

屈曲連続炭素繊維強化プラスチックの成形性評価

早稲田大学 基幹理工学部機械科学・航空学科 川田 宏之

1. はじめに

炭素繊維強化プラスチック (CFRP) は、鉄鋼材料に比べ比剛性・比強度が優れる材料として注目され、スポーツ分野から航空・宇宙分野さらには自動車分野への適用の拡大が進んでいる。

しかし、成形時間の短縮化、強度と量産性の両立やコストダウンなど解決すべき課題が多い。特に自動車分野では量産性に優れた成形技術が求められており、中でもプレス成形が検討されている。本研究室では先行研究として、2種類のCFプリプレグ (UD材, 織物材) を用いて成形条件を変化させた深絞り成形を実施し、外見および内部の繊維のしわ等の成形性の評価を行った^[1]。

UD材は織物材に比べしわが発生しやすい箇所が比較的均一に分布することから、ボイドや樹脂リッチのような内部の成形不良は発生しにくい知見を得た。しかし、UD材は繊維の伸縮がないため、深絞り成形において繊維が大変形する箇所において繊維の乱れが確認された。

そこで、繊維の収縮性をもったプリプレグを開発するという着想に至った。従来のプリプレグは一方方向に引き揃えた形態を有していて、反硬化した樹脂に含浸されたシート状のものである。今回は繊維を屈曲させたプリプレグを用いて深絞り加工の成形性向上を目指すことにした。

2. 目的

本研究課題ではCFRPの深絞りの成形性を評価するため、Fig.1のような金型を設計・作製する。プレス試験は材料試験機を用いたCFRPの深絞り成形を行う。金型およびプレス機の構築後、本研究で扱う熱硬化CFプリプレグシートのプレス加工に最適な成形条件(温度, プレススピード, 圧力など)を決定する。ブランク材には比較のため、一方方向、屈曲繊維を有するCFプリプレグを用いる。本研究課題では、「しわや目ずれ」といったマクロ的な成形性について成形条件を決定することを重要視する。

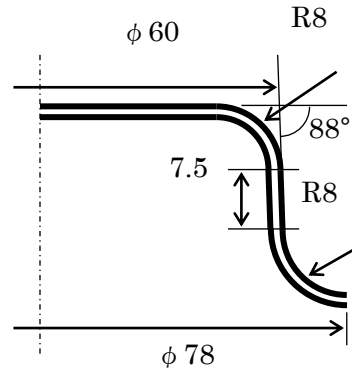


Fig.1 Schematic of deep drawing apparatus

3. 実用的な価値、実用化の見込など

近年、CFRPを用いた軽量化部品の大量生産に向けて成形技術の開発は急務となっている。このような背景の中、成形サイクルの短縮の観点から熱可塑性樹脂への転換が急速な勢いでなされている。本研究課題で提案しているような斬新なアイデアは技術革新を生む可能性があり重要であると認識している。

4. 研究内容の詳細

4.1 材料系

本研究では母材樹脂に熱可塑性エポキシ樹脂 (主剤:XNR6850A(株)ナガセケムテックス, 硬化促進剤: XNH6850EY(株)ナガセケムテックス), 強化繊維にPAN系炭素繊維(T700SC-12000(株)東レ)の連続繊維を用いた熱可塑性CFプリプレグを供試体とする。今回使用するの是一方向に揃えた繊維を樹脂に含浸させた一方方向プリプレグ



Fig. 2 Uni-directional prepreg.



Fig. 3 Wavy pattern prepreg.

(Wave 材)とし、それぞれ Fig.2 と Fig.3 に示す。この屈曲プリプレグの炭素繊維の形状は周期が約 32mm, 振幅が約 5mm であり、その形状を Fig.4 に示し、プリプレグに使用している炭素繊維の諸元を Table1 にまとめて示した。

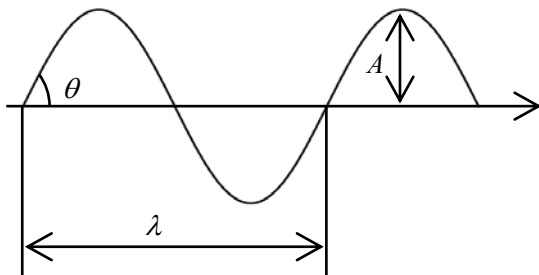


Fig. 4 Geometry of curved carbon fiber.

A: amplitude (5.09mm), λ : Wave length (32mm), θ : angle between carbon fiber and horizontal axis (45°)

Table1 Specification of carbon fiber prepreg

Model	Type of fiber	Tensile Strength GPa	Elastic Modulus GPa	Density g/cm ³
UD Wave	T700SC 12000	4.9	230	1.76

4.2 実験方法

金型の形状は多加ら^[2]の研究を参考に Fig.1 に示す形状とした。この金型には内部ヒーターが内蔵されており、温度調節コントローラー(MTCD, ミスミ(株))により温度調節が可能である。プレス機は Fig. 5 に示すアムスラ型万能試験機(RU300DN-TK21, 東京衝機(株))を用いた。万能試験機に金型を治具により固定を行った。

また本実験で使用する供試体は先に示した UD

プリプレグと屈曲プリプレグを用いる。板材の形状は正方形とし、一片の長さを 100mm とした。積層構成の概略図を Fig. 6, 7 に示した。成形に際して内蔵ヒーターにより 140°C に金型を予備加熱し、材料をセットする。その後 0 点合わせをした後、成形を開始する。下死点に達した後、50kN の圧力で保持を行った。成形開始から下死点における圧力保持終了まで 4000sec とした。その後、冷却過程に入り、50°C になったところでマニュアル制御により脱型を行った。温度、成形圧力、スライド位置の成形条件を Fig. 8 に示した。観察箇所および切り出し方向を Fig.9 および Fig.10 に示した。



Fig. 5 Photograph showing deep drawing die and universal testing machine.

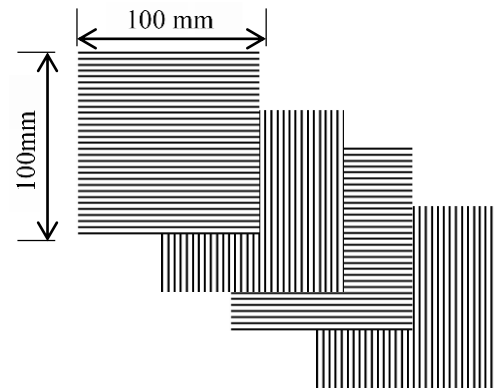


Fig. 6 Stacking sequence of uni-directional laminates.

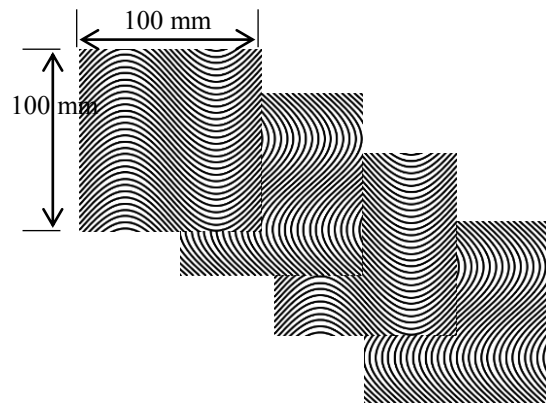


Fig. 7 Stacking sequence of wavy pattern laminates.

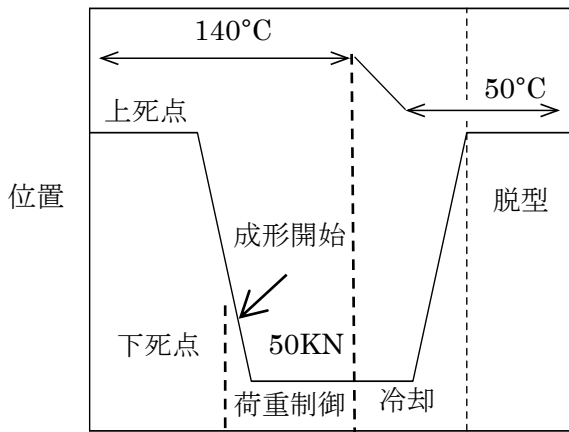


Fig. 8 Deep drawing process.

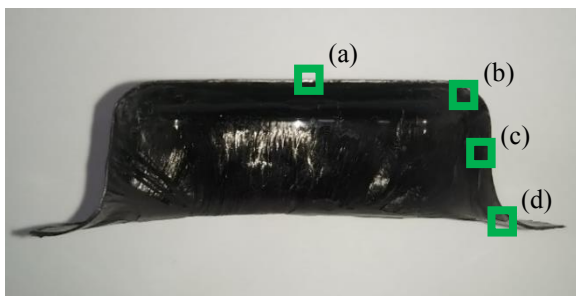


Fig. 9 Location of sectional observation.



Fig. 10 Cutting line for internal observations.

4. 3 実験結果および考察

UD プリプレグと屈曲プリプレグの成形品と繊維の変形量が大きな部分の拡大図を Fig. 11, 12 に示す. 赤線は繊維一層目を示し, 青線は Fig. 1 に示す金型の外径を示している. また内部の観察結果を UD プリプレグは Fig. 13 に屈曲プリプレグは Fig. 14 に示す.

まず UD プリプレグの成形品の外観を観察すると繊維が絞り深さ方向に引き込まれており, これに対して屈曲プリプレグの成形品では繊維が繊維方向に対して伸びており, 繊維に対して 90° 方向の伸びはほとんど確認されなかった. また,

炭素繊維の一層目に着目すると, 屈曲プリプレグは UD プリプレグに比べ赤い線が青い線よりも外側にある傾向にある. つまり, 正方形の場合, より小さなblank材からより深い絞り成形を行うことが可能であると考えられる.

つぎに, 内部の観察結果を比較すると, どちらの材料にもボイドが確認された. これは冷却過程中に圧力を保持することができないことが原因だと考えられる. しかし, 屈曲プリプレグは UD プリプレグに比べ大きなボイドが形成されていることが確認される. これは成形途中において繊維が屈曲形状から大きく変形したことによるものだと考えられる. 以上のことから, 屈曲プリプレグは繊維形状を変化させることで伸びるため UD プリプレグに比べ小さな正方形の板材からより深い絞り成形が可能であるが, 屈曲プリプレグは UD プリプレグに比べ内部のボイドが大きいため成形品の強度は低下する可能性があると考えられる.

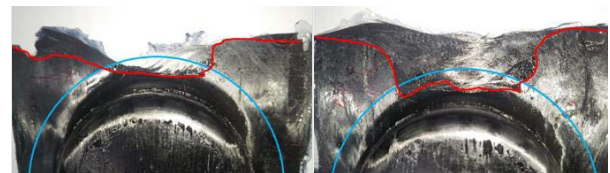
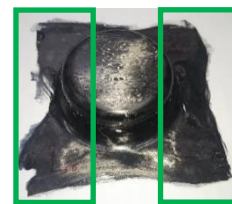


Fig. 11 Molded shape after deep drawing.

(a) Uni-directional prepreg.

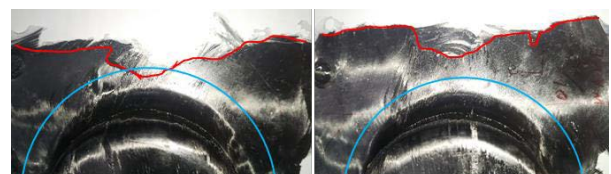
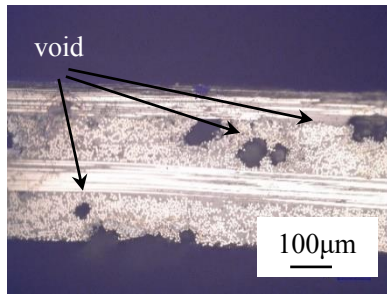
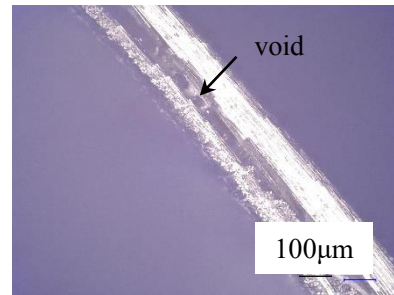


Fig. 12 Molded shape after deep drawing.

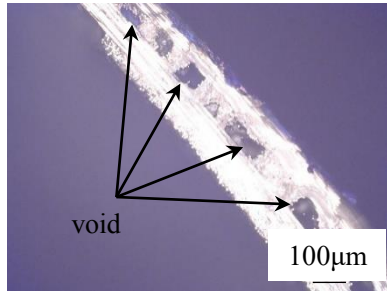
(b) Wavy pattern prepreg.



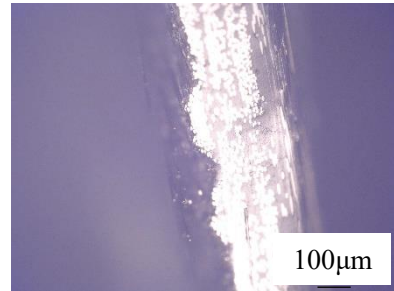
(a)



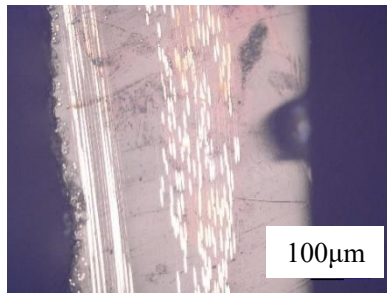
(b)



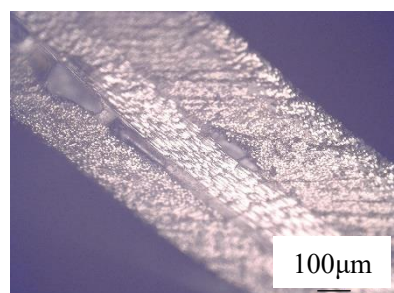
(b)



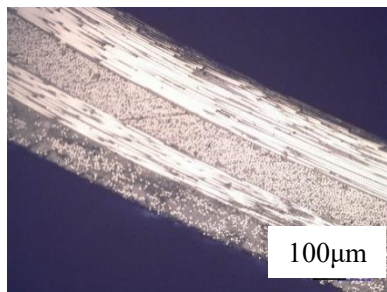
(c)



(c)

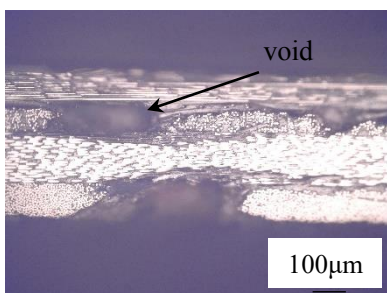


(d)



(d)

Fig.13 Cross sectional observation image of drawing molded shape (UD).



(a)

Fig.14 Cross sectional observation image of drawing molded shape (Wave).

5. 結言

- 1) 本研究にて適切な温度と荷重が制御可能な熱可塑 CFRP 用プレス装置を作成した.
- 2) これまでプリプレグとは異なる屈曲 CF プリプレグを独自に開発し、深絞り成形の可能性について検討した.
- 3) UD プリプレグとの比較から屈曲プリプレグの優位性を外形観察と内部観察を行ったが、屈曲プリプレグの優位性を確認するには至らなかった.

参考文献

- 1) 廣津有記, 熱硬化性 CFRP の深絞り成形性に関する実験的評価および有限要素シミュレーション, 早稲田大学修士論文, 2018.
- 2) 多加充彦, 根田崇史, 山下順広, 熱可塑性 CFRP シートのプレス成形技術の研究, 石川県工業試験場, 平成 24 年度研究報告, 2012.