

プレス成形による軽量高剛性グリーンコンポジットの開発および加水分解が及ぼす曲げ弾性・衝撃特性への影響の解明

琉球大学工学部機械システム工学科

准教授 柴田 信一

(平成 17 年度研究開発助成 AF-2005019)

キーワード：射出成型，プレス加工，コンポジット，植物繊維

1. 緒言

近年、植物繊維を繊維強化プラスチックの強化材として使用するという試みが研究・技術ともに多く報告されている。植物繊維はガラス繊維などと比較すれば、比重が軽く、安価で、その環境負荷は少ないとされている。しかしながら、射出成型においては高温で成形を行う場合は繊維の劣化、熱分解ガスの発生、衝撃値の低下、樹脂との界面における相性など解決すべき問題は多い。そこで本研究では、ポリプロピレンとバガス繊維のプレスおよび射出成形体における機械的性質の評価と吸水特性に関する研究を行った。

2. 実験方法

2.1 射出成形体の作製

バガス繊維とはサトウキビを搾汁後に乾燥させた植物繊維である。これを脱ピス処理し、PP（ポリプロピレン）と温度 190℃で混練し、冷却過程で粉碎することで、ペレットを得た（直径 2-4mm）。このペレットを用い、図 1 に示すような成形体を射出成型により作製した。成形条件は射出温度 165, 185, 205, 225, 240, 260℃とし、射出圧力 110kg/cm²、射出速度 138, 550mm/sec、金型温度 30, 90℃とした。

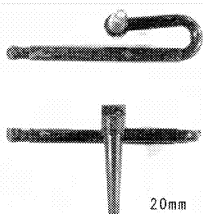


図 1 射出成型試験片

2.2 バガス-ポリプロピレンボードの吸水実験

30 mm×60 mm 枠の金型に複合材料のペレットを隙間なく敷きつめ、ホットプレス成形により作製した。成形条件は、プレス温度 210℃、加熱時間 6 分とした。試験片材料・板厚の条件を Table 1 に示す。吸水試験には内蓋で密閉できるサンプルビンを使用した。水道水で満たしたビンに試験片を没入し、空気が入らないよう内蓋で密閉して静置した。浸漬時間は 2, 8, 14, 20, 26, 32 時間とした。

表 1 水分吸収試験条件

材料 板厚		②板厚別			
		BF20-PP	BF50-PP	KF20-PP	KF50-PP
①材料別→	1. 5mm	6	6	6	6
	2. 5mm		6		
	3. 5mm		6		
	4. 5mm		6		

3. 実験結果

3.1 曲げ物性と衝撃値に及ぼすバガス繊維量の影響

図 2 はバガス・ポリプロピレン(BF-PP)成形体の曲げ弾性率、曲げ強度およびシャルピー衝撃値と繊維重量率との関係である。図から、曲げ弾性率は複合則に従いバガス繊維重量率とともに上昇したが、衝撃値は低下した。曲げ弾性率はバガス 50%で約 3800MPa を示した。曲げ弾性率は流動性が悪い条件(高速射出, 高金型温度)は流動性の良い条件(低速射出, 低金型温度)と比較して、10-15%程度の低下が生じたが、衝撃値には流動性への影響は認められなかった。

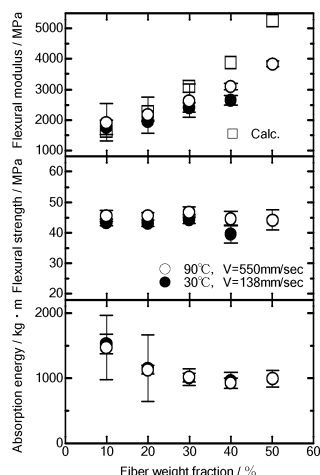


図 2 機械的物性と繊維含有量との関係

3.2 曲げ物性と衝撃値に及ぼす射出温度の影響

図 3 は射出成型温度を 165-260℃まで変化させた場合の、曲げ弾性率、曲げ強度と衝撃値である。射出成型条件として、30 秒および 3 分間隔の条件により成形を行った。その結果、曲げ弾性率は 185℃で最大値を示したが、それ以降ではすべての物性値が低下した。3 分間隔で行った成形の場合には、30 秒に比較して衝撃値が著しく低下した。

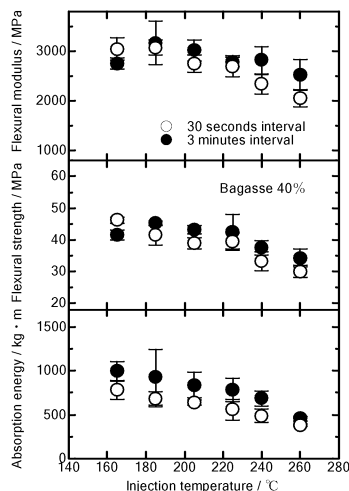


図 3 機械的物性と射出成型条件

また、図4に示すように高温成形時には充填不足により歩留りが著しく低下した。これは熱分解ガスによる影響であると推定し、成形前にガス抜きを行ったところ、図中の白丸で示すように成功率は向上した。ガス抜き時は、高温で成形するほどノズルからのガス噴出が多いことが確認された。また、ノズルタッチしない状態での成形温度と複合材料の射出量との関係を調べた結果、185℃以上では射出量の減少が確認されたが、260℃においても成形体の重量よりも射出量は確保されていることから、ノズルタッチ時にはガス抜きが不十分になり、結果的にシリンダ先端の内圧を生じ、計量が不十分になったことが260℃における成功率低下の主な原因であると考えられる。

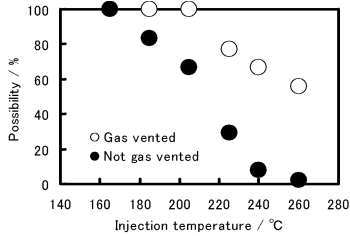


図4 射出成形充填不足率と射出温度との関係

次にバガス繊維のTGA曲線を測定した。測定条件は大気中、バガス粉末試料6mg、加熱速度10K/secで行った。その結果を図5に示す。図から、200℃以上でバガスの熱分解が活発になることがわかった。この熱分解により、高温成形時にはバガス繊維は柔らかくなり射出時に繊維長が短くなると思われる。さらに成形体の比重が射出温度とともに低下したことから、高温で成形するとガスが成形体に混入すると思われる。これらが原因で、図3に示すようにすべての物性値が低下したと考えられる。

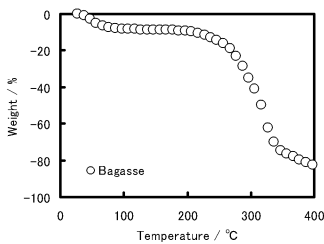


図5 バガス繊維のTGA曲線

3.3 曲げ物性と衝撃値に及ぼす添加剤および化学処理繊維の影響

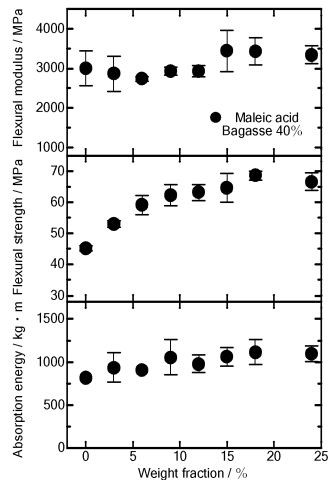


図6 機械的物性と添加物含有量との関係

バガス含有量の増加に伴う衝撃値の低下を改善するため、添加剤の使用を検討した。図6は曲げ弾性率、強度および衝撃値と無水マレイン酸(MAH)を含有する変性PP(MAH0.5wt%)の添加量との関係である。既存のPPとバガス繊維を所定量分MAHPPで置き換え、物性に及ぼす影響を検討した。その結果MAHPPは、添加量15%で曲げ強度67%、衝撃値を37%増加させることが確認された。図7は衝撃試験片の破面である。破面観察からは繊維抜けと繊維破壊の2通りが観察された。しかし、添加物無しのPP+BF40%の場合、図7aに示すように主に観察されるのは繊維抜けであった。一方、変性PP9%の添加で、図7bに示すように、破面は全体的にフラットになり、繊維は段が生じていることが認められた。これは無水マレイン酸により樹脂と繊維の界面密着性が改善されたためである。

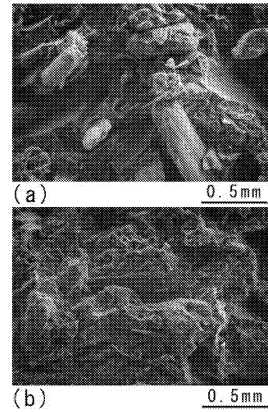


図7 衝撃試験後の破断面SEM観察(a) BF40-PP, (b) BF40-PP (MAHPP9%)

図8は曲げ物性及び衝撃値と各種化学処理バガス-PP複合材料との関係である。曲げ弾性率は処理方法に関係なく、バガス繊維量により決定されることが判明した。衝撃値はNaOH処理により、未処理もしくは他の化学処理に比べ25-30%の増加が認められた。NaOH処理バガスの短繊維引張試験の結果によると、伸びが未処理バガスの2.0%に対し2.9%であった。この伸びの良さが衝撃エネルギーの吸収に寄与したものと思われる。

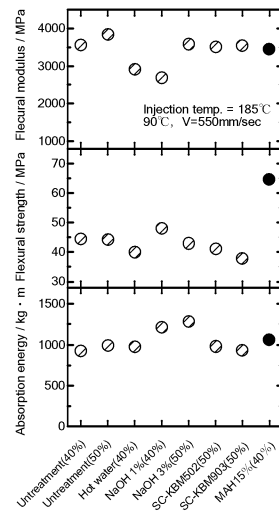


図8 繊維の機械的物性と化学処理との関係

3.3 高流動ポリプロピレン(hfPP)材料, 高密度ポリエチレン

(hdPE)材料のMFR測定

前節より成形温度の上昇に伴う物性値の低下が判明したが, 高温成型における高流動性を維持するため, 高流動PPの使用を試みた. 図9は各材料におけるMFRと温度との関係である. 図から, BF20-hfPPにおいてPPとほぼ同等, BF30-hfPPにおいてBF20-PPとほぼ同等のMFRが測定された. これから, BF-hfPP材料はBF-PP材料に比較して繊維含有率を上げて高い成形性を維持することができるといえる. 図10は射出温度を変化させたときのBF20-PP, BF20-hfPPと曲げ物性との関係である. hfPP材料の曲げ弾性率, 曲げ強度が2500MPa, 49MPaであるのに対し, BF-PP材料は2000MPa, 40MPaであることから, hfPP使用により曲げ物性は改善された. hfPPはその高流動性ゆえ, バガスとの混練時間が短く, 低粘性による成形時の繊維の折損が生じにくいことが, 曲げ弾性率, 曲げ強度の向上に貢献していると思われる.

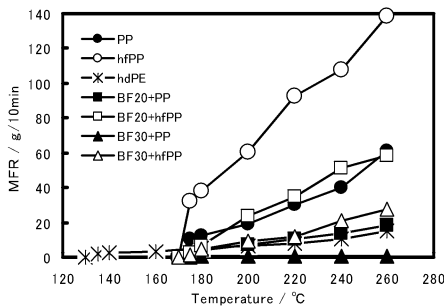


図9 MFRとシリンダー温度との関係

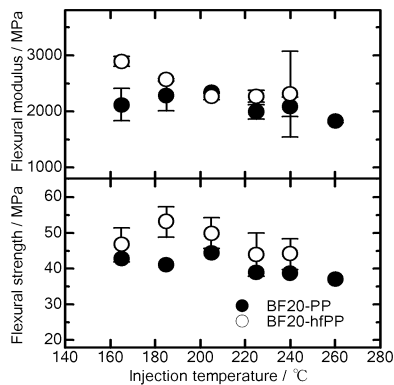


図10 機械的物性とBF20-PP and BF20-hfPPによる射出温度との関係

3.4 バガス-ポリプロピレンボードの吸水実験

材料別吸水試験の重量, 板厚変化の結果を図11に示す. BF-PP, KF-PP (KF:ケナフ繊維)ともに繊維含有量が増加すると重量および板厚が大きく増加した. これはバガスの繊維方向が板長方向に対して平行であるために, 繊維が吸水すると板厚方向に膨張するためである. 板厚方向は繊維に対する拘束が少ないことも寄与している. BF50-PPでは重量増加率は21%, 板厚変化は14%に達した. BF-PPはKF-PPに比較して吸水および膨張しやすい傾向にあった. これはバガス繊維の断面構造がケナフ繊維よりもポーラスな構造であるためと考えられる.

図12は材料別ボードの吸水前後と曲げ物性との関係である. この結果からバガス, ケナフ含有量が50%と高いものは曲げ物性の劣化が認められた. 含有率20%の場合は吸水前後では物性変化は少なかった. これらは板厚変化における実験結果と符合していると言える.

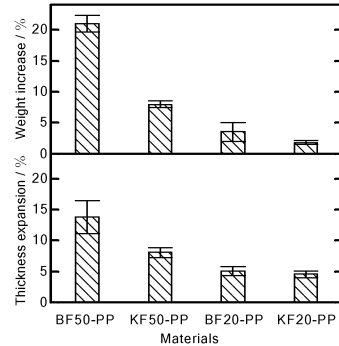


図11 試験片重量と試験片厚みの及ぼす水分吸収量への影響

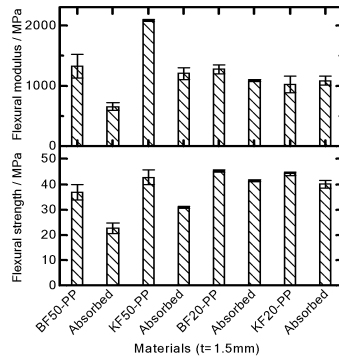


図12 各種吸水実験によるバガス材の機械的物性

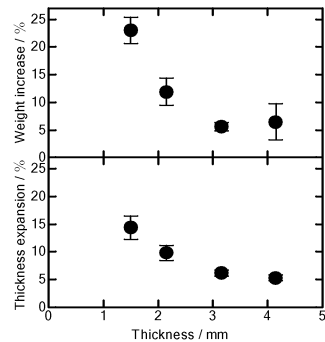


図13 吸水実験における板厚および重量変化

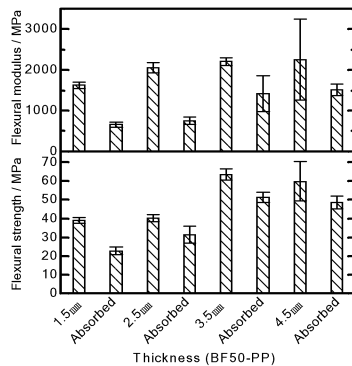


図14 板厚別ボードにおける吸水前後の機械的物性の変化

次に板厚別吸水試験の重量、板厚変化の結果を図 13 に示す。材料別の吸水実験では、BF-PP、KF-PP とともに寸法変化において板厚変化が最も大きかった。これは試験片表面からの吸水が主たる原因で、繊維の膨張が板厚方向に生じるためである。しかし PP 材においては試験片厚が厚くなるほど、表面からの水が浸透する割合が少なくなるために、板厚方向への厚み変化が少なくなるためと思われる。

図 14 は板厚別ボードの吸水前後と曲げ物性との関係である。吸水後では曲げ物性のいずれも低下が生じている。これは板厚が厚くなり、板厚変化が少なくなっても表面近傍で水の吸収が生じるために曲げ物性への影響が大きいためである。

4. 結言

本研究では繊維と樹脂の混合比、射出成形条件の選定、添加剤・化学処理繊維・ポリプロピレン以外の母材の試み、歩留まり向上の検討といった基礎事項の研究を行った。得られた結論は以下のとおりである。

(1) バガスの繊維含有量は、含有率(重量%)が上昇するに伴って、曲げ物性は上昇したが衝撃値は 30 w %まで低下し、以降一定となることがわかった。また射出条件は、金型温度、射出速度が 90℃-550mm/sec と材料の流動性が良い条件は、30℃-138mm/sec に比較して 10-15%曲げ弾性率が高かった。射出温度については、温度が上昇するにしたがってすべての物性値が低下した。

(2) 添加剤は、MAHPP 添加で衝撃値は 25%、曲げ強度は 45%の増加が認められた。化学処理繊維は、NaOH 処理バガス使用で衝撃値が 25-30%増加することがわかった。また、歩留まりを向上させるために成形工程でのガス抜きを考案し試みたところ、成功率が飛躍的に上昇した。

(3) 吸水性を検討するために、BF-PP ボードの水中浸漬による吸水実験を行い、吸水前後の曲げ物性を測定した。この際、比較のために KF-PP ボードも同時に測定した。板厚を 1.5 mm に固定して材料別に見てみると、両材料とも繊維含有量が増加すると重量および板厚が大きく増加したが、板長および板幅は板厚に比較して、1.5%以下の寸法変化であった。

ただし、BF-PP は KF-PP に比べて吸水および膨張しやすい傾向にあった。また物性試験の結果、両材料とも繊維含有量が多くなるほど、曲げ弾性率、曲げ強度ともに低下が認められた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり研究助成をいただいた(財)天田金属加工機械技術振興財団に、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 廣恵章利, 本吉正信 “プラスチック成形加工入門” / 日刊工業新聞社(1990)
- 2) さとうきび製造業の省エネルギー・リサイクル及び新製品開発に関する調査報告書 / (財)沖縄県産業振興公社, 沖縄県産業情報センター 編
- 3) (社)西日本プラスチック製品工業協会での公演内容 (2006.6.15)
- 4) (株)東レ製品情報: シランカップリング剤
- 5) ポリプロピレンの話: 中央大学父母連絡会発行「草のみどり」1996.08(第98号) 教養講座(第79回)から転載
- 6) プラスチックの豆知識: (株)石本マオラン HP
- 7) ポリエチレン樹脂
- 8) エドワード・P・ムーア・Jr. 編, (保田哲男, 佐久間暢 訳) “ポリプロピレンハンドブック: 基礎から用途開発まで” / 工業調査会(1998)
- 9) Hull D 編, (宮入裕夫, 池上皓三, 金原薫 訳) “複合材料入門” / 培風館(1983)
- 10) 柴田信一, 曹勇, 福本功 “バガス繊維と生分解性樹脂による複合材料の曲げ弾性係数について” / 日本機械学会論文集 C 編 71-707 (2005) pp.2414-2419
- 11) H. Fukuda and T. W. Chou “A probabilistic theory of the strength of short-fiber composites with variable fiber length and orientation” / Journal of Materials Science (1982) 17 pp.1003-1011
- 12) 長井兼宏, 横山敦志, 前川善一郎, 濱田泰以, 野口義治 “三次元強化繊維複合材料解析手法の研究(第二報, 引張・圧縮強度の解析)” / 日本機械学会論文集 A 編 60 巻 570 号 pp.514-519