

熱可塑性CFRPを用いた 自動車車体部品のプレス成形技術に関する研究

多加充彦* 木水貢* 廣崎憲一*
来丸秀俊** 来丸雅信** 桜井義一** 南俊彦** 北文雄***

本研究は、自動車車体部品に必要な強度や剛性を有する熱可塑性CFRP(CFRTP)プレス部品の製造技術開発を目的に、熱可塑性CFRP成形に適した金型設計技術とサーボプレスのスライド制御技術について検討した。具体的には、Bピラー縮尺モデルを対象に冷却による材料の収縮に対応して適正な圧力を与えることができる金型を試作し、熱可塑性CFRPのプレス成形実験により加圧性能を評価した。その結果、駆動カムにより加圧方向を変換する機構が縦壁加圧に有効であることが確認でき、さらに表面の光沢性に優れ、鋼板材料と同等以上の剛性と強度を有する熱可塑性CFRP部品の成形条件に関する知見が得られた。
キーワード：熱可塑性CFRP(CFRTP)、プレス成形、金型

Study on Press Forming Techniques of Automobile Body Parts Using Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic

Mitsuhiko TAKA, Mitsugu KIMIZU, Kenichi HIROSAKI,
Hidetoshi RAIMARU, Masanobu RAIMARU, Gichi SAKURAI, Toshihiko MINAMI and Fumio KITA

In this study, we investigated techniques for the mold design and slide motion control of servo-presses suitable for the press forming of carbon fiber reinforced thermoplastic (CFRTP), in order to develop manufacturing techniques for CFRTP pressed parts that possess the strength and rigidity required for automobile body parts. Specifically, we developed a mold which can apply the appropriate pressure according to the resin cooling shrinkage in a B-pillar reduced-scale model, and evaluated pressurizing performance through press forming experiments. As a result, we confirmed the mechanism using a drive cam was effective for vertical wall pressurization, and furthermore obtained knowledge about the forming conditions of CFRTP that possesses an excellent gloss surface and the same or greater stiffness and strength than steel.

Keywords : CFRTP, press forming, mold

1. 緒 言

近年、自動車等の部品軽量化のニーズに対応するため、炭素繊維強化複合樹脂(CFRP)の利用拡大が期待されている¹⁾。そのため、本県では炭素繊維に熱可塑性樹脂を複合させたCFRP(以下、熱可塑性CFRP)のシート状の中間基材を用いたプレス加工技術の研究開発を行ってきた²⁾。

熱可塑性CFRPの中間基材は、炭素繊維に樹脂が含浸された状態で提供されており、成形前に可塑化温度に加熱すれば、余熱によりプレス成形することができるため、短時間成形が可能である。

しかし、熱可塑性CFRPに用いられる樹脂は、温度や圧力に依存する性質を持つことから、材料の加熱温度および金型内の圧力の違いが樹脂の流動性や密度等に影響し、成形品の品質のバラツキだけでなく、成形不良や強度・剛性不足等の問題が生じ易い。

そのため、熱可塑性CFRPが自動車車体用の構造部材として採用されるには、プレス成形した熱可塑性CFRP部品が鋼板部品と同等以上の強度や剛性を有することが求められており、このような課題を解決することが急務である。本研究では、自動車車体部品に対応した熱可塑性CFRPの成形金型とサーボプレスによるスライド制御技術を確立することを目的に、モデル部品のプレス成形実験と評価を行い、温度や圧力によ

*企画指導部 **北陸プレス工業(株) *** (有)北鉄工所

り変化する熱可塑性CFRPの樹脂特性に対応して適正に動作する金型設計やプレス制御技術について検討した。

2. 熱可塑性CFRPの加熱と搬送

本研究では、熱可塑性CFRPの加熱温度の安定化とプレス成形時間の短縮を図るため、図1に示すような材料設置後、加熱から金型への搬送・投入を自動で行う装置を試作し、サーボプレス((株)アマダ・SDE-3030)と連動させたプレス成形システムを用いた。

加熱装置は、赤外線ヒータを用いた両面加熱方式であり、放射温度計により材料表面温度をセンシングしながらヒータ出力の制御を行っている。そのため、加熱温度と加熱時間の設定により、図2に示すようなヒータの立ち上がりは最大出力で加熱し、ある温度に達するとヒータ出力の強弱を繰り返すことで過度の温度上昇を抑えながら、緩やかに設定温度に近づけた。

搬送装置はサーボモータ駆動により、設定した位置へのステージ移動・停止を高速で行うことができる。また、ステージが金型上に到達すると材料の先端部分を把持し、ステージのみが戻る機構を組み込み、軟化した材料投入の自動化が可能になっている。

プレスの作動は、ステージの戻りに連動して自動で開始され、同一条件での加工が可能である。

3. 金型とプレス制御

3.1 成形モデル

成形対象の自動車車体部品として、Bピラーを選定した。この部品はフランジを有するハット型断面構造となっており、ルーフを支え、側面衝突に対する衝撃吸収部材としての強度と剛性が重要な部品である。

Bピラーは非対称で部位により絞り深さの異なる複雑な形状を有することから、成形モデルは現行車の三次元データを元に簡略化して作成した。ただし、プレスの加圧能力や使用できるシート材の大きさから、図3に示すような実部品の寸法を3分の1に縮尺した。

3.2 金型の設計・試作

熱可塑性CFRPの金型には、成形面がモデル形状となるパンチとダイの形状を有し、プレスにより金型内部で形状を付与した後、冷却に伴う材料の収縮に応じて成形品を加圧追い込みできる構造が求められる。

Bピラー縮尺モデルはフランジを有するため、形状

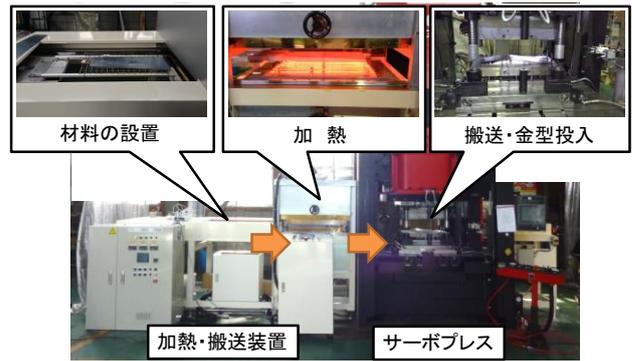


図1 プレス成形システム

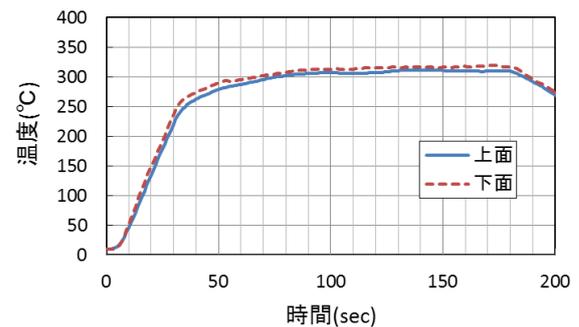


図2 CFRP加熱時の温度変化

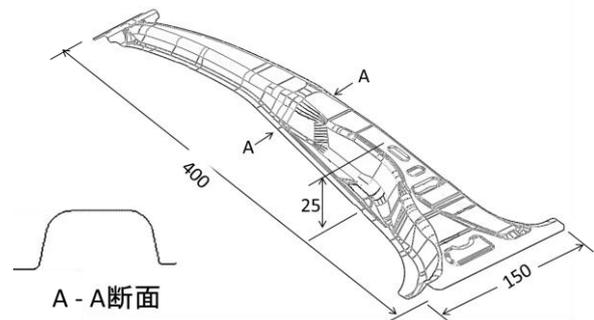


図3 Bピラー縮尺モデル

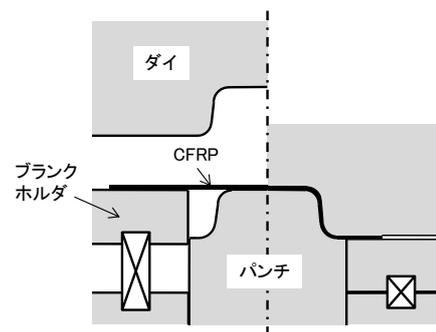


図4 金型の基本構造

付与の際、成形中心部に向かって材料が引き込まれることから、フランジ部のしわ押え力を調整できるように図4に示すようなダイ(上型)、パンチ(下型)および可動式のブランクホルダからなる金型構造とした。

パンチとダイは、図3に示した成形モデル形状をもとに作製した。本研究では、板厚1mmと1.5mmの材料での成形実験を行うため、ダイ寸法形状を基準にしてそれぞれの板厚の収縮量と加圧による押込量を考慮した2つの寸法形状のパンチを作製した。

また、CFRPの樹脂の流動性は、金型温度に影響することから、上下の金型内部にヒータと温度センサを挿入し、コントローラにより常温から150℃までの任意の温度で一定に調整できるようにした。

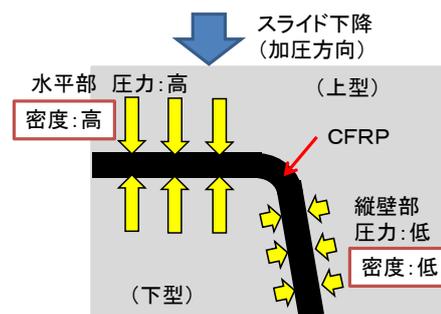


図5 金型内に作用する圧力状態

3.3 成形品縦壁部の加圧方法

Bピラーのような縦壁部のある部品をプレス成形した時は、図5の模式図に示すような圧力状態が金型内に作用する。加圧力はスライド下降の一方向であるため、水平部では垂直の加圧力を受けて高い圧力が加わるが、縦壁部では傾斜角に応じた分力しか作用せず、低い圧力となる。熱可塑性樹脂の密度は圧力依存性をもつことから³⁾、このように部位により圧力が異なると成形品の密度が不均一となって、力学的特性に影響すると考えられる。

そこで、縦壁部にも水平部と同等の圧力を与えるため、図6に示すようにダイを割型にして、両側に駆動カムを挿入した縦壁加圧機構を考案した。カムの上端がスライドの下降により押し込まれると、ダイは水平方向に移動して隙間が閉じる。これによりダイの成形面が加圧される仕組みである。

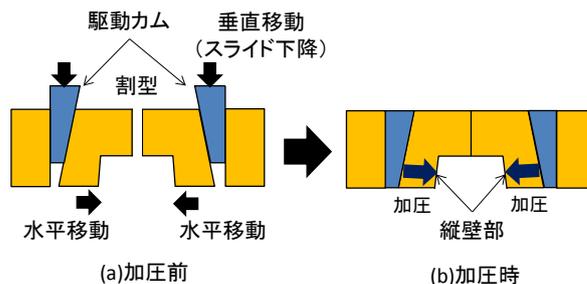


図6 縦壁部の加圧機構

3.4 プレスのスライド制御の設計

サーボプレスのスライドモーションは、図7に示す板厚1mmの熱可塑性CFRPを80℃の熱盤金型でプレス加圧したときの温度測定結果をもとに設計した。図中の材料温度は、加圧開始直後から急速に低下し、その後緩やかに金型温度に近づく変化を示している。したがって、スライドを材料の固化温度に達する前に形状を付与するよう下死点まで下降させ、その後、材料温度が一定になるまで下死点保持するような制御が必要である。

そこで、図8に示すようにスライド開始位置は、時間短縮のため必要最小限の高さに設定できる振り子モーション機能を用いて200mmに設定し、スライド下降速度はプレスの最大速度30SPMとした。これにより、上死点(高さ300 mm)までスライドが戻るクランクモーションに比べ、約0.4秒下降時間が短縮される。

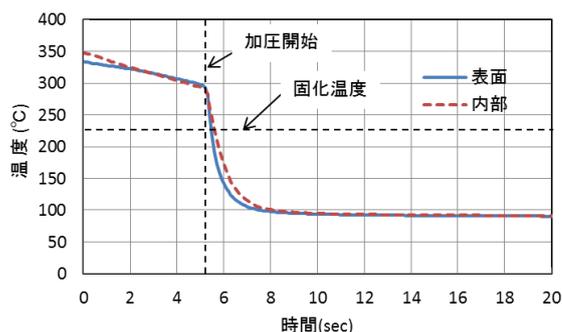


図7 プレス加圧時の熱可塑性CFRPの温度変化

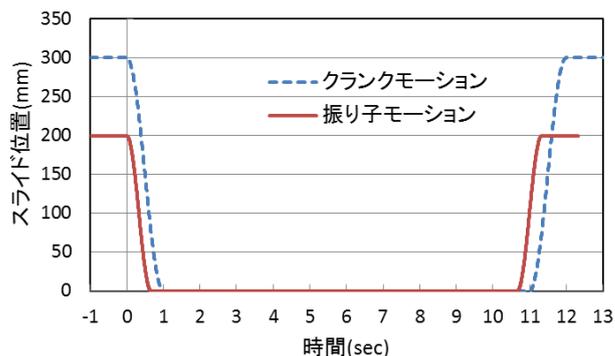


図8 プレスのスライドモーション

また、図7で10秒以降の温度変化がほとんどみられないことから、下死点保持時間を10秒とした。

4. 実験方法

4. 1 プレス成形時の加圧力測定

熱可塑性CFRP成形用に試作したBピラー縮尺モデル金型の加圧性能とスライド制御の適正を評価するため、プレス成形実験を行い、荷重計により成形中の加圧力を測定した。

材料には、板厚1mmで3K綾織の炭素繊維織物にポリフェニレンサルファイド(PPS)樹脂を複合させたCFRPシート材 (BOND LAMINATE・TEPEX dynaline209)を用い、図9に示すような寸法形状に裁断した。

材料の加熱は、プレス成形システムにより加熱温度330℃、加熱時間120秒の設定で行い、加熱終了後、搬送時間5秒で金型投入した。

プレス加工は、金型温度を80℃に設定し、図8で示したスライドモーションで行った。

4. 2 成形性と形状凍結性の評価

成形品の成形性評価は、10mm間隔の格子線を描いたシート材による成形実験を行い、成形品の格子の変形状態や表面性状の観察により行った。

また、下死点保持による形状凍結性を評価するため、図10に示すような成形品フランジ部のA～Eの5箇所の板厚測定および成形品下端面を基準に75mm、212mm、325mmの位置での輪郭形状測定を行い、金型形状に対する形状偏差を求めた。

4. 3 縦壁加圧法の評価

カムを駆動させた場合(縦壁加圧有り)と駆動させない場合(縦壁加圧無し)の条件で成形実験を行い、得られた成形品について水平部と縦壁部の表面状態および力学的特性の比較評価を行った。

ここで、力学的特性の評価は図11に示すような成形品の水平部と縦壁部から試料を採取し、板厚測定と三点曲げ試験により曲げ弾性率および曲げ強度を求めた。

4. 4 成形品の力学的特性評価

鋼板品と同等以上の強度と剛性を有した熱可塑性CFRPの成形条件に関する知見を得るため、繊維配向[0/90]°及び[±45]°で切り出した板厚1mmシート材、[0/90]°で切り出した板厚1.5mmシート材の3種について成形実験を行った。

強度試験は、図12に示すように成形品上端と下端部を単純支持し、側面衝突を想定した下端部から110

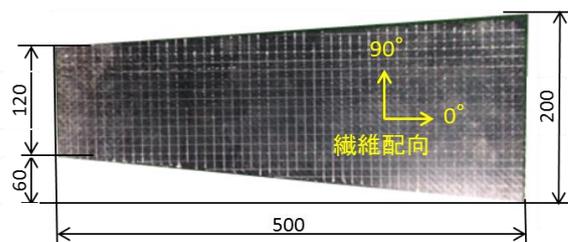


図9 シート材の寸法形状

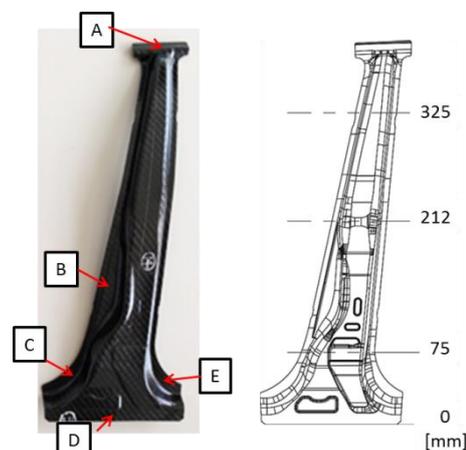


図10 成形品の板厚測定箇所と輪郭形状測定位置



図11 試料採取箇所

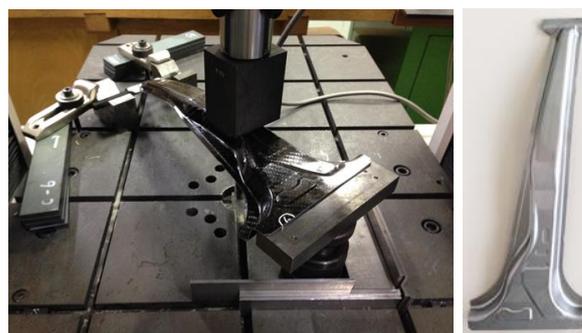


図12 成形品の強度試験と比較用の鋼板部品

mmの位置にR75mmの治具により試験速度5mm/minで荷重を与える条件で行った。得られた荷重-たわみ曲線から剛性と最大荷重を求め、板厚0.7mmの鋼板(材質: SPCC)部品(図12右)の場合と比較した。

5 結果と考察

5.1 プレス成形時の加圧力測定

スライドの下死点位置調整により、成形面全体が樹脂に覆われ、光沢表面が得られた条件で成形した時の加圧力変動を図13に示す。加圧力は下死点到達時に最大となり、その後わずかに低下するが、下死点保持の間はほぼ一定である。加圧力が低下する原因は、材料の冷却収縮を生じたためと考えられるが、低下の程度は僅かであり、設計したスライド制御が熱可塑性CFRPの冷却に伴う収縮に追従して、加圧力を維持した成形が可能であることが確認された。

5.2 成形性と形状凍結性の評価

図14に離型直後の成形品の外観を示す。表面には、成形品の縦壁部やR部を形成するために周辺材料が引き込まれているのが観察された。ただし、縦壁部やR部の格子に大きな乱れはみられず、スムーズな材料の引き込みによって形状付与された。成形品の表面光沢の状態から、周辺材料が引き込まれた後に成形部が加圧されていると考えられ、試作した金型は成形に適正なタイミングで作動していた。

フランジ部の板厚は、図15に示すように5箇所いずれもほぼ1mmであり、適正な加圧押し込みがなされていることが確認された。

金型形状を基準に測定したCFRP成形品輪郭の形状偏差を、鋼板(SPCC)の成形品の場合と並べて図16に示す。ここで、図中の表示は5倍に拡大されている。CFRP成形品の輪郭は、いずれの位置においても金型形状に沿った形状凍結がなされていることがわかる。ただし、CFRPの偏差は、SPCCに比べいずれも大きく、特に縦壁部やR部での偏差が大きくなる傾向があった。この原因は部位による圧力差や離型後の成形品の熱変形等が影響していると考えられ、形状精度向上のための対策が必要である。

5.3 縦壁加圧の評価

縦壁加圧の効果について、加圧有りとし無しの条件で成形した縦壁部表面状態を図17に、縦壁部の板厚、曲げ弾性率、曲げ強度を水平部の値で除して比較した結果を図18に示す。縦壁加圧無しの場合は表面に光沢がなく、板厚は水平部に比べて20%以上厚い。また、曲げ弾性率と曲げ強度は、いずれも水平部の70%台となった。これに対し、縦壁加圧有りの場合は光沢表面が

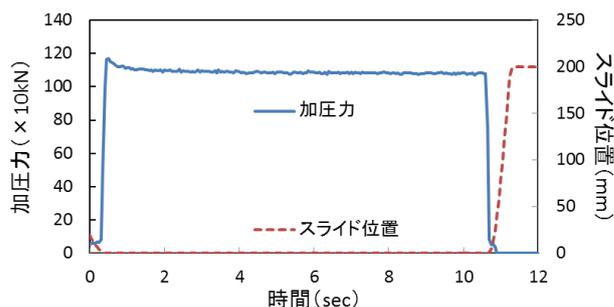


図13 成形中の加圧力変動



図14 離型直後の成形品の外観

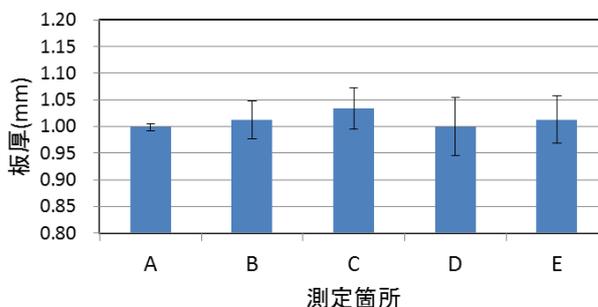


図15 成形品の板厚測定結果

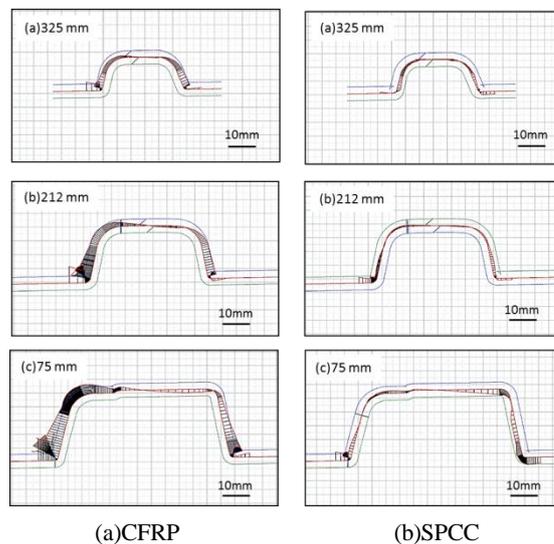


図16 金型形状に対する成形品の輪郭形状偏差

得られ、板厚は水平部とほぼ同じである。曲げ弾性率と曲げ強度はともに水平部の90%以上で、力学的特性の異方性は小さかった。よって、縦壁加圧は成形品部

位の強度・剛性の均一化に有効であることが確認された。

5. 4 成形品の力学的特性評価

図19に各条件で作製した成形品の荷重-たわみ曲線を示す。板厚1mmのCFRP成形品の最大荷重は、板厚0.7mmのSPCC材に近い値が得られているが、比例域の傾きから求めた曲げ剛性では、SPCC材の約40%である。曲げ剛性は、材料の弾性率と断面二次モーメントの積で表される。鋼材の弾性率約200 GPaに対し、熱可塑性CFRPの弾性率は1/5程度であり、鋼板と同等の剛性を与えるためには断面二次モーメントを約5倍以上にする必要がある。CFRPの板厚を1.5mmにするとSPCC材の剛性とほぼ等しい値が得られ、比例限度は約1.8倍、最大荷重は2倍以上となった。

繊維配向の影響では、 $[\pm 45]^\circ$ の成形品は $[0/90]^\circ$ の成形品に比べ、曲げ剛性は約20%、最大荷重は約10%低下し、力学的特性の異方性がみられた。このことは、同じ断面二次モーメントをもつ構造体であっても、繊維配向に起因する力学的特性の異方性により剛性や強度が低下することを示している。

以上の結果から、熱可塑性CFRPの成形においては、成形品に求められる断面二次モーメントと等しくなる板厚のシート材を用い、成形品の負荷形態を考慮した繊維配向に板取りすることが重要である。

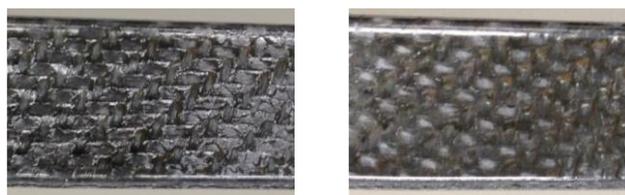
6. 結 言

Bピラー縮尺モデルを対象にした金型のプレス成形実験および成形品評価を行い、冷却により収縮する熱可塑性CFRPに対して適正な圧力を与える金型構造やプレス制御技術について検討し、以下の結論を得た。

- (1)カム駆動による縦壁部加圧機構を付与した金型は、熱可塑性CFRPの成形品質を改善し、優れた表面状態と部位における強度異方性の小さい成形品が得られる。
- (2)鋼板材料と同等以上の剛性と強度を有する熱可塑性CFRP部品の成形のためには、断面二次モーメントに影響する板厚選定と力学的特性に異方性を与える繊維配向の両方についての考慮が重要である。

謝 辞

本研究は、平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事



(a)縦壁加圧無し (b)縦壁加圧有り

図17 成形品表面の比較

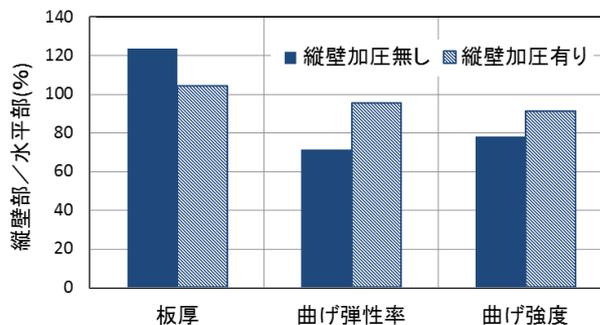


図18 縦壁部と水平部の特性比較

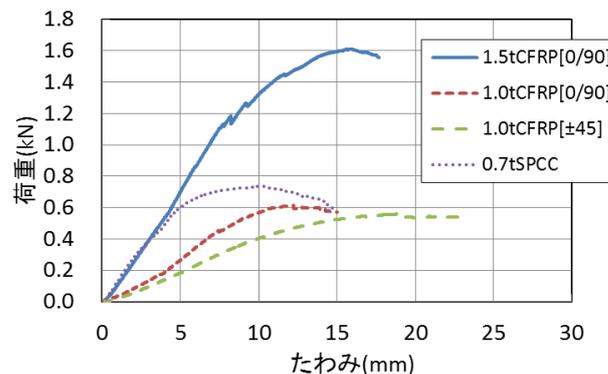


図19 荷重-たわみ曲線の測定例

業(経済産業省)の委託を受け、北陸プレス工業(株)、(有)北鉄工所との共同研究の一環として実施した。記して関係諸氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社)日本機械工業連合会、(財)次世代金属・複合材料開発協会、平成19年度熱可塑性樹脂複合材料の機械工業分野への適用に関する調査報告書、104p.
- 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. 石川県工業試験場報告. 2012, no.62, p.1-4.
- 3) 小西研一. 特集, ここまできた素形材分野のCAE; 三次元射出成形CAEの最新動向. 素形材. 2008, vol.49, no.5, p.29-32.