

長ポットライフ現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂を用いた GFRTP の VaRTM 成形

日大生産工 (院) ○川瀬 翔希

日大生産工 坂田 憲泰, 平山 紀夫
第一工業製薬 (株) 塩路 雄大, 北川 貴士

1. 緒言

2021 年度における日本の二酸化炭素総排出量のうち 16.7%を運輸部門が占めており¹⁾, 自動車業界では自動車の燃費の向上が課題となっている. 燃費向上の方策の一つとして繊維強化プラスチック (FRP) の構造部材への適用がある²⁾. FRP は比剛性, 比強度に優れる材料であり, 特に熱可塑性樹脂をマトリックス樹脂に用いた繊維強化熱可塑性プラスチック (FRTP) は二次賦形性やリサイクル性にも優れることから期待されているが, 熱可塑性樹脂の熔融粘度が非常に高いため連続繊維への含浸が困難となっている. この問題に対して繊維束内部へモノマーの状態で含浸させたのち, 熱可塑性ポリマーへと重合させることが可能な現場重合型の熱可塑性樹脂が開発されている. 代表的な現場重合型熱可塑性樹脂としてポリアミド 6 やアクリル系樹脂が挙げられるが, これらの樹脂は熱硬化性樹脂と比較してガラス転移温度 (T_g) が低くなっている. しかし, 近年開発された現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂 (第一工業製薬(株)) は T_g が約 170°C となっており, この樹脂をマトリックス樹脂に用いた炭素繊維強化熱可塑性プラスチック (CFRTP) は優れた機械的特性を有することが報告されている²⁾. しかし, 従来の現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂 (H-6FP17-KL) は増粘速度が非常に高くポットライフ (7分) が短いため, VaRTM 法で成形を行う場合には, 樹脂注入前の脱泡時間の確保や樹脂の含浸距離が課題となる. そこで本研究では従来品よりもポットライフ長い (11分) 現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂 (H-6FP16-KL) を開発し, VaRTM 法でガラス繊維強化熱可塑性プラスチック (GFRTP) の成形を行った. そして, 静的 3 点曲げ試験を行い従来の現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂を用いた GFRTP との比較を行った結果について報告する.

2. 使用材料

強化繊維には平織ガラス繊維 (WEA 22F-BX, 日東紡績(株)) を用いた. 繊維の吸湿を防止するため裁断した繊維は乾燥剤を入れた真空容器内で1週間乾燥を行った.

マトリックス樹脂にはポットライフが7分の H-6FP17-KL と, 11分の H-6FP16-KL を用いた. 主剤と硬化剤の粘度は H-6FP17-KL が $440 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ と $280 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, H-6FP16-KL が $440 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ と $330 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ となっている. 主剤と硬化剤の配合比はいずれも 100:181 とした. 硬化剤は液中の結晶を融解させるため 70°C で 1 時間程度加熱したのち室温まで冷却して使用した. 以降, ポットライフ 7 分の樹脂を用いて成形した GFRTP を PL7, ポットライフ 11 分の樹脂を用いて成形した GFRTP を PL11 と呼ぶ.

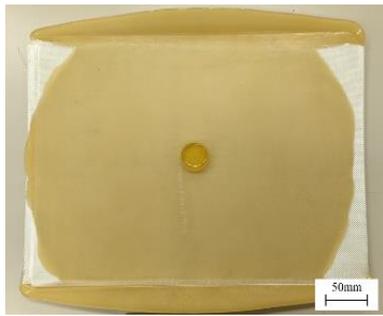
3. 成形方法

310×410mm に裁断した平織ガラス繊維を型内に 11 枚積層し, 湿度による影響を緩和するため, 乾燥窒素を型内に注入したのち, 型内を -0.04MPa まで減圧した. 金型の初期温度は, 先行研究を参考に 50°C とした³⁾. 主剤と硬化剤を攪拌機で 250rpm の条件で 1 分間攪拌した. 攪拌後, PL7 はすぐに, PL11 は -0.09MPa で 3 分間脱泡処理を行い, 型内に樹脂を注入した. そして, 樹脂注入開始と同時に型温度を 120°C まで昇温し, PL7 は 1 時間, PL11 は 3 時間保持して硬化させた. 脱型後の PL7 と PL11 を Fig.1 に示す. 含浸距離は硬化剤の粘度の影響で PL11 の方が若干短くなったと考えられる.

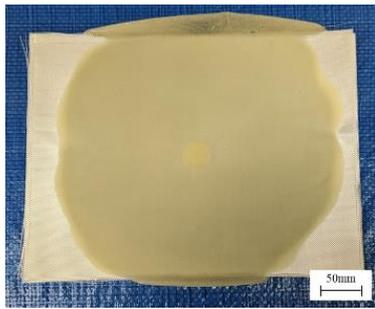
4. 繊維体積含有率と空隙率

燃焼法により繊維体積含有率と空隙率を求め, Fig.2 に示すように成形品の断面観察を行った. PL7 の繊維体積含有率が 25.7%, 空隙率が 8.7% に対して, PL11 の繊維体積含有率は 26.1%, 空隙率は 5.8% となり, 樹脂注入前の脱泡処理の効果が確認できた.

VaRTM Process of GFRTP Using Long Pot Life
In-situ Polymerizable Thermoplastic Urethane Resin
Shoki KAWASE, Kazuhiro SAKATA, Norio HIRAYAMA,
Yudai SHIOJI and Takashi KITAGAWA

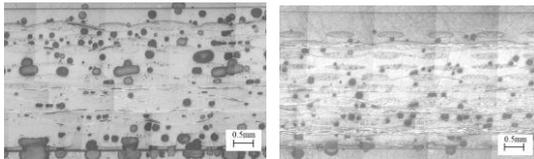


a) PL7



b) PL11

Fig.1 Fabrication results of PL7 and PL11



a) PL7

b) PL11

Fig.2 Results of SEM observations

5. 静的3点曲げ試験

5.1 実験方法

静的3点曲げ試験は JIS K 7017 を参考に精密万能試験機 (AG-25TB, 株式会社島津製作所) を用いて行った。試験片本数は5本とし、試験片寸法は幅15mm, 長さ100mmで、厚さはTable 1のようになっている。また、支点間距離は80mm, 圧子及び支持具径は5mm, 試験速度は2mm/minとした。曲げ弾性率は応力ひずみ線図におけるひずみが0.05%~0.25%の範囲の回帰直線の傾きにより求めた。

Table 1 Thickness of specimens

No.	Thickness [mm]	
	PL7	PL11
1	3.55	3.57
2	3.61	3.51
3	3.58	3.52
4	3.58	3.60
5	3.59	3.60

5.2 結果および考察

曲げ弾性率及び曲げ強度の比較を Fig.3 に示す。曲げ弾性率は PL7 と PL11 で同程度の値を示した。一方、曲げ強度は空隙率の低かった PL11 の方が高い結果を示し、現場重合ウレタン樹脂のポットライフを長くすることによる強度向上効果を確認することができた。

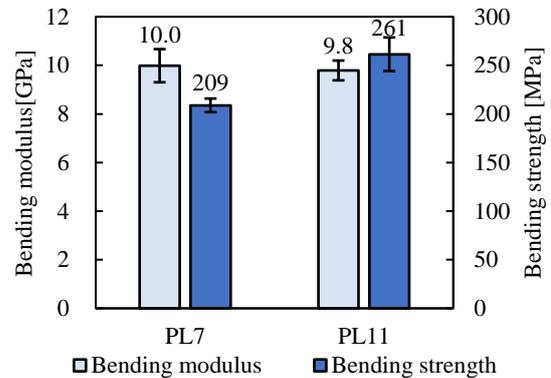


Fig.3 Bending modulus and strength

6. 結言

ポットライフの長い現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂を用いてGF RTPを成形し、成形時の含浸状況、繊維体積含有と空隙率、静的曲げ特性を従来の現場重合ウレタン樹脂と比較した結果、以下の結果が得られた。

- 1) ポットライフの長い現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂を用いることで空隙率の少ないGF RTPを成形することができる。
- 2) ポットライフの長い現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂を用いたGF RTPは空隙率の低減により高い曲げ強度を示す。
- 3) ポットライフの長い現場重合型熱可塑性ウレタンを用いたGF RTPの樹脂の含浸距離は硬化剤の粘度の影響で従来の現場重合型熱可塑性ウレタンを用いた場合と比較して若干短くなる。

参考文献

- 1) 環境省, 2021年度温室効果ガス排出・吸収量(確報値)について, (2023)
- 2) 平山紀夫ほか, 現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂をマトリックスとするCF RTPの機械的特性の評価, 強化プラスチック, 66, 11, (2020), pp.519-526
- 3) 安西守人ほか, 現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂をマトリックスとするFRTPのVaRTM成形と機械的特性の評価, 日本大学生産工学部第55回学術講演会, (2022), 4-16