

令和 2 年 9 月 17 日現在

機関番号：52301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06100

研究課題名(和文)テーラードCFRTPのプレス成形における面外せん断とスプリングバックの関係

研究課題名(英文) Relationship between out-of-plane shear and springback in press forming of tailored CFRTP

研究代表者

黒瀬 雅詞 (KUROSE, Masashi)

群馬工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：10280356

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではCFRTPにおけるテーラードブランク材に注目し、差厚位置がブランク材のプレス成形性および成形品のねじり強度に与える影響を調べることを目的として、解析と実験を用いて差厚位置の異なるCFRTPテーラードブランク材のハット曲げ成形を行い、ひずみ分布と成形形状、ねじり強度を評価した。解析および実験から、CFRTPテーラードブランク材は差厚位置をフリー側にするほどプレス成形において厚肉側縦壁面部に局部くびれが発生するため、テーラードブランク材のプレス成形性は差厚位置が断面積の大きくなる側にあるほど良好になり、クリアランスを大きくとる必要があることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

炭素繊維強化樹脂(CFRP)は鋼や軽合金よりも比剛性かつ比強度に優れることから、航空機体だけでなく自動車ボディの材料として注目されている。また、近年では、自動車産業において自動車ボディへの最適な材料配置を可能にするために、異なる厚さの板材を接合したテーラードブランク材をプレス成形して使用する試みも行われている。テーラードブランク材は差厚位置によって成形性が変化するため、差厚位置と成形性の関係性を明らかにする必要があった。さらに、自動車ボディは面内荷重だけでなくねじりによる面外荷重を受けるため、差厚位置の異なる成形品のねじり強度を把握することができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, I focused on the tailored blank material in CFRP and aimed to investigate the influence of the difference thickness position on the press formability of the blank material and the torsional strength of the molded product. Hat bending of CFRP tailored blanks with different thickness difference positions was performed by analysis and experiment, and the strain distribution, forming shape, and torsional strength were evaluated. In the analysis and experiment, the CFRP tailored blank material had a local constriction on the vertical wall surface on the thick side in press forming as the difference thickness position was set to the free side. Therefore, it was shown that the press formability of the tailored blank becomes better as the difference thickness position was closer to the side where the cross-sectional area was larger, and it was necessary to secure a large clearance.

研究分野：工学

キーワード：プレス成形 金型 弾性力学 塑性力学 異方性 成形温度 ねじり

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

炭素繊維強化樹脂(CFRP)は鋼や軽合金よりも比剛性かつ比強度に優れることから、航空機体だけでなく自動車ボディの材料として注目されている。また、近年では、自動車産業において自動車ボディへの最適な材料配置を可能にするために、異なる厚さの板材を接合したテーラードブランク材をプレス成形して使用する試みも行われている⁽¹⁾。ここで、テーラードブランク材は差厚位置によって成形性が変化するため⁽²⁾、差厚位置と成形性の関係性を明らかにする必要がある。さらに、自動車ボディは面内荷重だけでなくねじりによる面外荷重を受けるため、差厚位置の異なる成形品のねじり強度を把握することも重要であるが、これらに関する報告は少ない背景がある。

2. 研究の目的

本研究では CFRP におけるテーラードブランク材に注目し、差厚位置がブランク材のプレス成形性および成形品のねじり強度に与える影響を調べることを目的として、解析と実験を用いて差厚位置の異なる CFRP テーラードブランク材のハット曲げ成形を行い、ひずみ分布と成形形状、ねじり強度を評価した。解析では成形挙動と成形品のひずみ分布を調べ、実験ではスタンパブルシートの作製から成形実験、成形形状測定を行い、差厚位置と成形性の関係性を調べた。さらに、ねじり試験によって成形品の面外せん断荷重に対する強度評価を行い、差厚位置とねじり強度の関係についても検討した。

3. 研究の方法

本研究に使用した成形品モデルを図 1 に示す。成形形状はプレス成形の標準形状であるハット曲げ形状とした。テーラードブランク材の差厚部は図 2 に示すように、凸部 18 mm 幅の外側平面中間の Y 軸線上と中間から X 軸正負方向にそれぞれ 5.6 mm 移動させた 3 通りとした。以下、この各差厚位置を(a)固定側、(b)中間、(c)自由側とする。テーラードブランク材は厚肉側の板厚を 1 mm、薄肉側を 0.5 mm で板厚比を 0.5 とした。

プレス成形型の構成を図 3 に示す。型は、パンチとダイおよびクランプからなり、ダイはハット形状を有する内型と成形時の CFRP の樹脂漏れを防ぐ外型からなるインサート式とした。成形型は、クランプでテーラードブランク材厚肉側を変位拘束し、薄肉側板材がハット形状に入り込む構造とした。各テーラードブランク材の差厚位置に合わせてダイ内型のハット底面部に差厚部を設けた。

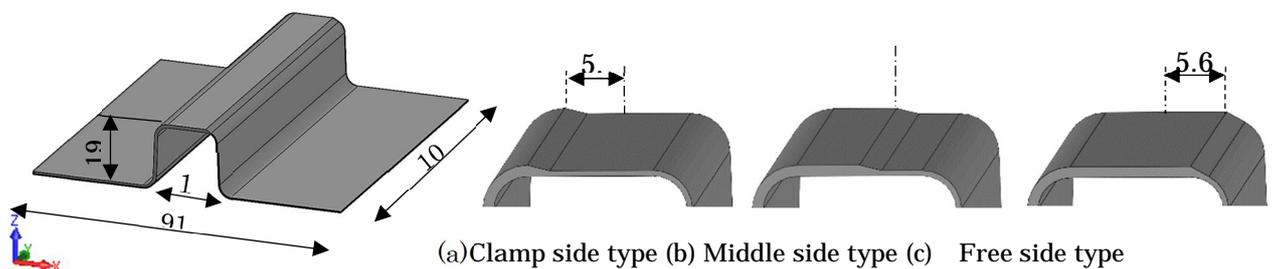


Fig.1 General Hat shaped model Fig.2 Model shape of each different thickness position

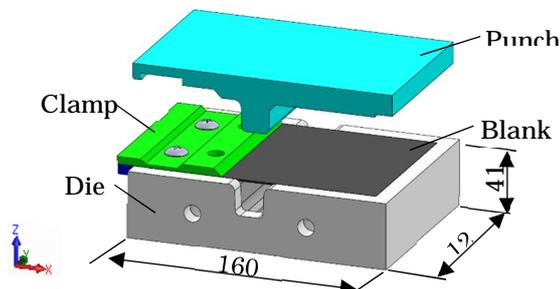


Fig.3 Structure of the press forming die.

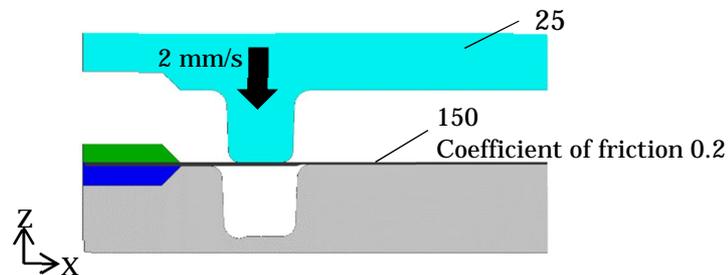


Fig.4 Conditions for press forming analysis.

また、テーラードblank材の差厚位置による成形挙動と成形性の差異を調べるため、板成形解析ソフト Simufact Forming を用いて 2D プレス成形解析を行った。解析断面は図 4 のように成形型中央の XZ 断面とした。型は剛体とし、CFRP テーラードblank材の材料パラメータは直交異方性材料として実験により求めた応力 - ひずみ線図を適用した。プレスモーションは変位制御で行い、パンチとblank材の接触位置を原点としてパンチを下死点まで下降させたのち、60 秒加圧保持させることとした。パンチとダイのクリアランスを厚肉側の板厚に対して 100, 120, 140, 160, 180 %と変化させて、各blank材の成形挙動と成形品の相当塑性ひずみ分布を調べた。

実験においては各差厚位置の成形品形状を確認するため、図 5 のようにプレス成形型を樹脂 3D プリンタで作製し、解析と同様なプレスモーションで成形実験を行った。パンチとダイのクリアランスは、テーラードblank材厚肉側板厚の 160 %を採用した。供試材は強化繊維に繊維配向角 ± 45 度の炭素繊維 3K 綾織、母材樹脂にアクリル樹脂(PMMA)を用いた CFRP プリプレグとし、図 6 のように薄肉側に 1 層、厚肉側に 2 層積層させて差厚位置の異なる所定のテーラードblank材を作製した。成形機は SIMADZU Autograph AG-IS50kN を用い、blank材は付属の恒温槽を利用して高温保持した。成形はblank材が 240 で平衡になった時点で恒温槽から取り出し、型に設置して薄肉側が 150 まで低下した時に室温で成形を行った。そして、下死点で 60 秒加圧保持した後、型から取り出し、3 次元測定機で測定し、成形形状を比較した。



Fig.5 Press forming die made by 3D printer.

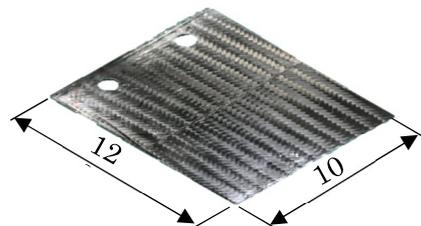


Fig.6 Dimension of CFRP tailored blank.

4. 研究成果

CAE の解析結果からは、図 7 にクリアランス 120 %におけるストローク 15.5 mm 時点の(a)固定側、(b)自由側の圧縮ひずみ分布を示す。両者を比較すると固定側では圧縮ひずみはほとんど発生せず差厚部がハット底面部と隙間を有しながら入り込めていた。図は省略するが、差厚位置が中間の場合でも同様な結果が得られた。しかしながら、自由側では差厚部がダイの右側縦壁面部で詰まり、ハット底面部と隙間はなく、左側の厚肉側縦壁面部では拡大して示すように局部くびれが発生していた。このことから、各差厚位置においてクリアランスの大きさにより成形不良が生じる可能性があることが分かった。そこで、各blank材に図 7 のくびれ発生位置に相当する評価点を設定し、各ストローク位置の圧縮ひずみ履歴を差厚位置ごとで整理した。その結果を図 8 に示す。固定側ではどのクリアランスでも圧縮ひずみはほとんど増加しないのに対し、中間では 100%、自由側では 100%、120%で圧縮ひずみが増加する傾向が見られた。したがって、差厚位置を自由側にするほどクリアランスを大きくとる必要があると考える。

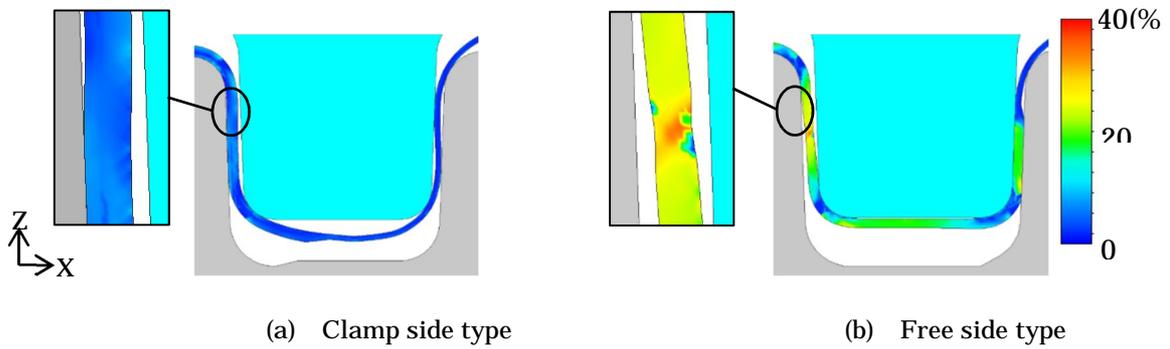


Fig.7 Compressive strain distribution at Stroke 15.5 mm.

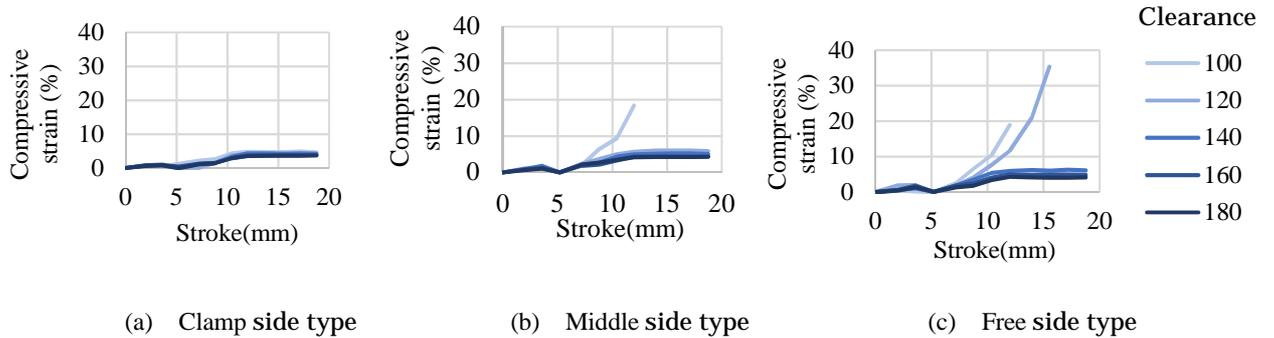


Fig.8 Compressive strain history of thick vertical wall.

さらに成形時のひずみに差異が見られたことから、成形品のひずみ分布を比較する。図9にクリアランス 160%における成形後の凸平面部の相当塑性ひずみ分布を示す。固定側から自由側になるほど差厚部に相当塑性ひずみが集中し、自由側では 100 %に近い塑性ひずみも生じており、差厚部で大きなずれを生じる可能性が考えられる。そこで、クリアランスごとに差厚部に生じる最大相当塑性ひずみの違いを図 10 のように整理したところ、クリアランスによって最大相当塑性ひずみ値に差異があることが分かった。これは、テーラードblank材の差厚部がダイの差厚部まで到達せずに成形され、そのずれの量に差異があるためであり、各成形品の厚肉側が引張られて成形されたことが考えられる。

そこで、クリアランス 160%に注目して各成形品の厚肉側縦壁面部の外表面に生じる最大相当応力を図 11 に示すと、差厚位置が自由側になるほど厚肉側縦壁面部の相当応力は増加した。したがって、差厚位置が自由側になるほど厚肉側が引張られて成形されるため、成形性が良好になると考えられる。

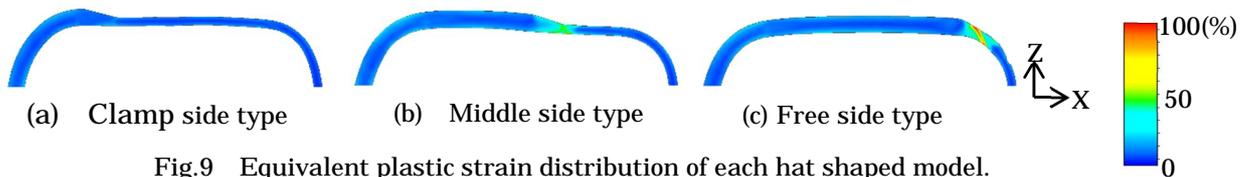


Fig.9 Equivalent plastic strain distribution of each hat shaped model.

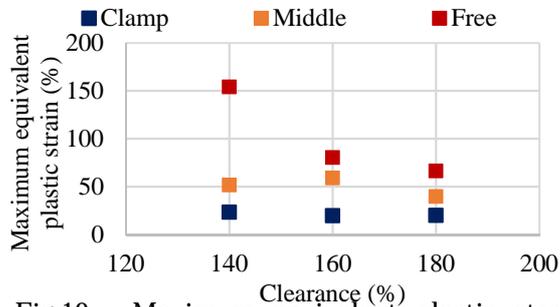


Fig.10 Maximum equivalent plastic strain against clearance in different thickness

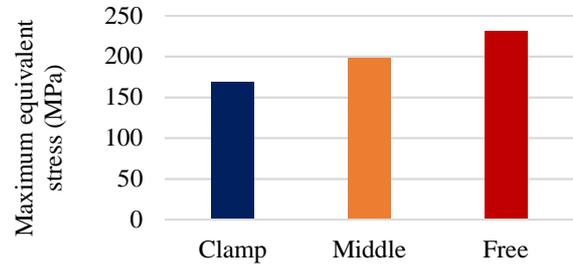


Fig.11 Maximum equivalent stress of thick vertical wall in different thickness part.

実験結果からは、実験により得られた各差厚位置の成形品を図 12 に示す。各成形品の差厚部は狙った位置で成形できたが、成形形状に大きな差異があった。3次元測定機を用いて成形品の中央断面形状を測定した結果を図 13 に示す。厚肉側の縦壁面部はどの差厚位置でも同様な形状になっているが、薄肉側縦壁面部では差厚位置が固定側から自由側になるほどスプリングバックが小さくなっており、フランジ部にもスプリングバックが生じていることが分かる。ここで、差厚位置が自由側になるほど成形品の断面積は大きくなることから、成形品のスプリングバック角と関係性があると考えた。そこで、図 1 のような理想形状における各成形品の XZ 面の断面積を横軸にとり縦壁面部と薄肉側フランジ部のスプリングバック角の関係を調べた。その結果を図 14 に示すと、断面積の大きい自由側になるほど薄肉側の縦壁面部とフランジ部のスプリングバック角がともに減少していることが分かる。したがって、差厚位置を断面積の大きい自由側に設けるほど CFRP テーラードブランク材の成形性が良好になると考えられた。



(a) Clamp side type

(b) Middle side type

(c) Free side type

Fig.12 Hat shaped products of each different thickness position.

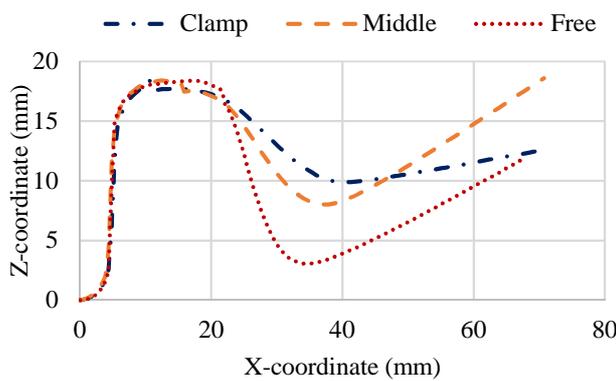


Fig.13 Shape of the central cross section of each product. thin flange.

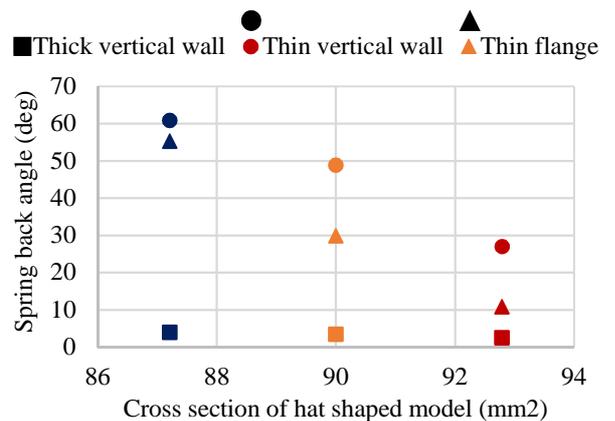


Fig.14 Spring back of vertical walls and thin flange.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小間遼平, 黒瀬雅詞, 鍋木哲志
2. 発表標題 差厚位置の異なるCFRPテーラードブランク材のプレス成形
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会第58回学生員卒業研究発表講演会論文集CD
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小間 遼平, 黒瀬 雅詞, 鍋木 哲志
2. 発表標題 CFRPテーラードブランク成形材のねじり強度に及ぼす接合位置の影響
3. 学会等名 日本機械学会関東支部第24期総会講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考