

高周波誘電加熱を利用した軽量・高強度部材の接合技術の実用化

佐野 勝*¹ 関根 正裕*²

Study for practical use of high-frequency welding technique for lightweight and high-strength materials

SANO Masaru*¹, SEKINE Masahiro*²

抄録

熱可塑性接着剤を用いた高周波誘電加熱接合の実用化と適用範囲の拡大を図ることを目的として、高周波誘電加熱により接合した試験片の耐久性評価並びにポリプロピレン以外の樹脂への高周波誘電加熱接合の適用について検討した。SiCを含有した熱可塑性接着剤を用いて高周波誘電加熱接合したガラス繊維強化ポリプロピレン試験片を50℃、80%RHの環境下で1000h暴露して接合強度への影響を検討したところ、引張せん断強度の低下はほとんど見られず、実用に耐え得る接合方法であることが示された。またポリプロピレンと同様接着剤による接合が困難なポリアセタール樹脂に対しても高周波誘電加熱による短時間・高強度接合が可能であることが明らかとなり、高周波誘電加熱を用いた樹脂接合のさらなる適用範囲の拡大が示唆された。

キーワード：誘電加熱，接合，ガラス繊維強化ポリプロピレン，ポリアセタール

1 はじめに

近年、自動車分野をはじめとする様々な分野において軽量化が求められている^{1)~4)}。その軽量化手法の1つとして金属から樹脂への材料置換が挙げられる。その中でも繊維強化熱可塑性樹脂(FRTP)の産業利用へ向けた期待が大きくなってきている⁵⁾。その理由としてFRTPは軽量・高強度であることや、射出成形やプレス成形等成形サイクルの短い生産技術による量産化と低コスト化並びにリサイクル性が向上する等の利点が挙げられる。一方、FRTPに用いられているマトリックス樹脂としてはポリプロピレン(PP)が多く使われている⁶⁾。しかしながら、PPは耐溶剤性が高く化学的にも不活

性で、接着剤による部材間の接合が困難である。そのため、立体構造体の組み立て部材としての使用が難しく、FRTPの用途が限られてしまっている。

この問題に対しこれまで我々は、熱可塑性接着剤を用いた高周波誘電加熱によりPP板同士を短時間(1分以内)・高強度(母材破壊)で接合する技術を開発した^{7),8)}。さらに昨年度は、SiC複合接着剤を用いたガラス繊維強化ポリプロピレン(GF/PP)の高周波誘電加熱接合において、接着剤に含まれるSiCの粒径及び接合時間を制御することにより、構造部材として使用可能なGF/PPを短時間(約30s)・高強度(約10MPa)で接合することが可能になった^{9),10)}。

これらを踏まえて、本研究では熱可塑性接着剤を用いた高周波誘電加熱接合の実用化と

*¹技術支援室 化学技術担当

*²技術支援室 (現 事業化支援室)

適用範囲の拡大を図ることを目的として、以下の内容について検討した。

- ① 高周波誘電加熱により接合した試験片の耐久性の評価
 - ② 高周波誘電加熱接合のPP以外の樹脂への適用
- ①については高周波誘電加熱により接合した試験片を50℃、80%RHの環境下で1000hまで暴露した場合の接合強度への影響を検討した。②においては、機械的強度や耐摩耗性に優れ機械部品に多く用いられているが、PP同様、接着剤による接合が非常に困難なポリアセタール樹脂(POM)に対し、高周波誘電加熱接合が適用可能かどうかを検討した。

2 実験方法

2.1 供試材料

被着材のGF/PPには市販のガラス連続繊維強化ポリプロピレン(TEPEX dynalite104、Bond-Laminates GmbH)、GF/PP接合用接着剤の基材はポリプロピレンペレット(ノバテック MH4、日本ポリプロ)を用い、添加するセラミックスとしては、既報⁹⁾にてGF/PPの短時間・高強度接合が可能であった小粒径のSiC(GMF15H、大平洋ランダム、メジアン径：0.54 μm 、密度：3.2g/cm³)を用いた。添加したセラミックスの粒度はレーザー回折式粒度分布測定装置(SALD-3100、島津製作所)を用いて測定した。

また、被着材のPOMには市販のPOM板(ジュラコン M25相当、ポリプラスチック)、POM接合用接着剤の基材は市販のPOMペレット(ジュラコン M90-44、ポリプラスチック)を用いた。

2.2 熱可塑性接着層の作製

GF/PP接合用接着剤は以下の手順で作製した。ポリプロピレンペレットに対し、SiC粒子を所定量配合し、ラボプラストミル(10C100 R60、東洋精機製作所)を用いて200℃で6分間混練した。その後、この混練物を200℃にて熱プレスし、厚さ1mm及び2mmのシート状熱可塑性接着剤を作製した。

POM接合用接着剤は、基材のPOMペレットに対する含有率が20vol%になるようにセラミックスを配合し、以下GF/PP接合用接着剤と同じ手順で作製した。

2.3 高周波誘電加熱による接合試験

耐久性評価用のGF/PP接合試験片の作製は既報⁹⁾と同様に行った。高周波印加条件はAnode電圧3.5kV、電流値130mA及び高周波印加時間24sで行った。試料保持圧力は放電防止のために、高周波印加中は低圧の0.03MPaで保持し、接着剤を加熱溶融させて高周波を停止した後0.19MPaまで圧力を上昇させた。その後10s放冷し、溶融した接着剤を固化させた後に圧力を解除してシングルラップ接合試験片を作製した。

POM板の接合試験は23×11×1mmの熱可塑性接着剤を2枚のPOM板(25×100×1.5mm)の間に挟み、ハイブリッドウェルダ(YRP-400T-A、山本ビニター、発振周波数：40.68MHz)の電極間に0.4MPaの圧力で固定した。この状態で出力200Wの高周波を所定の時間印加して熱可塑性接着剤を加熱溶融させた後に高周波印加を停止した。その後10s放冷し、圧力を解除して接合試験片を作製した。

2.4 耐久性評価のための環境暴露試験

恒温恒湿器(SSE-24TR-A、カトー)内に2.3で作製したGF/PP接合試験片を配置し、50℃、80%RHで500h及び1000h暴露し、各時間経過後の引張せん断試験に供した。

2.5 接合試験片の接合強度の評価

高周波誘電加熱により接合した試験片の接合強度は、万能材料試験器(AG-100KNI、島津製作所)を用いて引張せん断試験により評価した。試験条件は、つかみ具間距離90mm、試験速度はGF/PP接合試験片で2mm/min、POM接合試験片では10mm/minで行った。また、試験の際に接合面に荷重が正しくかかる

ように、つかみ部には被着材と同じ厚さの当て板を使用した。

3 結果及び考察

3.1 GF/PP 接合試験片の耐久性評価

SiCを20、30及び40vol%含有した熱可塑性接着剤を用いて高周波誘電加熱接合した試験片について、50℃、80%RHの環境下で1000h暴露した時の引張せん断強度への影響を図1に示した。

暴露前の引張せん断強度は SiC 含有率 20、30 及び 40vol% に対してそれぞれ 9.6、10.4 及び 9.4MPa であり、既報⁹⁾における値(それぞれ 9.5、10.0 及び 9.8 MPa)とほぼ同じであった。500h の暴露によっていずれの含有率の場合も引張せん断強度が若干低下したが、1000h 暴露してもその後の強度低下はほとんど見られず、暴露前の約 90%の強度を保持していた。

接着剤で接合した PP の環境暴露による引張せん断強度への影響は Pinto らによって報告されている¹¹⁾。彼らは構造用接着剤(3M : DP-8005 及び Loctite : 3030)用いて PP を接合し、本研究と同じ 50℃、80%RH で 1000 h 暴露後の引張せん断強度について調べており、暴露による影響がほとんど見られていない。これは被着材の母材樹脂や熱可塑性接着剤の基材として用いられている PP は吸水性が非常に小さく、水に接触して膨潤したり、化学変化を起こしたりする現象はほとんど見

られないためであると考えられている¹²⁾。ここで、本研究で用いた PP 複合材に含まれる SiC も吸湿性が低く、吸湿による接着層の劣化が起これにくいと考えられる。これらの理由から、今回行った暴露条件では引張せん断強度に対する影響がほとんどなかったと考えられる。このことから、本接合法は実用に耐え得る接合方法であることが示された。

3.2 高周波誘電加熱によるPOMの接合試験及び引張せん断試験

POM 樹脂は機械的強度や耐摩耗性に優れ機械部品に多く用いられているが、有機溶剤に対して強い抵抗性を持つ反面、適当な接着剤が少ない¹³⁾。このため、POM を短時間高強度で接合する手法が望まれており、例えば POM に表面処理を施して結晶性を低下させることによって、エポキシ系接着剤を用いて 1h 程度で高強度接着する方法が公表されている^{14),15)}。一方、これまで我々は PP をマトリックスとした樹脂に対して、高周波誘電加熱により短時間(1 分以内)・高強度で接合する手法を開発してきた。これらを踏まえ、PP 同様、接着剤による接合が非常に困難な POM に対しても高周波誘電加熱による短時間接合が可能か検討した。結果を図2に示した。

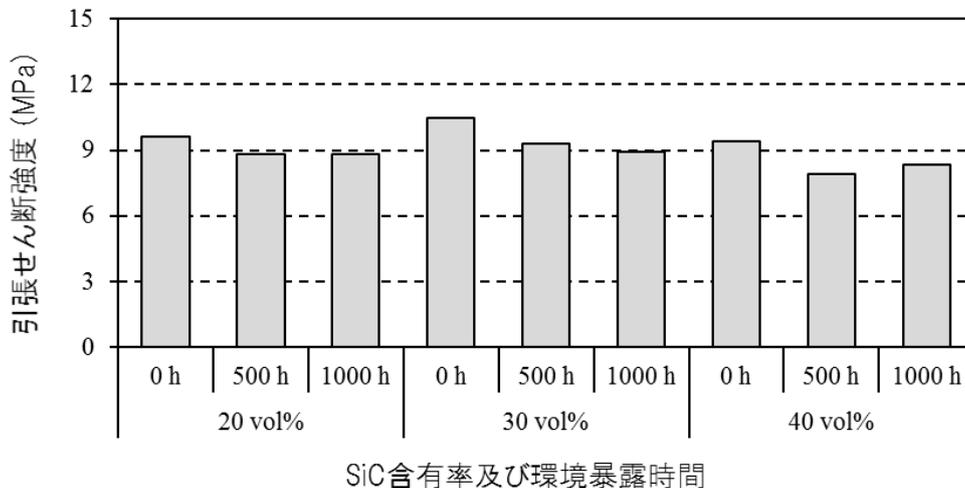


図1 接合試験片を50℃、80%RH環境下で1000hまで暴露した時の引張せん断強度への影響

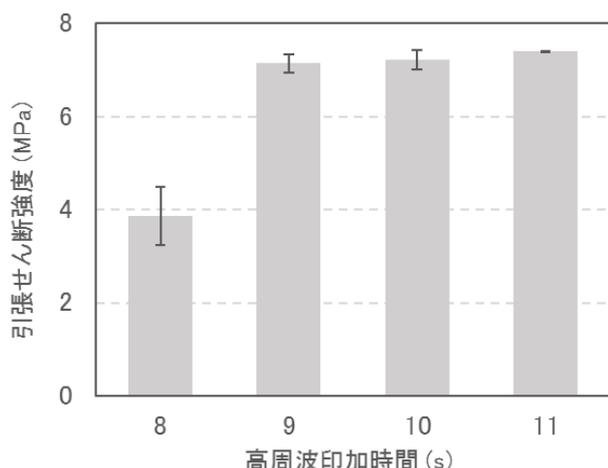


図2 POMの高周波誘電加熱接合における高周波印加時間と引張せん断強度との関係 (強度の値は3試料測定の平均、誤差範囲は標準偏差を示している)

高周波印加時間が 8s では接合が不十分で引張せん断強度のばらつきがあった。引張せん断試験後の試料を観察すると、図3の様に接着剤と被着材が十分に接合している部分と接合が不十分な部分があり、この程度の差によって強度のばらつきが生じたと考えられた。

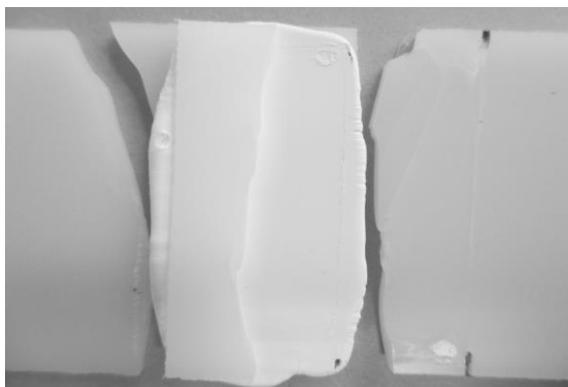


図3 引張せん断試験後の POM 接合試験片 (高周波 8s 印加)

一方、高周波印加時間が 9s 以上では約 7MPa の強度が得られ、11s では強度のばらつきがほとんど無く、全て図4に示したような接合部以外での材料破壊が起こった。

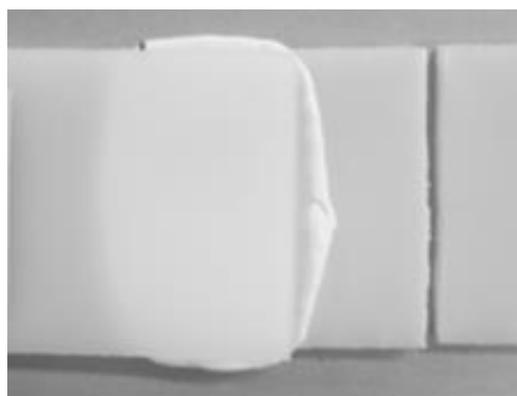


図4 引張せん断試験後の POM 接合試験片 (高周波 11s 印加)

このように、PPだけでなく接着剤による接合が困難な POM に対しても高周波誘電加熱による方法では短時間(約 10s)・高強度(材料破壊)の接合が可能であることが明らかとなった。これにより、高周波誘電加熱による方法を用いた他の樹脂接合へのさらなる適用範囲の拡大が示唆された。

4 まとめ

熱可塑性接着剤を用いた高周波誘電加熱接合の実用化と適用範囲の拡大を図ることを目的として、高周波誘電加熱接合により作製した接合試験片の耐久性評価並びにPP以外の樹脂への高周波誘電加熱接合の適用について検討した。

まず、SiC を含有した熱可塑性接着剤を用いて高周波誘電加熱により接合した GF/PP 試験片を 50℃、80%RH の環境下で 1000h 暴露した場合の接合強度への影響を検討した。その結果 1000h まで暴露しても強度低下はほとんど見られず、実用に耐え得る接合方法であることが示された。

次に、機械的強度や耐摩耗性に優れ機械部品に多く用いられているが、PPと同様接着剤による接合が困難な POM に対し、高周波誘電加熱による接合が適用可能か検討した。その結果、POM に対しても高周波誘電加熱による方法により短時間(約 10s)・高強度(材料破壊)で接合可能であることが明らかとなった。これにより、高周波誘電加熱を用いた他の樹脂接合へのさらなる適用範囲の

拡大が示唆された。

謝 辞

本研究を進めるに当たりご指導いただきました東京工業大学精密工学研究所の佐藤千明准教授に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中島正憲：航空機機体の製造技術，精密工学会誌，**75**，8，(2009) 941-944.
- 2) 水田明能，木村敏宣：鉄道車両が求める軽量金属の材料特性，Material Japan，**43**，5，(2004) 392-395.
- 3) 才川清二：自動車軽量化に向けたマグネシウム合金鋳物の開発動向，軽金属，**60**，11，(2010) 571-577.
- 4) 北野彰彦：自動車軽量化に向けた炭素繊維複合材料(CFRP)－CFRP の特徴、現状、今後の課題，工業材料，**59**，11，(2011) 37-40.
- 5) F. Henning, H. Ernst, R. Brussel: LFTs for automotive applications, Reinforced plastics, **49**, 2, (2005)24 - 33.
- 6) 社団法人日本機械工業連合会，財団法人次世代金属・複合材料研究開発協会，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，(2008) 49.
- 7) 佐野勝，小熊広之，関根正裕：熱可塑性 FRP の高性能化と高度利用に関する研究－高周波誘電加熱によるポリプロピレンの接合－，平成 24 年度埼玉県産業技術総合センター研究報告，**11**，(2013).
- 8) M. Sano, H. Oguma, M. Sekine, C. Sato: High-frequency welding of polypropylene using dielectric ceramic compounds in composite adhesive layers, Int. J. Adhes. Adhes. **47** (2013) 57-62.
- 9) 佐野勝，小熊広之，関根正裕：熱可塑性 FRP の高性能化と高度利用に関する研究－高周波誘電加熱によるガラス繊維強化ポリプロピレンの接合－，平成 25 年度埼玉県産業技術総合センター研究報告，**12**，(2014).

- 10) M. Sano, H. Oguma, M. Sekine and C. Sato, High-frequency welding of glass-fibre-reinforced polypropylene with a thermoplastic adhesive layer including SiC, Int. J. Adhes. Adhes. **54**(2014)124 - 130.
- 11) A.M.G. Pinto, A.G Magalhaes, F.G. da Silva, A.P.M. Baptista, Shear strength of adhesively bonded polyolefins with minimal surface preparation, Int. J. Adhes. Adhes. **28**(2008)452 - 456.
- 12) 高木謙行，佐々木平三：プラスチック材料講座 [7] ポリプロピレン樹脂，日刊工業新聞社，(1969) 110.
- 13) 松島哲也：プラスチック材料講座 [13] ポリアセタール樹脂，日刊工業新聞社，(1970) 144.
- 14) 岡本泰志，青木孝司，加藤和生：ポリアセタール樹脂成型体の接着方法、ポリアセタール樹脂成型体及び複合成型体，特開 2011-162675.
- 15) 岡本泰志，東 博純，武市晃洋：ポリアセタール樹脂成型体の接着方法，特開 2013-10858.