

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：11501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870260

研究課題名(和文)FRTPのスタンピング成形における樹脂・繊維流動挙動の解明

研究課題名(英文)Elucidation of resin and fiber flow behavior of FRTP in stamping forming

研究代表者

久米 裕二(Kume, Yuji)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：30377890

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)： 輸送機器の軽量化材料として有望な繊維強化熱可塑性樹脂(FRTP)は、その機械的特性が繊維状態によって大きく変化する。ここで、繊維状態は成形時の樹脂流動に大きく影響を受けるが、成形中の金型内部を直接観察できないため不明な点が多い。

本研究では、FRTPのスタンピング成形における樹脂や繊維の流動挙動を明らかにすることを目的に、その可視化手法の開発を行った。その結果、透明ガラス型を用いることで、成形中のFRTPの流動挙動の可視化に成功し、樹脂や繊維の流動挙動を明らかにした。

研究成果の概要(英文)： Fiber Reinforced ThermoPlastics (FRTP) is light weight material for future mobility. Mechanical properties of FRTP is significantly depend on its fiber conditions such as length, orientation and distribution. It is important to observe the resin flow because of the fiber flow and its states are greatly affected by resin flow during stamping forming. However, it is difficult to observe the resin flow directly cause the forming is performed in the metal molds. In this study, the developing of visualization method of interior of the molds is investigated to clarify resin and fiber flow during the forming of FRTP. As a result, developing the methods was succeeded and the flows were clearly visualized.

研究分野：組織制御

キーワード：熱可塑性樹脂複合材料 スタンピング成形 可視化 その場観察

1. 研究開始当初の背景

繊維強化樹脂複合材料は、輸送機器の大幅な軽量化に有望な材料である。その機械的特性は強化材である繊維状態、すなわち、繊維長さや分散状態、配向などに大きく依存する。プリプレグを用いた熱硬化性樹脂の場合、連続繊維を任意の方向に貼って焼き固めるため、これらを高度に制御できるが、生産性の観点から近年盛んに研究されている繊維強化熱可塑性樹脂 (Fiber Reinforced ThermoPlastics: FRTP) の場合、熔融した樹脂を流して成形を行うため、様々な課題が生じる。FRTP 成形では、成形中の繊維長さを保つ場合はスタンピング成形が好ましいとされるが、成形中の樹脂流動に伴う繊維の流動や回転が起こるため繊維状態を任意に制御することは困難である。ここで、成形中にブラックボックスとなる金型内部が可視化できれば樹脂流動や繊維流動の理解が進み、FRTP の利用がさらに促進されると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、FRTP のスタンピング成形において、成形中の金型内部の可視化手法の開発とその応用を目的とする。具体的には、ガラス型を用いた成形を行い、成形中の様子をデジタルカメラでガラス越しに連続撮影することで樹脂流動挙動の観察を行う。また、樹脂流動の可視化実験を発展させるべく、モデル材を用いた繊維流動の可視化についても検討した。

3. 研究の方法

供試材としてポリプロピレン (PP) 単体と、ガラス繊維を不織布にして PP と層状に複合化した GFRTP (Glass Fiber Reinforced Thermoplastic) のスタンパブルシートを 20mm×20mm (厚さ: 3.8mm) に切出して使用した。GFRTP の繊維重量分率は 20wt%, 40wt% の 2 種類を用いた。

図 1 は、開発した成形可視化システムの概略図を示す。治具は万能試験機に取り付けて

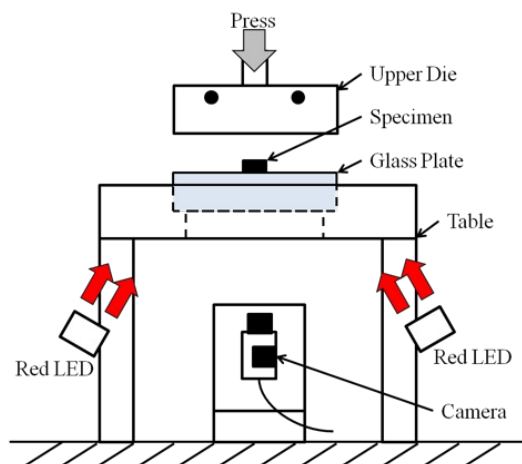


図 1 可視化実験の治工具構成図

使用し、ヒーター内蔵の加圧板、ガラス板、テーブル、デジタルカメラ、照明用の LED で構成される。成形中はガラス板下側に設置したカメラと LabView2015 によって作成したプログラムを用いて、荷重やストロークなどの収集と同時に連続撮影を可能としている。

成形手順として、加圧板内のヒーターと、ガラス板上に置いたラバーヒーターでそれぞれを所定の温度に加熱する。そして、試料を別途加熱した後に、素早くラバーヒーターを取り除いてガラス上面に試料を設置し、ガラスから 1.5mm の高さまで所定のスピードで加圧板を降下させて成形し、約 30 秒保持した後に離型した。

主な成形条件として、型温度 100℃、成形速度が 50, 100, 200, 500mm/min の 4 通りとした。試料は遠赤外線加熱炉で 220℃にて 5 分間加熱熔融させて用いた。

繊維流動の可視化の際は、透明な PP と銅繊維を組み合わせたモデル材料を作成し、同様の成形を行った。

4. 研究成果

図 2 は PP を成形速度 100mm/min で平板成形した際の成形過程の連続写真を示し、図 3 はその時の外形の重心から距離を示す。なお、図 2 および図 3 では、加圧板と密着し変形が始まる時を 0 秒としている。図 2 より 0.5 秒では外形がわずかに大きくなり、四辺が弧を

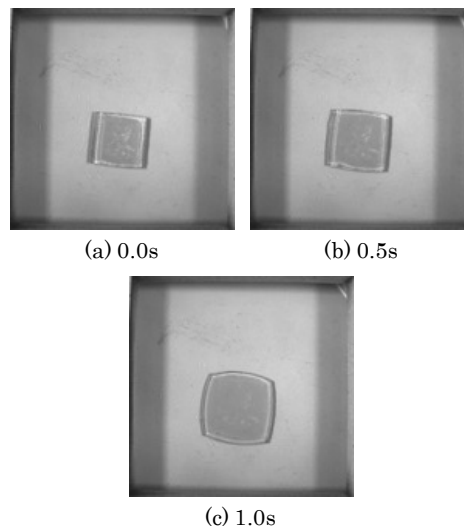


図 2 PP の成形中の写真

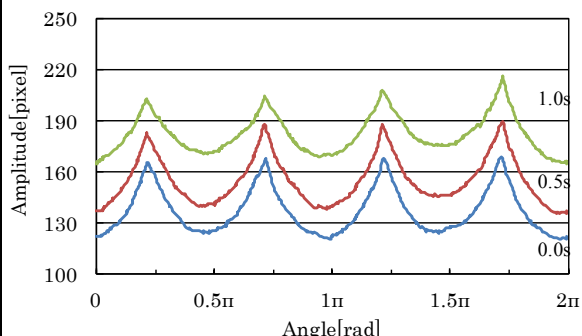


図 3 角度に対する重心と外形の距離

描きつつある。1.0 秒になると成形が進み、辺の張り出しが顕著になり、角も丸みを帯びてきている。図 3 の試料の重心からの外形線の距離においても、成形時間が進むと辺と角部の距離差が縮まっており、成形によって四角が円形状に広がっていくことわかる。図 4 は、スタンピング成形中の樹脂形状の変化過程の模式図を示す。初期の四角形において、一辺の長さと同じ直径を持つ内接円を考える。その内接円内に扇状の微小領域を仮定すると、隣り合った領域が互いに円周方向への流動を妨げるため、半径方向へ優先的に流動する。ここで、内接円と重ならない角部は自由表面が多く、円周方向及び半径方向の流動が生じると考えられる。また、これらの流れは内部から来る半径方向の流動によってさらに広げられて行き、その結果、内接円の拡大とともに角部がなだらかになって、最終的には円形状のなると考えられる。

この様な、PP 単体の流動挙動を踏まえ GF RTP の平板成形を、繊維含有量や成形速度を変化させて検討した。図 5 は GF RTP 40wt% の成形速度 100mm/min で成形した際の成形過程の連続写真を示す。PP にガラス繊維が含有しても、基本的には上述の成形過程を経ると考えられるが、ガラス繊維

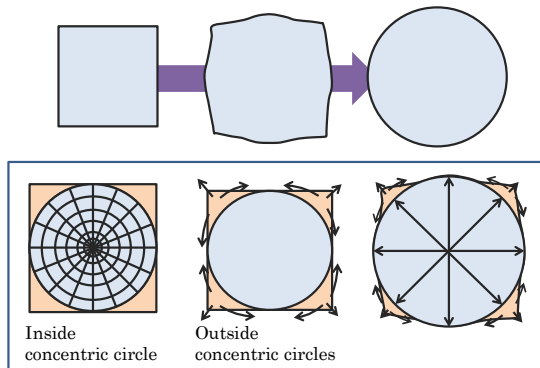


図 4 成形中の形状変化の模式図

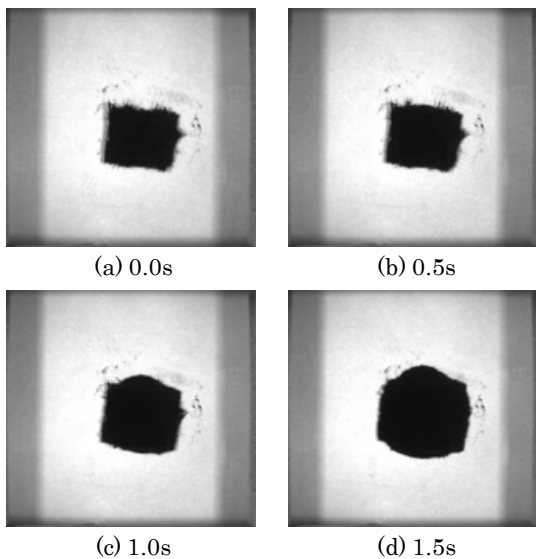


図 5 GF RTP の成形中の写真

維が含有されることにより樹脂の流動は非常に複雑になり、成形の進行に伴う形状変化は少なく、また一部の辺のみが張り出すような局所的な流動になっている。このことは、繊維の絡み合いによる流動の阻害や、繊維含有により熱伝導率が高くなって冷却や固化が促進されたことなどが考えられる。この他、成形速度を変化させた実験結果から、成形速度が速い方が、成形後の形状がいびつになりやすく、成形速度は固化と流動の兼ね合いから最適な値が決まると考えられる。

図 6 は X 線透過下で繊維状態を観察した結果を示す。成形実験結果から予想されたように、流動が優先的に進んだ部位は、繊維の絡み合いが少なく、円周方向に沿って細い繊維が配向していた。しかし、初期の繊維束のほぐれや配向の変化などまでは観察できず、今後の課題として挙げられる。

図 7 は、リブ成形時の連続写真を示す。リブ成形に際しては、フランジ部とリブ部にガラス型を使うことで、フランジへの広がりと同時にリブへの流入挙動が観察できた。本研究で用いた型構造では、フランジの広がりに対して拘束がないため、狭いリブの成形よりもフランジ成形が優位的となる結果となり、

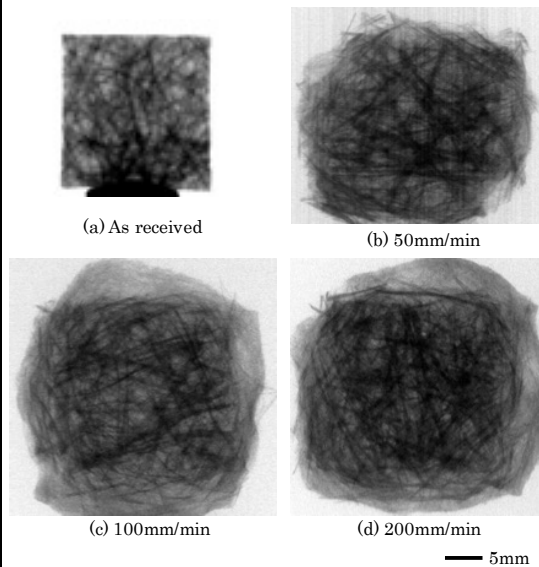


図 6 X 線透過による繊維状態の観察結果

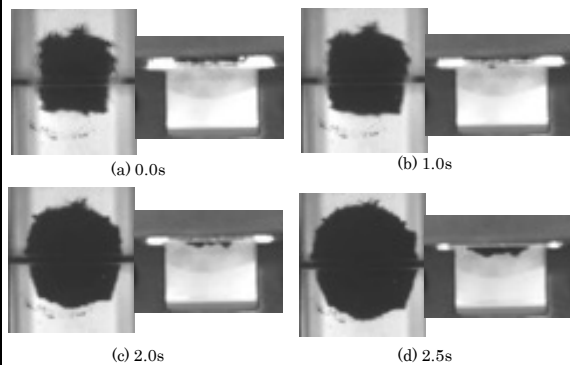


図 7 リブ成形中の写真

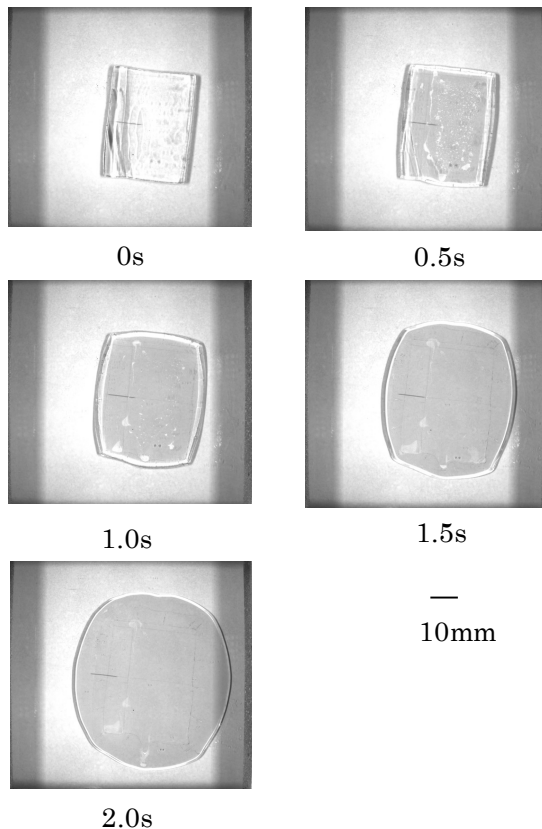


図8 銅繊維とPPからなるFRTPの成形中の写真

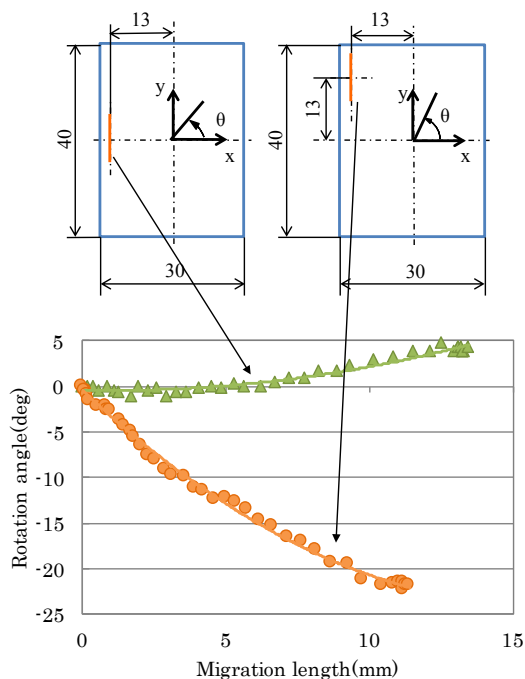


図9 銅繊維とPPからなるFRTPの成形中の写真

今後は実際の成形のようなフランジ部の拘束がある型構造を考案する必要がある。

以上のように、平板及びリブ成形において、本研究で開発した樹脂流動の可視化システムの有用性が明らかとなった。そこで、樹脂

の流動に伴う繊維流動の可視化の可能性を検討するために、銅繊維とPPからなるFRTPを作成し成形を行った。

図8は、銅繊維とPPからなるFRTPの成形中の写真を示す。透明で写っているのが樹脂で、写真中央の細い10mmの細線が銅繊維である。成形が進むにつれて樹脂の広がりと共に、繊維の位置や向きの変化が可視化できている。このような成形に伴う繊維の連続的な移動と回転を定量的に評価するために、画像相関技術を応用したプログラムを開発し、計測を行った。図9は、図中上部に示す銅繊維の配置に対して、成形を行った時の繊維の移動量に対する角度変化を示す。樹脂の流れに対して繊維が移動と回転することがわかり、辺の中央部に設置すると、流動に対して角度がほぼ一定であるのに対し、コーナー部に配置した繊維の場合は、樹脂が長方形から楕円に変化するのに伴った繊維の回転が見られ、繊維は楕円の接線と同じ方向に配向することがわかった。

以上のように、スタンピング成形における樹脂及び繊維の流動挙動の可視化手法が確立できた。今後は、型構造の改良による周囲の拘束がある成形条件や、多数の繊維が混在する時の繊維の流動挙動などの解明が必要と考えられる。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

- ① 菅野雅起, 久米裕二, FRTPの平板成形過程における樹脂の速度分布, 平成28年度日本塑性加工学会東北・北海道支部若手研究発表会, 2016年12月10日, ラフォーレ蔵王(宮城県・刈田郡蔵王町), pp.17.
- ② 菅野雅起, 久米裕二, FRTPの平板成形における樹脂流動の可視化実験, 第67回塑性加工連合講演会, 2016年10月23日, 日本工業大学(埼玉県・南埼玉郡宮代町), pp.351-352.

[その他]

ホームページ等

<http://kume-lab.yz.yamagata-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久米 裕二 (KUME, Yuji)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 30377890