中間材を使用して作製した織物を190°C、2.7 MPaで30分間熱プレスして作製した。



図3 高強度繊維対応織機と整経の様子

3. 結果と考察

3.1 簡易で安価な成型型を使用した編物CFRP平板の立体成形

2.3項に示す方法で作製した編物CFRP平板を使用し、図2左に示す凸形状の型を使用して、簡易で安価な成型型使用時の立体成形条件を調査検討した。この立体形状は、昨年度検討した卵型の金型形状に比較して大きな凹凸を有しており⁵⁾、供試サンプルの賦形性がより高く求められる。織物CFRPに比較して編物CFRPの示す立体成形優位性、及び簡易で安価な成型型の可能性を検証するためのモデル型として用いた。成形条件は、昨年度金型を使用して立体成形した条件を参考にした⁵⁾。その結果、木型を使用した場合、プレス時の高い圧力により木材が変形して成型品を満足に作製することができなかった。織物CFRP平板の場合は木型で成形可能であったが、編物CFRP平板は織物CFRP平板と異なり、平板を加熱するとキックバックして厚みが大きく増す。その結果、より高圧での熱プレスが必要となり、木材が耐えられなかったためである。一方、ウレタン系の樹脂型を使用した場合は、編物CFRP平板の加熱温度、型温度、プレス圧力、上下樹脂型間のギャップ等を適宜検討することで、このような複雑な形状に対しても立体成形できることが分かった。凸型に対する立体成形条件を参考に、図2右に示す靴べら形状の樹脂型を使用して編物CFRP平板の立体成形を行った。その結果、樹脂型の表面に耐熱テープを貼ることで、金属の型を使用した場合と同じように光沢感のある立体成型品が得られることが分かった。図4に作製した立体成型品を示す。

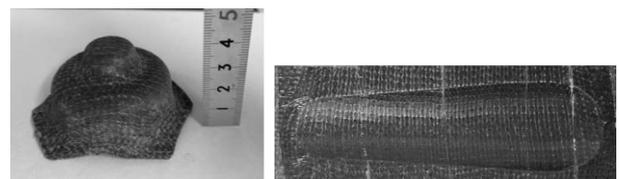


図4 樹脂型を使用した編物CFRP立体成型品

樹脂型は、金属型に比較して耐久性は劣るものの、型作製に要する期間が短くてすみ、また型の製造コストも大

幅に抑えられる。ウレタン系樹脂型は、成型品の少量生産や試作用の型として有効であることが分かった。また本検討では5ゲージの横編機により編物を使用した。図5に示す様に手編みにより生地を作製すれば、さらに容易にCFRP立体成型品を試作することが可能である。

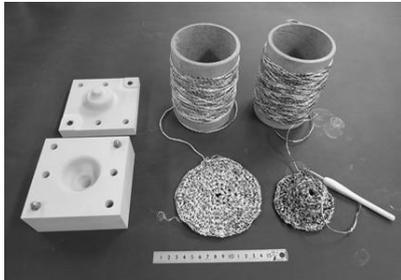


図5 樹脂型と手編み生地

3.2 12K炭素繊維を使用した織物

糸密度を検討した結果、12K炭素繊維を使用した平織物については糸密度を3~4本/インチとすることで、繊維束同士の重なりや、ねじれ等なく生地を作製することができた。図6に作製した炭素繊維織物(平織、綾織)を示す。

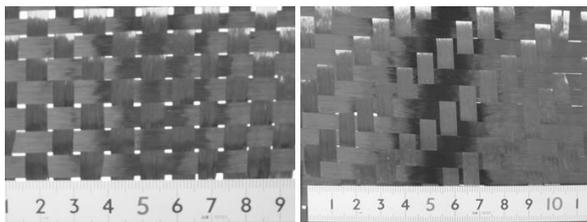


図6 炭素繊維織物(左:平織 右:綾織)

(平織織物の条件 経糸:3.3本/インチ、緯糸:3.6本/インチ 単位面積当たりの質量:180 g/m²)

3.3 繊維中間材を使用した織物と織物CFRP平板

変性PP繊維を使用した繊維中間材については、平織組織について、糸密度8~9本/インチとすることで、糸同志の重なり合いがなく生地を作製することができた。図7に作製した平織物を示す。

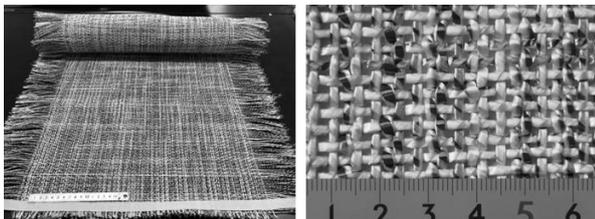


図7 変性PP繊維を使用した繊維中間材からなる織物(単位面積当たりの質量:980 g/m²)

一方、Ny6繊維を使用した繊維中間材からなる織物の試作では、時折緯糸の切断不良が認められた。6Kの炭素繊維をPP繊維でカバリング数400回/mでダブルカバリン

グした中間材(Vf:40%)や、上述のとおり12Kの炭素繊維、及び12Kの炭素繊維を変性PP繊維でカバリングした繊維中間材については、正常に糸が切断できている。これらの糸は切断不良が起きた糸と比較して、程度の差はあるものの、糸が曲げに対して硬い。この織機を使用して炭素繊維中間材を使用した織物を作製するためには、これまでに得られた知見から、カバリング数を増やすか、ダブルカバリングを行うなどして、糸が曲げに対して硬い中間材を使用する必要があると思われた。

変性PP繊維を使用した繊維中間材織物を熱プレスした織物CFRP平板を図8に示す。本手法は、一般的なCFRP平板作製方法である炭素繊維織物と樹脂フィルムを積層して熱プレスするときと比較して、織物段階で繊維状のマトリックス樹脂が炭素繊維近傍に位置しているため、マトリックス樹脂が炭素繊維束内に含浸しやすいという特徴を持つ。そのため、物性の優れたCFRP板が得られやすい方法と考えられる。この織物CFRP平板を今後活用するに当たっては、織物作製条件、熱プレス条件を更に詳しく調査検討する必要がある。

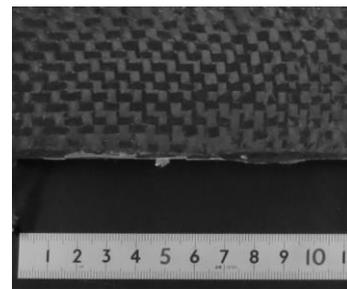


図8 繊維中間材織物から作製したCFRP平板

4. まとめ

熱可塑性樹脂であるポリプロピレン(PP)を対象に昨年度までに開発した接着性、含浸特性に優れた繊維中間材を使用して、簡易で安価に立体成型品が試作できるシステムを構築する検討を行った。具体的には、この繊維中間材を使用して、これまでに立体成型性が優れることを明らかにしている編物CFRP平板を作製し、金型に比較して製造コストが抑えられ、型作製に要する期間も短い木材や樹脂を原料とする成型型を用いた立体成型条件を調査検討した。その結果、木材からなる立体成型型では木材の強度不足から編物CFRP平板を立体成形することができなかったが、ウレタン系樹脂からなる型を使用することでCFRP立体成型品を作製できることが分かった。樹脂型は、成型品の少量生産や試作用の型として有効であることが分かった。

炭素繊維からなる織物、繊維中間材からなる織物を作製した。繊維中間材を使用して作製した織物を熱プレスすることで織物CFRP平板が容易に作製できることが分かった。この方法は、織物段階で繊維状のマトリックス樹脂が炭素繊維近傍に位置しているため、マトリックス樹脂が

炭素繊維束内に含浸しやすいという特徴を持ち、そのため、物性の優れたCFRP板が得られやすい方法と考えられる。

【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
- 3) 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
- 4) 林浩司, 岐阜県産業技術センター研究報告, No. 11, pp. 21-22, 2017
- 5) 林浩司, 岐阜県産業技術センター研究報告, No. 12, pp. 22-25, 2018
- 6) 林浩司, 岐阜県産業技術センター研究報告, No. 10, pp. 31-34, 2016