

現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂マトリックスとする

FW 製 GF RTP 円筒のエネルギー吸収特性

日大生産工(院) ○山本 麻斗 日大生産工 坂田 憲泰 日大理工 大塚 賢哉
日大生産工 平山 紀夫 第一工業製薬(株) 塩路 雄大 第一工業製薬(株) 北川 貴士

1. 緒言

環境問題を解決するために、二酸化炭素排出量の削減が求められており、特に自動車業界では燃費性能を向上させるために金属材料と比較して軽量で高強度な繊維強化プラスチック (FRP) の適用が検討されている。FRPのマトリックス樹脂には熱硬化性樹脂を用いた繊維強化熱硬化性プラスチック (FRTS) と熱可塑性樹脂を用いた繊維強化熱可塑性プラスチック (FRTP) があり、FRTPはリサイクル性に優れ、再溶融が可能なため注目されている。なかでも、第一工業製薬(株)が開発した現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂は熱硬化性樹脂と同様の成形システムで使用が可能なため自動車への適用が期待される。

本研究では、自動車の側面衝撃吸収部材であるドアインパクトビームへの適用を目的に現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂を用いてフィラメントワインディング (FW) 法で成形した GF RTP 円筒の落錘衝撃試験を行い、エネルギー吸収特性の評価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Eガラス繊維ロービング (RS110QL-362, 日東紡績(株)) を用いた。マトリックス樹脂には、第一工業製薬(株)が開発した現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂 (H-6FPA17-KL: A剤, H-6FPB27: B剤) と、比較用として熱硬化性エポキシ樹脂 (XNR/H/A6805, ナガセケムテックス(株)) を用いた。以降、現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂をPU、熱硬化性エポキシ樹脂をEPと呼ぶ。

3. 成形方法

試験片の成形には図1のFW装置を用いた。はじめに外径25mm、全長1400mmの金属製マンドレルをFW装置に取り付け、離型処理を行った。EPを用いたGFRTSとPUを用いた

GF RTP のFW成形の様子を図2に示す。

GFRTSは主剤、硬化剤、促進剤を100:100:2の割合で混合した樹脂をレジンバスに入れ、張力を掛けながら含浸ローラーでガラス繊維ロービングに樹脂を含浸させてマンドレルへ巻き付け、85℃×4hの条件で硬化させた。

一方、PUはポットライフが8分でEPと同様の成形方法で成形することができないため、定量送液ポンプ (MP-4000, 東京理化工機(株)) を用いた。A剤とB剤の配合比が100:210になるようにそれぞれ送液し、チューブ内で混合させ、張力を掛けたガラス繊維ロービング上に点滴した。その後、含浸ローラー部で繊維束内に樹脂を含浸させ、マンドレルへ巻き付け、120℃×3hの条件で硬化させた。硬化後はマンドレルから脱型し、全長が1000mmとなるように両端を切断した。

各試験片の成形条件と肉厚を表1に示す。なお、PUとEPは同じ肉厚になるように成形を行ったが、EPの方が肉厚は小さくなっている。以降、試験片名は「樹脂名_肉厚」で表し、例えばEPを使用し、肉厚3.6mmの試験片は「EP_3.6」と呼ぶ。



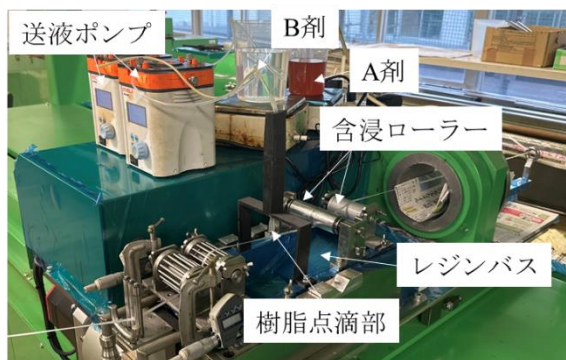
図1 FW装置

Energy Absorption Properties of FW-GF RTP Cylinders Using *In Situ* Polymerization Thermoplastic Urethane Resin

Asato YAMAMOTO, Kazuhiro SAKATA, Kenya OHTSUKA, Norio HIRAYAMA, Yudai SHIOJI and Takashi KITAGAWA



a) GFRTP



b) GFRTS

図2 GFRTS円筒とGFRTS円筒のFW成形の様子

表1 成形条件と肉厚

試験片名	配向角 [°]	積層数 [ply]	成形張力 [N]	肉厚 [mm]
EP_3.6	±30	6	15	3.6
EP_7.5		12		7.4
PU_4.3	±30	6	15	4.3
PU_9.8		12		9.8

4. 落錐衝撃試験

4.1 実験方法

落錐衝撃試験の様子を図3に示す。落錐衝撃試験の試験片は各3本とし、質量100kgの落錐子を高さ4.09mから自由落下させ、速度32km/hで試験片の中央部に横荷重を負荷した。支点間距離は800mm¹⁾とし、荷重は供試体の左右の治具内に設置してあるロードセル (SH-100kN, 昭和測器株) の信号をデータロガー (DL950, 横河計測株) で計測し、それぞれを加算することで求めた。変位はハイスピードカメラ (FASTCAM Mini AX200, 株フォトロン) で撮影した動画を画像解析することによって求めた。

衝撃特性は式(1)の単位質量当たりのエネルギー吸収量 SEA で評価した²⁾。

$$SEA = \frac{EA}{Mass} \quad (1)$$

ここで、 $Mass$ は試験片質量、 EA は荷重—変位線図の面積を積分することで算出したエネルギー吸収量である。積分範囲は自動車側面のクラッシュブルゾーンを考慮して150mm³⁾とした。

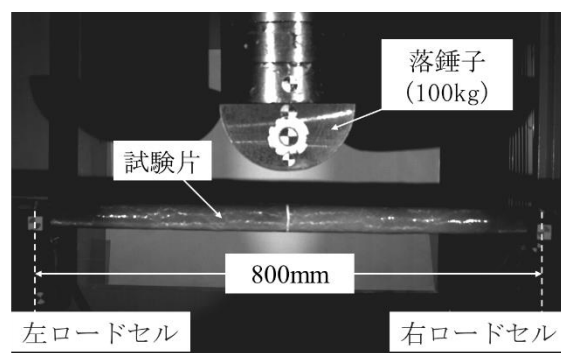


図3 落錐衝撃試験

4.2 実験結果および考察

代表的な荷重—変位線図の比較を図4に示す。いずれの試験片も落錐子が衝突後、荷重は急激に増加し最大荷重に達した。その後、荷重は減少しながら変位150mmまで推移した。

比エネルギー吸収量の比較を図5に示す。図中のエラーバーは最大値と最小値を示している。両試験片ともに肉厚の増加に伴って比エネルギー吸収量は増加した。

次に最大荷重、変位50mm以降の平均荷重と曲げ剛性の関係を図6と図7に示す。最大荷重は曲げ剛性と高い相関関係にあり、マトリックス樹脂の影響は小さいと考えられる。一方、変位50mm以降の平均荷重はPUの方が明らかに高くなっている。これはPUの方が破壊じん性値が高い⁴⁾ことが影響していると考えられ、このため比エネルギー吸収量はPUの方が大きくなったと考えられる。

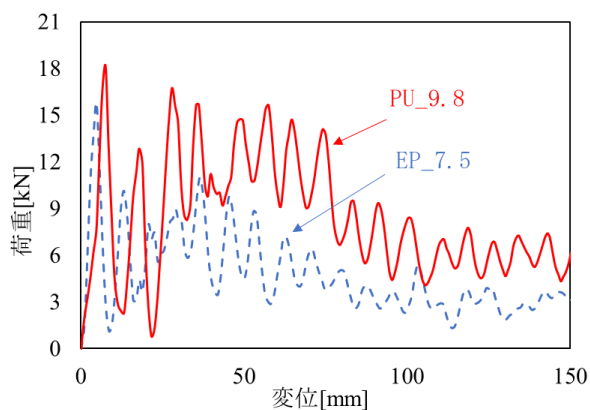


図4 荷重－変位線図の比較

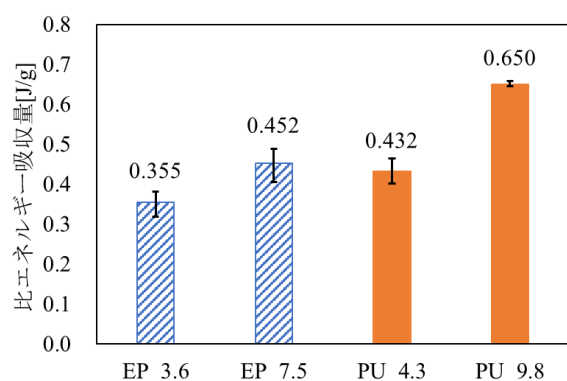


図5 比エネルギー吸収量の比較

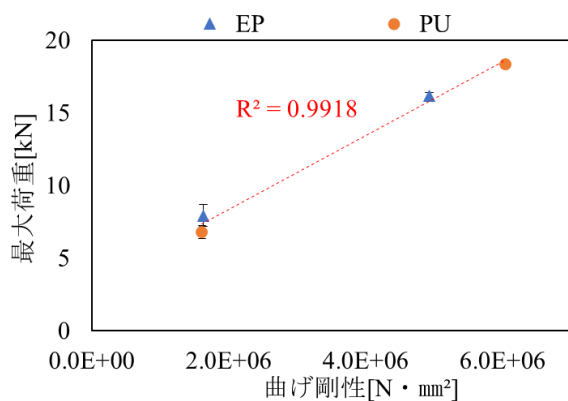


図6 最大荷重と曲げ剛性の関係

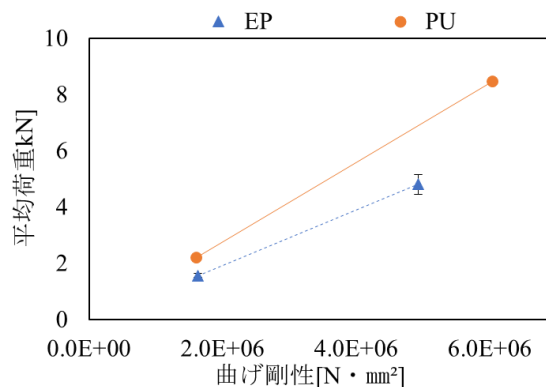


図7 変位50mm以降の平均荷重と曲げ剛性の関係

5. 結言

本研究では、現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂を用いて FW 法で成形した GFRTP 円筒の落錘衝撃試験を行い、エネルギー吸収特性を評価した結果、GFRP 円筒の比エネルギー吸収量はマトリックス樹脂の影響を受け、破壊じん性値の高いPUを用いた方が比エネルギー吸収量は大きくなることがわかった。

参考文献

- 1) 田邊 弘人, 宮坂 明博, 山崎 一正, 他, 新日鉄技報, 354, (1994) pp.48-53.
- 2) 史 棟勇, 渡辺 憲一, R&D 神戸製鋼技報, 69, 1, (2019) pp.65-70.
- 3) 佐藤 始夫, 内海 幸博, 渡辺 憲一, R&D 神戸製鋼技報, 57, 2, (2007) pp.23-26.
- 4) 平山紀夫, 西田裕文, 杉田勇史, 鶴澤潔, 山田欣範, 強化プラスチック, 66-11, (2020)pp.519.