

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月3日現在

機関番号：34310
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23760102
 研究課題名(和文) 炭素繊維強化熱可塑性樹脂の接合支援材料と直接通電抵抗加熱を用いた接合手法の開発
 研究課題名(英文) Development of welding method and heating element by using direct resistant heating for carbon fiber reinforced thermoplastics
 研究代表者
 田中 和人 (TANAKA KAZUTO)
 同志社大学・生命医科学部・教授
 研究者番号：50303855

研究成果の概要(和文)：

熱可塑性樹脂をマトリックスとする炭素繊維強化熱可塑性樹脂複合材料(CFRTP)はリサイクル性、生産性、耐衝撃性に優れていることから自動車部品への利用拡大が期待される材料である。複合材料は成形時には複雑な構造を一体化できるというメリットを持つが、自動車などを組み立てる際には接合箇所は依然多く存在し、接合技術の開発が急務である。そこで、本研究では、抵抗加熱媒体として強化繊維である炭素繊維に着目して、直接通電抵抗加熱を用いた接合手法の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：

Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics (CFRTP) is anticipated to be used for automotive parts due to their recyclability, ease of production and resistance to impact. Although composite materials have the advantage that the complex structure can be integrated when being molded, a lot of joints exist for automotive parts and welding techniques should be investigated. In this study, a new welding method using direct resistance heating of carbon fibers is developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：複合材料，炭素繊維，熱可塑性樹脂，直接通電抵抗加熱，接合，溶着

1. 研究開始当初の背景

熱可塑性樹脂をマトリックスとする炭素繊維強化熱可塑性樹脂複合材料(CFRTP)は耐衝撃性、リサイクル性、生産性に優れていることから自動車産業や航空機産業において利用拡大が期待される材料である。複合材料は成形時には複雑な構造を一体化できるというメリットを持つが、自動車などを組み立てる際には接合箇所は依然多く存在する。CFRTPの接合技術として、リベット締結などの機械的接合、接着剤による化学的接合、溶着などが開発されている。これらの接合技術の中で接合時間、接合強度を考慮するとCFRTPの接合には溶着が適した技術と考えられ、レーザー、超音波などによって発生する熱を利用するものが開発されている。しか

し、レーザー溶着法は材料の透過吸収特性を利用して溶着を行うため、材料に制限があり、超音波溶着法では、溶着する部材ごとに超音波を発振するシステムが異なるため、加工の自由度が制限されるという欠点を持つ。

一方、直接通電抵抗加熱溶着法は通電による抵抗加熱媒体の発熱を利用する方法であるため、溶着工程が簡易的であり低コストでの溶着が可能である。既存の技術としては、金属メッシュを用いた方法が実用化されているが、金属メッシュ利用による重量増加や樹脂と金属メッシュ界面間での離が懸念されている。

2. 研究の目的

抵抗加熱媒体として強化繊維である炭素繊維に着目して、直接通電抵抗加熱を用いた

接合手法を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 供試材

PAN系炭素繊維24Kを22mmに開織加工した開織糸(日本特殊織物)から、幅12.5mm、繊維方向85mmに切断した繊維束を、直接通電の抵抗加熱媒体として利用した。接合部のマトリックスには、PA6(1013B, 宇部興産)を目付50g/m²の不織布(クラレ試作品)に加工したものを用いた。被溶着複合材料には、PAN系炭素繊維をポリエステル縫糸によってステッチしたノンクリンプファブリック(Non Crimp Fabric: NCF, 300g/m², 積層構成[0°/90°])を強化材として、接合部のマトリックスと同じPA6不織布を用いて、厚さが2mm、繊維体積含有率(V_f)が50%となるように、成形温度280°C、圧力2.0MPa、成形温度保持時間120sとして成形を行った。この成形した平板からウォータージェット加工により100×25mmの試験片を切り出し、被溶着材とした。

(2) 炭素繊維束の加熱特性評価

抵抗加熱媒体となる炭素繊維束の直接通電抵抗加熱による加熱特性の評価を行うため、電源装置(T162-6014AAH, サムウェイ)とインピーダンス変換装置(T010-6012A, サムウェイ)を用いて、電極に炭素繊維束を接続し、直接通電下における加熱特性を測定した。電源の周波数は700kHz、入力電力は0.1kWとした。

炭素繊維束に対して通電を行い、試験片中央部の温度が250°Cに到達した時点での温度分布をサーモグラフィ(NEC Avio, TVS-500)により測定した。また、炭素繊維束にK型熱電対を取り付け、グラフィックレコーダ(オムロン, Portable Multi Logger)を用いて温度を記録した。

(3) 直接通電抵抗加熱溶着

直接通電抵抗加熱溶着装置の外観を図1に示す。電極を取り付けた自作の試験片保持部が精密万能試験機オートグラフ(AGX-100kN, 島津製作所)に取り付けられており、クロスヘッドに取り付けられた圧子で加圧する構

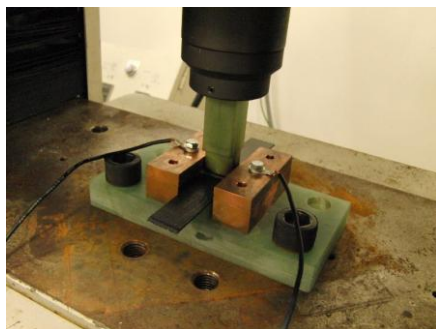


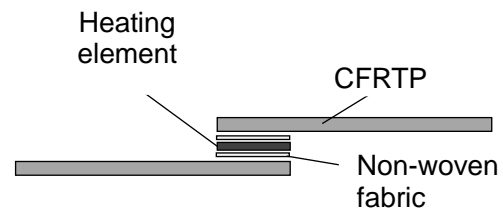
図1 直接通電抵抗加熱溶着装置

造となっている。供試材は、図2(a)に示すように、加熱媒体となる炭素繊維束と樹脂不織布を積層したものを被溶着材であるCFRTPの間に挿入し、炭素繊維束に直接通電するとともに加圧し溶着する構造となっている。なお、炭素繊維束への通電には加熱特性評価を行ったものと同様の電源装置とインピーダンス変換装置を用いた。

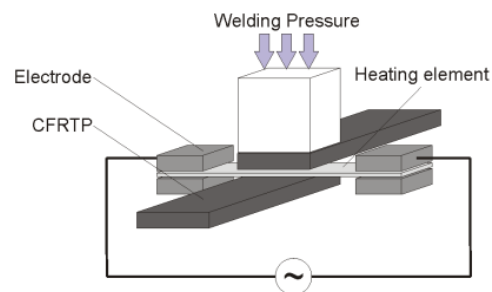
各試験片の溶着条件を表1に示す。溶着圧力および溶着温度保持時間が接合強度に及ぼす影響を明らかにするため、溶着圧力は0.1MPaから2.0MPaまでの5条件、溶着温度保持時間は、0sから120sまでの4条件で溶着実験を行った。

表1 溶着条件

Specimen	Power [kW]	Duration [s]	Pressure [MPa]	
CF/PA1	0.1	60	0.1	
CF/PA2			0.5	
CF/PA3			1.0	
CF/PA4			1.5	
CF/PA5			2.0	
CF/PA6			0	1.0
CF/PA7			30	
CF/PA8			120	



(a) 供試材の積層模式図



(b) 装置の概略図

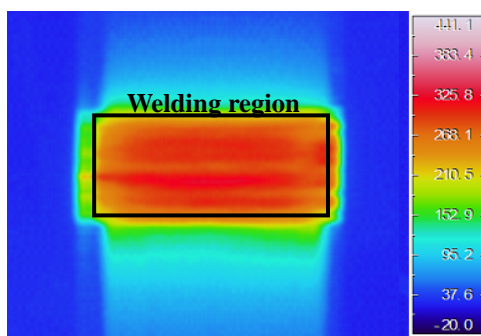
図2 供試材と直接通電抵抗加熱溶着装置概略図

溶着部の接合強度評価には、JIS K-6850 に基づき、精密万能試験機オートグラフ (AGX-100kN, 島津製作所) を用いて引張せん断試験により実施した。なお、標点間距離は 50[mm], クロスヘッドスピードを 1[mm/min]とした。また、試験片の破面観察には、走査型電子顕微鏡 (SEM, 日本電子, JSM-6390LT) を用いた。

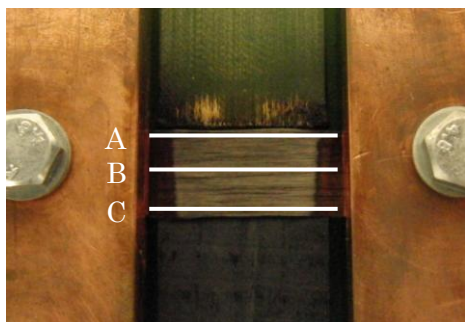
4. 研究成果

(1) 加熱特性評価

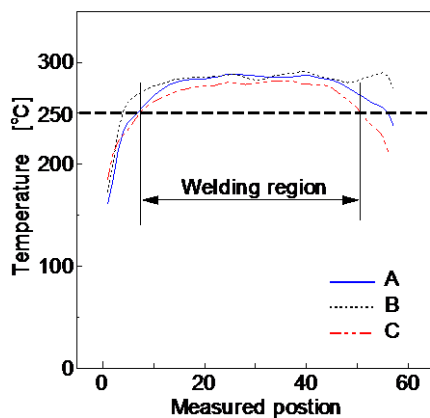
炭素繊維束表面が 250°C になったときの表面温度分布をサーモグラフィで観察した結果を図 3(a) に示す。また図 3(b) に示す線上の温度分布を図 3(c) に示す。図 3(a) に示し



(a) 温度分布



(b) 温度測定箇所



(c) (b) の線上における温度分布

図 3 炭素繊維束の温度分布

た溶着領域での温度は、250°C から 290°C であり、PA6 の融点 (225°C) 以上、熱分解温度 (340°C) 以下になっており、この炭素繊維束は、PA6 を用いた CFRTP の溶着に適用可能であると考えられる。

通電時の炭素繊維束の温度を熱電対により測定した結果を図 4 に示す。約 45 秒で 250°C まで加熱されていることがわかる。このように炭素繊維束への直接通電抵抗加熱を用いることで、成形温度 250°C への加熱に 45 秒しか要しない高速加熱が実現できることが分かる。

(2) 接合強度評価

溶着圧力の異なる試験片の引張せん断試験結果を図 5 に示す。溶着圧力が 1.0MPa のときに最も高いせん断強度が得られた。溶着圧力 0.1MPa と 1.0MPa の試験片の断面を観察した結果を図 6 に示す。0.1MPa では中央の溶着層に欠陥が生じており、樹脂層が大きく残

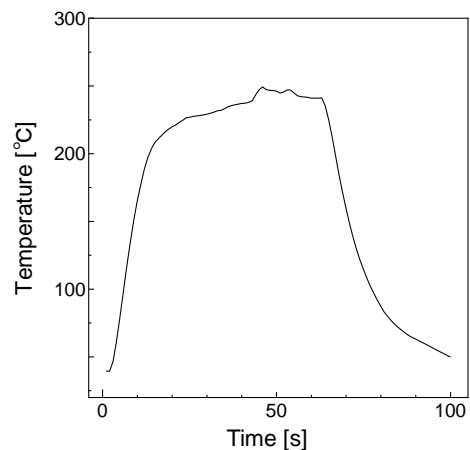


図 4 炭素繊維束の温度履歴

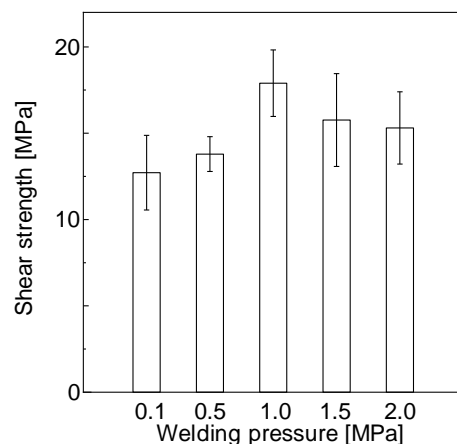


図 5 接合強度に及ぼす溶着圧力の影響

っていることが分かる。溶着圧力 0.1MPa と 1.0MPa の試験片の破面を SEM により観察した結果を図 7 に示す。0.1MPa の試験片では、樹脂の付着が見られない繊維の露出が見られ樹脂含浸が不十分であったことが分かる。一方、最大せん断強度が得られた溶着圧力 1.0MPa の条件では炭素繊維に樹脂が付着しており、破断部においても樹脂が含浸していたことが分かる。

溶着温度保持時間が異なる試験片の引張せん断試験結果を図 8 に示す。保持時間が 60s のとき最大引張せん断強度を得た。

5. 主な発表論文等

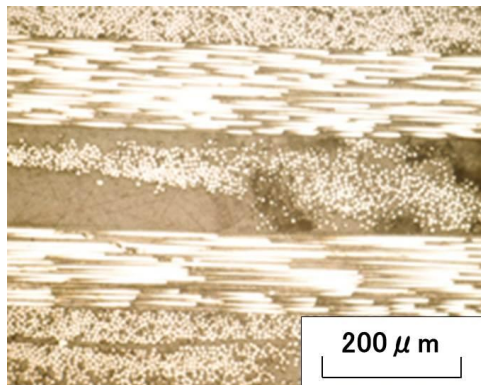
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

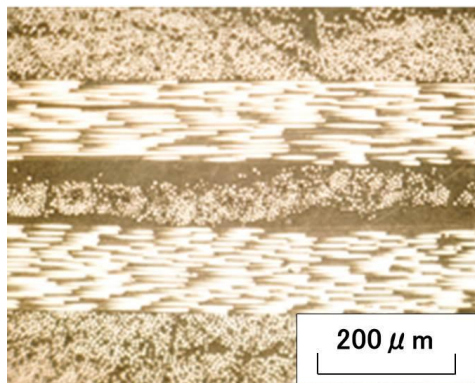
- ① Snichi Enoki, Keiya Iwamoto, Ryuki Harada, Kazuto Tanaka & Tsutao Katayama, Heating properties of carbon fibers by using direct resistance heating, WIT Transactions on the Built Environment, 査読有, Vol.124, 2012, 239-248

[学会発表] (計 1 件)

- ① 永倉知, 田中和人, 片山傳生, 直接通電



(a) CF/PA1 (0.1MPa)



(b) CF/PA3 (1.0MPa)

図 6 接合部の断面観察結果

抵抗加熱を用いた CF RTP 溶着技術の開発, 第 4 回自動車用途コンジットシンポジウム, 2012 年 12 月 1 日, 同志社大学 (京都市)

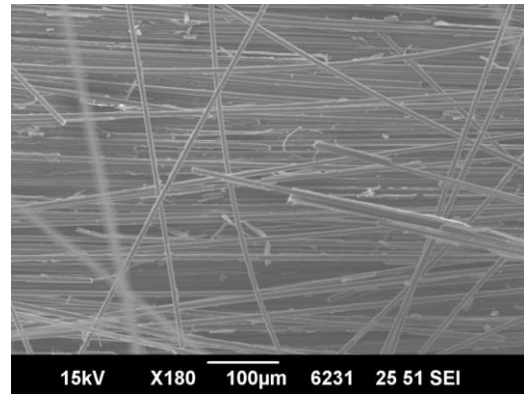
6. 研究組織

(1) 研究代表者

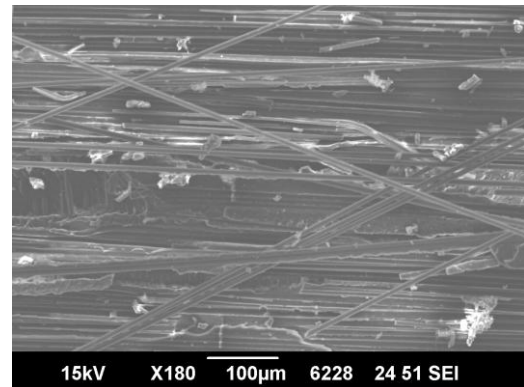
田中 和人 (TANAKA KAZUTO)

同志社大学・生命医科学部・教授

研究者番号: 50303855



(a) CF/PA1 (0.1MPa)



(b) CF/PA3 (1.0MPa)

図 7 引張せん断試験後の破面 SEM 観察結果

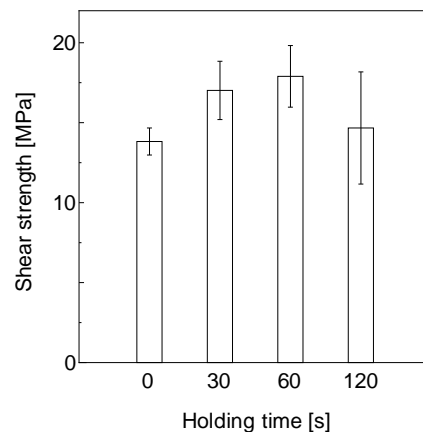


図 8 接合強度に及ぼす保持時間の影響