

ノート

麻繊維/ポリアミド 11 複合材料の曲げ特性に及ぼす溶融混練の影響

山中 寿行\*<sup>1)</sup> 梶山 哲人\*<sup>2)</sup> 西谷 要介\*<sup>3)</sup>

Influence of melt mixing on the bending properties of hemp fiber / polyamide 11 composites

Toshiyuki Yamanaka\*<sup>1)</sup>, Tetsuto Kajiyama\*<sup>2)</sup>, Yosuke Nishitani\*<sup>3)</sup>

キーワード: 麻繊維, 植物由来ポリアミド 11, 溶融混練, 曲げ特性

Keywords: Hemp fiber, Bio-based polyamide 11, Melt mixing, Bending properties

1. はじめに

持続可能型社会の構築に向けて, 植物由来材料の積極的な利用に関心が寄せられている。プラスチックは主に石油をはじめとする化石資源から製造されるが, 資源循環の観点から, 植物由来プラスチックの普及が期待されている。一方, プラスチックの強化材としてガラス繊維がよく使用されているが, 廃棄処分時の問題などから, 有機系繊維, 特に資源として豊富な天然繊維が注目を集めている<sup>(1)</sup>。

我々は, 植物由来材料で構成される天然繊維強化高分子系複合材料の開発に取り組んできた<sup>(2)</sup>。天然繊維とプラスチックを溶融混練によって複合化するとき, 繊維の折損を防止し, 複合材料の機械的性質を最大限向上させることが重要である。本報では, 溶融混練条件が複合材料の機械的性質に及ぼす影響について検討した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 材料 植物由来プラスチックとして, トウゴマを原料に製造されるポリアミド 11(アルケマ製 Rilsan BMN O, 以下 PA11) を用いた。強化材として, 麻繊維(ヘンプレボ製, 以下 HF) を用いた。PA11 との界面接着性改善のため, HF は約 5 mm に切断した後, 水酸化ナトリウム水溶液によるアルカリ処理およびウレイド基を有するシランカップリング剤による表面処理を施したものを使用した<sup>(2)</sup>。

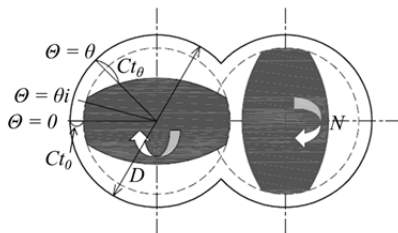


図 1. バッチ式二軸混練機の断面図

2.2 溶融混練 PA11 と HF の溶融混練は, バッチ式かみ合い型二軸混練機(東洋精機製作所製ラボプラストミル KF15V) を用いて行った。混練機の断面図を図 1 に示す。高瀬ら<sup>(3)</sup>の報告と同様に, シリンダ内径  $D$ , 最小クリアランス  $C_{t0}$ , 任意の角度におけるクリアランス  $C_{t\theta}$ , 回転速度  $N$  から最大せん断速度  $\dot{\gamma}_{max}$ , 最小せん断速度  $\dot{\gamma}_{min}$ , 平均せん断速度  $\dot{\gamma}_m$  をそれぞれ(1)-(3)式より求めた。

$$\dot{\gamma}_{max} = \pi(D - 2C_{t0})N/C_{t0} \quad (0 \leq \theta \leq \theta_i) \dots\dots\dots (1)$$

$$\dot{\gamma}_{min} = \pi(D - 2C_{t\theta})N/C_{t\theta} \quad (\theta = 90^\circ) \dots\dots\dots (2)$$

$$\dot{\gamma}_m = \left[ \frac{\pi(D - 2C_{t0})N\theta_i}{C_{t0}} + \int_{\theta_i}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\pi(D - 2C_{t\theta})Nd\theta}{C_{t\theta}} \right] / \frac{\pi}{2} \quad (0 \leq \theta \leq 90^\circ) \quad (3)$$

図 2 に混練機の回転速度とせん断速度との関係を示す。回転速度に比例してせん断速度が増加していることがわかる。本実験における溶融混練条件は, 回転速度を 60, 180 および 300 rpm に設定した。このとき,  $\dot{\gamma}_m$  は順に 28.8, 86.4 および 144  $s^{-1}$  である。混練時間  $t$  は 60 および 300 秒とし, 溶融温度は 200°C に固定した。材料は混練前に 80°C で 12 時間以上真空乾燥した。

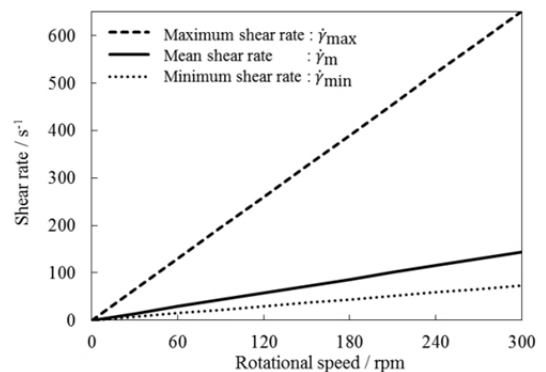


図 2. 混練機の回転速度とせん断速度の関係

2.3 試験片の作製 混練物を破砕し, 80°C で 12 時間以上真空乾燥した後, 空圧式射出成形機(井元製作所製 IMC-193C 改良型) を用いて小型矩形試験片(長さ 40 mm, 幅 5 mm, 厚さ 1 mm) を作製した。

事業名 平成 26 年度 基盤研究, 平成 26 - 27 年度 共同研究  
 \*<sup>1)</sup> 経営企画室  
 \*<sup>2)</sup> 城南支所  
 \*<sup>3)</sup> 工学院大学

2. 4 曲げ試験 機械的性質の測定として、万能試験機（島津製作所製オートグラフ AG-Xplus）を用い、ロードセル容量 50 N、支点間距離 16 mm、試験速度 1 mm/min の条件で試験片の 3 点曲げ試験を行った。

### 3. 結果と考察

$\dot{\gamma}_m$  を変化させて熔融混練した HF/PA11 複合材料の代表的な曲げ応力-ひずみ曲線を図 3 に示す。PA11 に対して HF の充填により曲げ応力の初期勾配から求められる曲げ弾性率および曲げ強さが向上していることがわかる。また、 $\dot{\gamma}_m$  の違いが複合材料の曲げ特性に影響を及ぼし、曲げ弾性率と曲げ強さはともに  $\dot{\gamma}_m$  が小さいほど高く、 $\dot{\gamma}_m$  が 28.8 s<sup>-1</sup> のとき曲げ弾性率 2460 MPa、曲げ強さ 78.9 MPa を示した。試験片を加熱圧縮した約 100  $\mu$ m の薄膜を光学顕微鏡で観察した写真を図 4 に示す。 $\dot{\gamma}_m$  が 28.8 s<sup>-1</sup> のときと比べ、144 s<sup>-1</sup> のとき複合材料中の繊維が短く切断されていることが確認できた。このとき、図 2 に示すように  $\dot{\gamma}_m$  や  $\dot{\gamma}_{min}$  と比べて  $\dot{\gamma}_{max}$  は著しく増大し、クリアランスの最小部で発生するせん断応力によって繊維折損が生じたと予測される。 $\dot{\gamma}_m$  が異なれば PA11 の粘度も変化するため単純な比較はできないが、 $\dot{\gamma}_m$  が高いとき、熔融混練中に大きなせん断応力が負荷され、複合材料中の繊維長が短くなった結果、曲げ特性を低下させたと考えられる。これらの結果から、低いせん断速度での熔融混練が天然繊維の折損防止に効果的と判断できる。

HF/PA11 複合材料の曲げ弾性率に及ぼす総せん断ひずみ量の影響を図 5 に示す。総せん断ひずみ量とは  $\dot{\gamma}_m$  と混練時間  $t$  の積のことである。 $\dot{\gamma}_m$  が一定のとき、つまり粘度一定のとき、総せん断ひずみ量が増加しても、曲げ弾性率の低下は少なかった。曲げ強さも同様の傾向を示し、 $\dot{\gamma}_m$  一定で総せん断ひずみ量が増加しても曲げ強さの低下は少なく、混練時間の増加が曲げ特性に与える影響は少ないことがわかった。これらの結果から、混練初期過程でせん断応力によって繊維は切断され、それ以上混練を続けても複合材料の曲げ特性に大きな影響を与えるほどの繊維長の変化や繊維の損傷がなかったと推察される。また、天然繊維の熱劣化の影響を考慮すれば、短い混練時間のほうが天然繊維とプラスチックの複合化に適切であると考えられる。

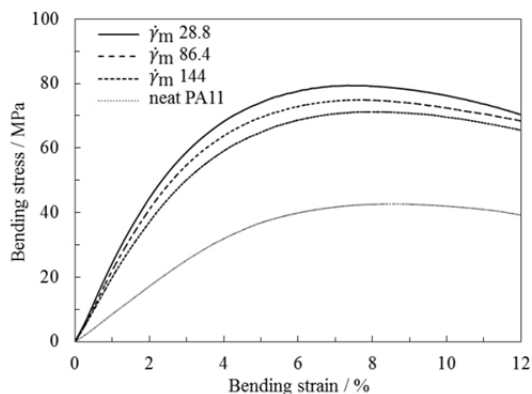


図 3. HF/PA11 複合材料の代表的な曲げ応力-ひずみ曲線

HF 含有量: 20 vol.%, 混練時間  $t$ : 60 s

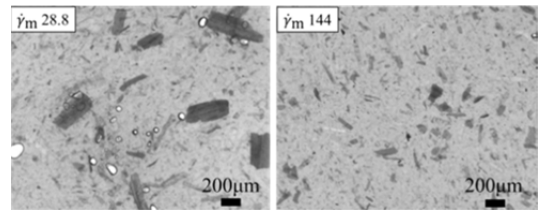


図 4. HF/PA11 複合材料薄膜の光学顕微鏡写真

HF 含有量: 20 vol.%, 混練時間  $t$ : 60 s

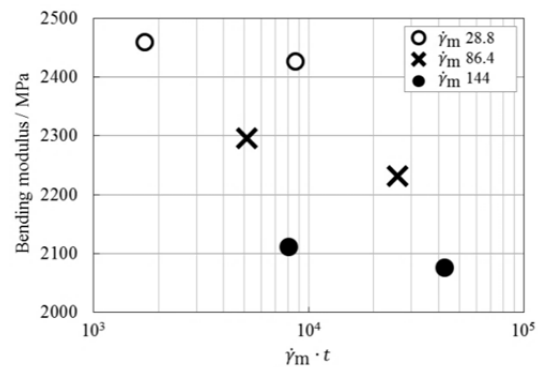


図 5. HF/PA11 複合材料の曲げ弾性率と総せん断ひずみ量の関係

HF 含有量: 20 vol.%

### 4. まとめ

麻繊維/ポリアミド 11 複合材料の曲げ特性に及ぼす熔融混練条件の影響を検討した結果、低いせん断速度かつ短い混練時間のとき、複合材料は最も高い曲げ弾性率および曲げ強さを示し、特にせん断速度が与える影響が大きかった。天然繊維とプラスチックの複合化について、繊維折損を防止する熔融混練条件に関する指標を得ることができた。

### 謝辞

本研究の一部は工学院大学総合研究所プロジェクト研究の助成を受けたものであり、関係各位に謝意を示します。

(平成 28 年 7 月 4 日受付, 平成 28 年 7 月 26 日再受付)

### 文 献

- (1) 木村昭夫:「環境に優しい複合材料を目指して 3. 環境に優しい天然繊維強化複合材料」, 材料, Vol.50, No.10, pp.1158-1163 (2001)
- (2) 向田準, 西谷要介, 山中寿行, 梶山哲人, 北野武:「3 成分系植物由来複合材料 (麻繊維/ポリアミド 1010/TPE) の機械的およびトライボロジーの性質に及ぼす植物由来 TPE の種類の影響」, 材料試験技術, Vol.61, No.1, pp.3-11 (2016)
- (3) 高瀬博文, 見片康彦, 松田聡, 村上惇:「二軸押出機によるポリマー中のカーボンナノチューブの分散」, 成形加工, Vol.14, No.2, pp.126-131 (2002)