

## 摩擦シーム接合による連続繊維CFRTP/A5052継手のシランカップリング処理の影響

日大生産工(院) ○柳川 拓海 日大生産工 坂田 憲泰  
 日大生産工 前田 将克 日大生産工 木村 悠二  
 日大生産工 山田 和典 日大生産工 平山 紀夫

## 1. 緒言

現在、自動車メーカー各社は二酸化炭素の排出量削減を目的に車体の軽量化に取り組んでいる。軽量化の手段の一つに金属材料や繊維強化プラスチック (FRP) などを適材適所に使用する車体のマルチマテリアル化があり、マルチマテリアル車体の開発には異種材料間の接合技術が重要となる。FRPには熱硬化性樹脂をマトリックスとするFRTPと、熱可塑性樹脂をマトリックスとするFRTPがあるが、自動車に用いるFRPにはリサイクル性、製造時間などの観点からFRTPの使用が検討されている。従来FRPと金属材料の接合には機械的締結や接着剤が用いられてきたが、機械加工による応力集中、有害物質の発生、接合時間などに課題がある。摩擦撚接合は、主に非鉄金属材料の接合に用いられている固相接合で、接合による強度低下や変形が小さいなどの多くの特徴があり、樹脂材料の接合にも適している<sup>1)</sup>。また、その応用技術である摩擦シーム接合はツール先端にプローブがない点の特徴で、薄板の重ね接合に適した接合方法である。永塚らは強化材に短繊維を用いたCFRTPとアルミニウム合金の摩擦重ね接合において、アルミニウム合金に施したシランカップリング処理の有効性を明らかにしている<sup>2)</sup>。しかし、使用しているシランカップリング剤は一種類のため、シランカップリング剤の官能基が接合強度に及ぼす影響については明らかにされていない。また、CFRTPを構造部材として使用するには、強化材は短繊維より連続繊維の方が好ましい。著者らは、現場重合型ポリアミド6 (PA6) をマトリックスとする連続繊維CFRTPとアルミニウム合金の摩擦シーム接合について検討し、シランカップリングの官能基が強度特性に与える影響<sup>3)</sup>、連続繊維CFRTPとアルミニウム合金の間に挿入するPA6シートが接合強度に及ぼす影響を明らかにしてきた<sup>4)</sup>。本研究では、連続繊維CFRTPとアルミニウム合金の摩擦シーム接合におけるシランカップリング処理の方法が継手強度に及ぼす影響について検討を行った。

## 2. 使用材料

## 2.1 連続繊維CFRTP

連続繊維CFRTPの強化材には炭素繊維織物 (CO6347B, 東レ)、マトリックスには現場重合型PA6を用い、VaRTM法にて成形を行った。連続繊維CFRTPの板厚は3mmで、引張強さは600MPaである。なお、接合前には表面をエタノールで洗浄し、50°C - 24時間で乾燥を行った。

## 2.2 アルミニウム合金

アルミニウム合金には板厚2mm、引張強さ238MPaのA5052を使用した。A5052はシランカップリング処理のため#800の耐水ペーパーで湿式研磨を行っている。

## 2.3 PA6シート

PA6シートをFig.1に示す。厚さ0.3mmのシートを幅5mm、長さ100mmに切断した。なお、PA6シートは接合前に表面をエタノールで洗浄し、50°C - 24時間で乾燥を行った。

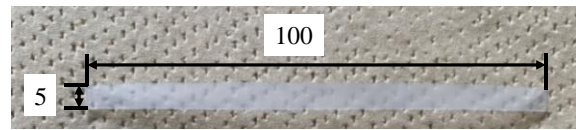


Fig.1 PA6 sheet (unit: mm)

## 3. シランカップリング処理

シランカップリング剤はXPSによる表面分析と引張せん断試験の結果<sup>3)</sup>から最適なものを選定し、イソシアネート基を官能基に持つKBE-9007N (3-イソシアネートプロピルトリエトキシシラン) を用いた。シランカップリング処理における溶媒と濃度をTable 1に示す。KBE-9007Nは水溶性が低いため、溶媒には純水とメタノールの2種類について検討を行い、純水についてはKBE-9007Nの濃度を0.5vol.%と1.0vol.%、メタノールについては1.0vol.%とした。シランカップリング処理は、KBE-9007Nを溶媒に溶かし、撹拌機を用いて1500rpmで30分間撹拌を行った。そして、撹拌後の溶液にA5052を1分間漬け、100°C-1時間の条件で乾燥を行った。

Table 1 Concentration and solvent conditions

	concentration(vol.%)	solvent
P-0.5	0.5	Pure water
P-1.0	1.0	Pure water
M-1.0	1.0	Methanol

## 4. 接合方法

摩擦シーム接合の模式図をFig.2に示す。連続繊維CFRTPとA5052の重ね代は50mmとし、PA6シートは連続繊維CFRTPの上に置き、両端部を半田ごてで溶着させることで位置合わせを行った。接合には直径10mmのSKD製ツールを用い、接合条件は接合速度1mm/s、押込み量0.5mm、前進角0°、接合長70mm、回転数1500rpmとした。

Effect of Silane Coupling Treatment on Continuous Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics / A5052 Joints Using Friction Seam Welding  
 Takumi YANAGAWA, Kazuhiro SAKATA, Masakatsu MAEDA, Yuji KIMURA,  
 Kazunori YAMADA and Norio HIRAYAMA

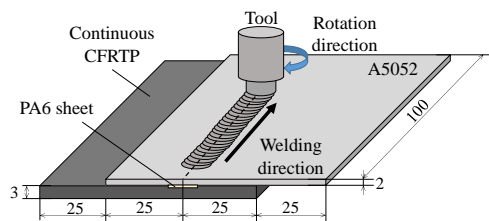


Fig.2 Friction seam welding (unit:mm)

## 5. 引張せん断試験

### 5.1 実験方法

継手強度の評価には引張せん断試験を用いた。試験片寸法をFig.3に示す。試験片は精密切断機で、供試体の接合方向に対して垂直に切出し、1枚の接合体から3本の試験片を合計6本採取した。試験片の両端部には曲げモーメントの発生を防ぐためにタブを付けた。

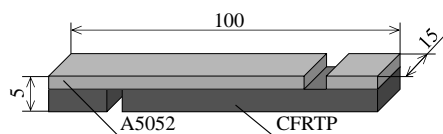


Fig.3 Tensile shear test specimen (unit:mm)

### 5.2 実験結果及び考察

引張せん断試験における破壊荷重の結果をFig.4に、各試験片の代表的な破壊様相をFig.5に示す。ほとんどの試験片で破壊は連続繊維CFRTFとA5052の接合部ではなく離となったが、P-0.5の1本とM-1.0の3本は、曲げ変形に起因した連続繊維CFRTF部での破壊となった。

純水を溶媒としたP-0.5とP-1.0の破壊荷重は6.6kN、6.2kNとなり、濃度が低いP-0.5の方が大きくなった。Fig.5の(a)と(b)に示したように、両者の連続繊維CFRTFのマトリックスであるPA6の溶融面積は同程度であったが、A5052に付着した炭素繊維の量はP-0.5の方が多くなっていた。これは、水溶性の低いKBE-9007Nが局部的に結合し、シラン重合膜が生成したため、高濃度なP-1.0の方が不均一なシランカップリング層となったことが原因と考えられる。

次に、溶媒の影響を確認するために、P-1.0とM-1.0の比較を行う。M-1.0の最大荷重は5.9kNで、P-1.0より低くなり、Fig.5(c)に示したようにA5052に付着した炭素繊維の量も少なくなっていた。XPSによる両者の強度比Si 2p/C 1sとAl 2p/C 1sの比較をTable 2に示す。P-1.0とM-1.0の強度比Si 2p/C 1sが概ね同じとなったのに対し、強度比Al 2p/C 1sではP-1.0の方が明らかに小さい値を示した。これはP-1.0では、疎水性の強いA5052に溶液中のKBE-9007Nが引き付けられたことで、均一なシランカップリング層が生成したためだと考えられ、そのため破壊荷重はP-1.0の方が大きくなったと推察される。

## 6. 結言

シランカップリング処理における溶液濃度と溶媒を変え、PA6シートを用いた連続繊維CFRTFとアルミニウム合金A5052の摩擦シーム接合を行った結果、破断荷重は溶媒を純水、シランカップリング溶液濃度を0.5vol.%の条件で最大となった。

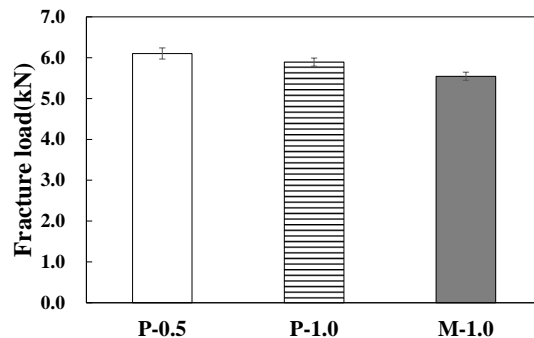


Fig.4 Results of tensile shear test



(a) P-0.5



(b) P-1.0



(c) M-1.0

Fig.5 Specimens after tensile shear test

Table 2 Comparison of P-1.0 and M-1.0

	P-1.0	M-1.0
Si 2p/C 1s	0.121	0.101
Al 2p/C 1s	0.004	0.125

## 参考文献

- 1) 小澤崇将, 加藤数良, 前田将克, 3003アルミニウム合金と熱可塑性樹脂の重ね摩擦攪拌接合, 軽金属, 65, 9 (2015), pp.403-410.
- 2) 永塚公彬, 田中宏宣, 肖伯律, 土谷敦岐, 中田一博, 摩擦重ね接合によるアルミニウム合金と炭素繊維強化樹脂の異材接合特性に及ぼすシランカップリング処理の影響, 溶接学会論文集, 33, 4 (2015), pp.317-325.
- 3) 坂田憲泰, 前田将克, 勅使河原圭介, 加藤数良, 平山紀夫, 連続繊維を用いたCFRTFとA5052合金の重ね摩擦攪拌接合, 61th FRP CON-EX 2016(2016), pp.145.
- 4) 柳川拓海, 坂田憲泰, 前田将克, 木村悠二, 山田和典, 平山紀夫, PA6シートを用いた連続繊維CFRTFとA5052合金の摩擦シーム接合, 日本設計工学会春季研究発表講演会(2019), pp.197.