

CFRTP の溶融時におけるボイドの影響

日大生産工(院) ○浪波 環 日大生産工 平林 明子 平山 紀夫

1. 緒言

炭素繊維強化プラスチック(CFRP)は比強度、比剛性に優れていることから航空機や F1、高級スポーツカーなどに使用されている。また近年、母材に熱可塑性樹脂を用いた繊維強化熱可塑性プラスチック (CFRTP) の中間基材に関する研究が多く報告されている。含浸済みの熱可塑性基材は、従来のプレス成形を応用した早いサイクルでの成形が可能のため、自動車構造などへの応用が期待されており、二次加工時の内部樹脂の流動シミュレーションによる機械的特性の予測¹⁾がなどの研究もおこなわれている。

CFRTP の形状付与には、加熱炉において所定の温度・時間で熱軟化させ、常温に近い低温の金型に押し付けるコールドプレスが行われる。しかし、熱軟化時に残存する微小な空隙(ボイド)が熱膨張し、成形不良や強度低下を引き起こすことが問題となる。そこで本研究では、CFRTP 中間基材の加熱条件に対する内部ボイドの定量的な計測について検討した結果について報告する。

2. 実験

2.1 試料の作成

本検討には、熱可塑性ポリウレタンを母材とした繊維体積含有率50%のCFRTP一方向材を使用した。初期状態におけるCFRTPの断面を走査型電子顕微鏡(SEM)により撮影、後述の画像解析により断面のボイドを抽出、再溶融前後の内部ボイドの変化を調べた。試料として、同一の成形品から作成した試験片(15×20mm)を、コールドプレスを想定し、再溶融の際に荷重を负荷せずに融点である196℃付近の200℃、熱分解温度250℃付近の240℃、再溶融を行っていない試験片の3つを作成した。その際に寸法および比重の測定し、比較を行った。また、比較のため、真空圧を想定した1気圧(0.101MPa)を负荷し、熱膨張を抑制して200℃に加熱する実験も並行して行った。

2.2 断面観察

作製した試料を図1に示すようなSEMによる断面写真を撮影し、画像解析用のデータとした。この際、画像下部に縮尺を表す表記が出てしまうため、複数枚の断面写真を撮影し、画像編集・加工ソフトAdobe Photoshop 2020 (Adobe (株)製)のPhotomerge機能を用いて目盛で隠れる断面がないようつなぎ合わせ、断面全体が確認できる1枚の画像にした。

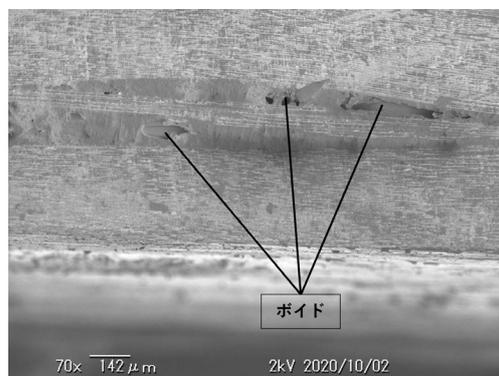


図1 断面写真とボイド

2.3画像解析

作成した断面写真を基に画像解析ソフトImageJ²⁾を用いFRPのボイド率を求める規格であるJIS K7053を参考にボイド率を算出³⁾した。以下にその手順を述べる。

まずは断面以外のものが画像に入らないよう、図2のようにトリミングを行い、次に画像の図3のように上限下限の閾値を設定することで、画像内のボイドの領域のみを抽出でき、ピット数による定量的な測定を行った。最後にボイドの領域を画像解析により測定し、数値として出力した。



図2 トリミング後の断面写真



図3 ボイド抽出後の断面写真

3. 結果

3.1 質量測定結果

再熔融前後の試料の寸法および密度の測定結果を以下の表1に示す。再熔融前後で密度が減少し、無圧のB,Cでは厚さ方向に膨張していた。したがって再熔融時に残存していたボイドが熱膨張により増大し、厚さが増大したことが考えられる。また、1気圧で加圧しながら加熱した試料Dにおいては熔融時に樹脂が面内で流動し、板圧が減少したことがわかる。しかし、密度も低下しているため、ボイドの熱膨張を抑制しきれず、内部ボイドが変化している可能性が示唆された。

表1 試料のデータ

	A	B	C	D
試験温度 (°C)		200	240	200
負荷荷重(MPa)		0	0	0.101
厚さt(mm)	1.95	2.55	3.05	1.84
密度 ρ (g/cm ³)	1.54	1.39	1.41	1.44

画像解析結果

画像解析による各試料のボイド率と最大ボイド径を表2に示す。なお、ボイドの算出に関して、B,Cでは図4のような亀裂が発生する場合は観察されたため、亀裂部分をボイドの計算から除外した。また、試料の位置による違いについて検証するため、中央部分と端部を切断し、それぞれの残存ボイド率を算出した。

表2 各試料のボイド率

	A	B		C		D
		端部	内部	端部	内部	
ボイド率 (%)	3.4	3.2	2.1	6.7	4.8	0.7
最大ボイド径 (μm^2)	2.3	1.5	13	2.8	11	8.7

結果より、試料B (200°C) よりも試料C (240°C) のボイド率が増加しており、特に240°Cではボイドの熱膨張を抑制する母材樹脂の粘度低下により、ボイド径が増大したことが原因と考えられる。一方、加圧した試料Dでは、ボイド率が極端に減少しているが、最大ボイド径が増大した。これに関しては、図5に示すように樹脂流動に伴いボイドがプレス圧力により押し出され、その際に内部のボイドが流動時に結合し、肥大化したボイド

が表面に残存したことが原因ではないかと考えられる。

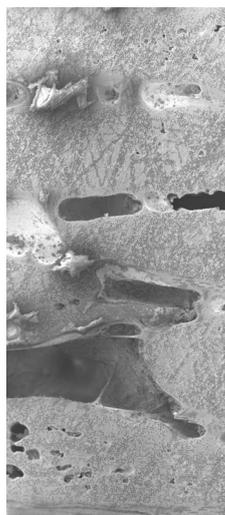


図4 亀裂の進展した試料断面



図5 荷重を付加して再熔融した試料断面

4. 結言

成形品であるCFRTPの再熔融させた際の内部ボイドの変化において以下のことが分かった。

- 1) 加圧せずに再熔融を行うことで、ボイドが増大しボイド率も上昇する。また、それに伴う厚さの増加が引き起こされる
- 2) 形状付与のサイクルを短くするには加熱温度を上げることが効果的だが、樹脂の粘度が低下によりボイド率が増加する。
- 3) 加圧しながら加熱することはボイド抑制に有用であるが、流動によってはボイド径が増大してしまい、結果的に機械的特性の低下につながる可能性がある。

今後は加熱、加圧がボイドに及ぼす影響をより詳細に計測し、母材樹脂の粘度とのバランスを考慮した二次成形の適切な条件についての検討を行う。

参考文献

- 1) 松谷 浩明ら、粒子法を用いた一方向不連続プリプレグの流動シミュレーション、日本複合材学会誌、2017年43巻6号p.234-243
- 2) Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://rsb.info.nih.gov/ij/>, 1997-2012.
- 3) 林 崇寛ら、軟X線透過率を用いた複合材料のボイド率定量化手法に関する検討、日本複合材学会誌、2015年41巻4号 p. 122-127