

CFRTP の溶融時におけるボイドに関する研究

- 微視的観察からの評価 -

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

繊維強化プラスチック(FRP)は比強度, 比剛性に優れていることから各分野にて構造軽量化に寄与している. 現在, 母材樹脂として用いられている熱硬化性樹脂は熱可塑性樹脂と比べて, 繊維への含浸性や強度が高い反面, 含浸後に硬化が必要である点やリサイクルが困難である点などから, 熱可塑性樹脂を用いた FRTP の検討が進められている. また, 連続繊維を用いた FRTP 部品の製造においては, 繊維への含浸と賦形を別のプロセスで行うため, 予め樹脂を含浸させた中間基材をプレス等のスタンピング成形で賦形し, FRTP 部品として完成させる手法がよく用いられている. また, 高粘度のため, 強度低下に起因する材料内部の空隙(ボイド)が熱硬化性樹脂と比べて残留しやすい反面, 樹脂自体の靱性が高いため, 強度低下が引き起こされるボイド率は硬化性樹脂よりも高い²⁾とされている.

一方で, 賦形には再溶融を伴うため, その際の熱膨張や成形時にかかっていた高圧力からの解放によるボイド率増加が懸念される. 特にボイドの肥大化が顕著である場合, プレス形状やパイプ材の曲げなどでは, 圧力不足によるボイドの残留やウェルドラインの形成が破壊起点になり得るため, 樹脂特性を踏まえたボイドの挙動を解明することが重要と考えられる. 本研究では, 流通している2種類の母材樹脂を用いた CFRTP 中間基材の溶融時および低荷重負荷時の内部ボイドの変化を断面画像から比較した結果について報告する.

2. 実験方法

2.1 試料の作成

本検討には, 実際に基材として運用されている CFRTP 材である TEPEX(Bond Laminates 社製)の PA6 (ナイロン6) および PU (ポリウレタン) を母材とする中間基材を使用した. 使用材料のメーカーが提示しているデータを Table. 1 に示す.

	Material 1	Material 2
Fiber	Carbon	
Resin	PA6	PU
Molding temperature	240°C	220°C
Thickness	2.01mm	1.04mm

この材料を100mm×100mmに切断し, Table1に示す成形温度にて10分加熱後, 後述する2種類の方法により, 賦形した.

2.2 三点曲げ

FRTP積層材のスタンピング成形時には曲げにより層間流動が生じる. そこで, 面圧を負荷せず層間流動によるボイドの成長を再現するため, 単純支持梁の中央部分に集中荷重を負荷した際の支点間を観察した. 溶融した CFRTP を支点間距離は80mmの曲げ賦形装置に配置し, 中央部分に錘子による5Nの集中荷重を負荷し, そのまま冷却した. その後, 鞍型に賦形された試験片を支持部外側および圧子部, その中間地点の5か所で切断し, 板厚の変化および断面の観察を行った.

2.3 プレスによる曲げ

実際の賦形加工を再現するため, Fig.1のような上下型を作成し, 溶融した CFRTP を下型に静置し, 荷重を負荷することで再溶融と賦形を別々の一連処理として行うコールドプレス加工を再現した. この際, プレス時に付加する荷重を5,25,35Nの3条件で負荷し, 2.2節と同様に賦形後の試験片を5か所切断し, 板厚変化と断面観察を行った.

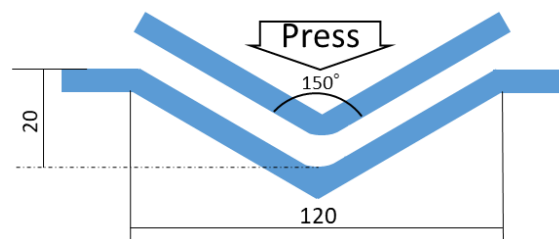


Fig.1 Schematic diagram of die of bending press

Study of void of composite materials using CFRTP

-Evaluation from microscopic observation-

Tamaki NAMIWA, Akiko HIABAYASI and Norio HIRAYAMA

3. 実験結果および考察

3.1 三点曲げ

三点曲げ加工後の材料1(ナイロン6: PA6)と材料2(ポリウレタン: PU)において, 支持部外側部分をNo.1,5, 圧子-支点間をNo.2,4, 圧子部分をNo.3とし, 各位置の試験片の厚さ(t)を測定した. 結果をTable 2に示す.

No.	Thickness(mm)				
	1	2	3	4	5
PA6	2.40	2.45	2.40	2.55	2.45
PU	2.00	2.40	1.61	3.72	1.70

この結果から, PA6では各位置での寸法変化が小さいものの, 全体的には膨張による厚さの増大が生じていた, PUでは位置による寸法変化が顕著に生じていた. これらのことを踏まえて, それぞれの試験片で変形量の大きいNo.2の断面画像をFig.3に示す. 断面画像から, PA6では変形によってボイドが引き伸ばされている様子が観察され, その量は中央部分から離れるほど大きくなっていった. 一方, PUはボイド以外に層間剥離が生じている. これはPUの熔融粘度, 含有ボイド量の影響と考えられる.

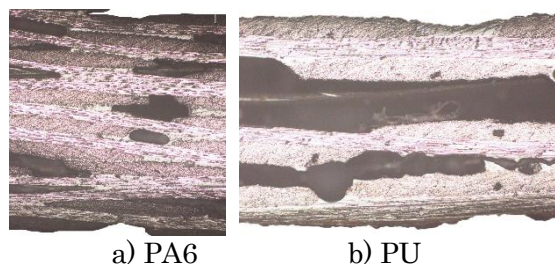


Fig.3 Cross-sectional image after bending

3.2 プレス曲げ

各荷重条件(5,25,35N)による実験結果として, 試験片を20mm刻みでNo.1~5と割り当てそれぞれの厚さを測定し, PA6の結果をTable3に, PUの結果をTable4にそれぞれ示す.

この結果から, PA6, PUともに負荷荷重の増加に伴い全体的に厚さが減少していることが分かる. 今回負荷した荷重の最大値である35Nが試験片の面全体に付加した場合, 3.5kPaとなり, 一般的に使用されているプレス圧力に比べて極めて小さいがボイドの膨張抑制効果が見受けられた. また, Table4において, 負荷荷重が増加するに伴い, No.4の厚さが増加している. この原因を該当箇所の断面画像から検証したところ, Fig.4のような局所的に大きな剥離が確認された. これは, 熔融し

た端部樹脂が先に冷却・固化し, ボイドの逃場がなくなり局所的な剥離につながったと考えられる. すなわち, 均一な不可状態においても均一なボイド発生とはならず, プレス圧および冷却を適切にコントロールすることが重要である.

Table 3 Thickness change of CFRTP (PA6)

No.	Thickness(mm)				
	1	2	3	4	5
5N	2.48	2.53	2.47	2.49	2.57
25N	2.46	2.50	2.23	2.33	2.46
35N	2.45	2.41	2.36	2.31	2.36

Table 4 Thickness change of CFRTP (PU)

No.	Thickness(mm)				
	1	2	3	4	5
5N	1.49	1.70	1.65	1.70	1.54
25N	1.45	1.59	1.42	1.95	1.64
35N	1.40	1.39	1.56	2.00	1.54

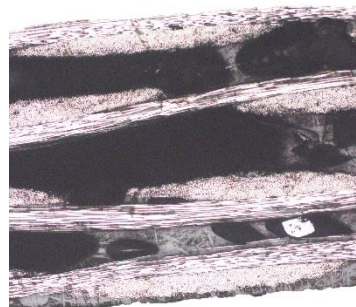


Fig.4 Cross-sectional image of PU No.4

4. 結言

CFRTP基材を賦形した内部状態の変化をPA6とPUで評価した結果を以下に示す.

- 1) PA6を母材としたFRTPでは賦形時の流動に伴い内部のボイドが流動し, その大きさは表面に近づく程大きくなっていった.
- 2) PUを母材としたFRTPは賦形方法により大きな界面剥離が発生する.
- 3) コールドプレスによる賦形では, 圧力と冷却が不適切な場合, 局所的な剥離を引き起こす恐れがある.

参考文献

- 1) 馬場 俊一 連続繊維熱可塑性材料CFRTP・GFRTPと市場動向 精密工学会誌, 81巻(2015)6号
- 2) 松崎 亮介ら, 樹脂注入成形におけるボイド含有率のその場計測, 日本複合材料学会誌, 40巻(2014)1号