

複合材料の適用技術に関する研究 ～産業機器への適用を考慮した新規複合材料の開発～

素材開発室 西川 康博, 長瀬 尚樹, 福島 清

Study on Applied Technology of Composite Materials ～ Development of New Composite Materials for Instruments ～

Yasuhiro NISHIKAWA, Naoki NAGASE and Kiyoshi FUKUSHIMA

産業機器への適用を目指した低コストかつ環境低負荷である落花生殻／ポリ乳酸樹脂複合材料を開発した。作製した落花生殻／ポリ乳酸材の吸水特性および曲げ特性を評価し、これら機械的特性に及ぼす落花生殻の充填量の影響を調べた。落花生殻の重量含有率が高くなるに伴い、落花生殻／ポリ乳酸材の飽和吸水率は高くなった。落花生の重量含有率が50%までは、それが高くなるに伴い、落花生殻／ポリ乳酸材の曲げ弾性率は向上した。一方、重量含有率が25%以上では、それが高くなるに伴い、曲げ強度は低下した。

1. はじめに

ニーズが高まりつつある複合材料に関して、産業機器への適用を目指した低コストかつ環境低負荷の複合材料の開発を行った。

素材の1つに産業廃棄物として取り扱われている落花生殻を用いた。落花生殻は(1)加工工場において排出および集積される、(2)現在、工業的利用は見られず、原材料としての価値(コスト)は無い、また、(3)処理にはそれほど大きな施設・装置を必要としない、という特徴を有する。これらの点から、落花生殻を必要最小限の処理で原料化すれば、廉価なプラスチックの充填材あるいは強化材として利用できる可能性がある。

本研究では、落花生殻をバイオマスプラスチックの1つであるポリ乳酸樹脂に充填した複合材料を開発した。作製した落花生殻／ポリ乳酸材の吸水特性および曲げ特性を評価し、これら機械的特性に及ぼす落花生殻の充填量の影響を調べた。

2. 実験方法

2.1 落花生殻の特徴

本研究では千葉県八街市で栽培・加工された落花生殻を用いた。水中に24時間以上浸漬させた落花生殻を粉砕機および石臼を用いてすりつぶし、電気炉内で乾燥(100℃×6時間)させた。その後、目開き500 μm の篩にかけ、落花生殻粉末を得た。粒度分布測定装置(Mastersizer S; Malvern Ins

truments)を用いて粉末の平均粒径を測定した結果、約294 μm であった(但し、粉末の形状は球形であるとは限らない)。図1に落花生殻粉末の様子を示す。図1(a)に示すように、比較的大きな粒径を持つ粉末には図1(b)に示すような直径10～15 μm の繊維が多く含まれていた。一方、図1(c)に示すように、繊維をそれほど含まない粉末の粒径は小さかった。これらの粉末には図1(d)に示すような空洞が多く存在することが確認された。密度・比重測定装置(PENTA-PYCNOMETER; QUANTACHROME Co.)を用いて粉末の密度を測定した結果、約1.45 g/cm^3 であった。



(a) Big size powder



(b) Fiber



(c) Small size powder



(d) Cavity

図1. SEM photographs of peanut husk powder.

2.2 成形方法

母材にはポリ乳酸樹脂（ランディー PL-1000；ミヨシ油脂）を用いた。この樹脂は、ポリ乳酸微粒子（粒径約5 μ m）の水系分散体である。水系分散体のポリ乳酸樹脂の価格は高い。しかし、混練機等の専用装置を用いることなく大量の粉状充填材を樹脂と容易に混合することができるという利点がある。密度・比重測定装置を用いてポリ乳酸樹脂微粒子の密度を計測した結果、約1.27g/cm³であった。

落花生殻とポリ乳酸樹脂の混合物を負圧力（約0.1MPa）下でろ過し、得られた成形体を80 $^{\circ}$ Cの電気炉内で6時間乾燥させた。その後、卓上型ホットプレス機を用いて落花生殻／ポリ乳酸材を作製した。成形温度を180 $^{\circ}$ C、プレス圧力を5MPa、成形時間を15分とした。加熱・加圧後は実験室環境下で徐冷した。

落花生殻／ポリ乳酸材の厚みは2.2mmであった。各試験片は落花生殻／ポリ乳酸材からダイヤモンド工具を用いて所定の形状・寸法に切り出した。以後、落花生殻の重量含有率が25%、50%および75%の試験片をそれぞれ、25%含有試験片、50%含有試験片および75%含有試験片と呼ぶ。

2.3 試験片および試験方法

吸水特性の評価には、長さ・幅ともに25mmの試験片を用いた。試験片は事前に電気炉内にて50 $^{\circ}$ Cで24時間乾燥させた。吸水前の試験片質量を計測した後、蒸留水（23 \pm 2 $^{\circ}$ C）中に浸漬させた。任意時間ごとに試験片を水から取り出し、フィルター紙で試験片表面の水滴を十分に拭き取り、電子天秤を用いて吸水した試験片の質量を計測した。任意時間での吸水率 c_t [%]は以下の式を用いて算出した。

$$c_t = (m_t - m_0) / m_0 \times 100$$

ここで、 m_0 は吸水前の試験片質量、 m_t は吸水後の試験片質量である。

曲げ特性の評価には、長さ60mm、幅25mmの試験片を用いた。3点曲げ試験には万能材料試験機（Model15567；INSTRON）を用いた。制御方式を変位制御とし、変位速度を1mm/min、支点間距離を36mmとした。試験は全て実験室環境下（23 \pm 2 $^{\circ}$ C、50 \pm 5%RH）で行った。

3. 結果及び考察

3.1 吸水特性

図2に各試験片の吸水率の時間変化を示す。試験片個数は各3個とした。75%含有試験片のデータにおいて若干のばらつきが見られたが、他の試験片ではデータのばらつきはほとんど見られなかった。図に示すように、各試験片ともに吸水率は試験開始から72時間まで急激に増加し、その後、緩やかな増加に転じた。吸水開始から840時間以降、各試験片における吸水率は変化しなくなり飽和に達した。

落花生殻の重量含有率が高くなるに伴い、飽和吸水率も高くなる。ポリ乳酸樹脂試験片の飽和吸水率（1.63%）と比較して、25%含有試験片、50%含有試験片および75%含有試験片のそれは、それぞれ3.4倍、8.4倍および15倍高くなった。

落花生殻／ポリ乳酸材の吸水現象では、落花生殻が有する微小空洞が毛細管の役割を果たすと考えられる。落花生殻の充填量の増加は、微小空洞の増加を招き、毛細管現象による吸水が促進されるため、飽和吸水率が高くなったと考えられる。

3.2 曲げ特性

図3に曲げ弾性率と落花生殻の重量含有率の関係を示す。試験片個数は各5個とした。図に示すように、重量含有率が50%までは、それが高くなるに伴い、曲げ弾性率は向上した。曲げ変形の初期においては落花生殻／ポリ乳酸樹脂間の界面接着性に関係なく、落花生殻に含まれる繊維等が強化材として有効に働くために曲げ弾性率が向上する。一方、充填量が過多になると、落花生殻を固めるポリ乳酸樹脂量が少なく、変形しやすいために曲げ弾性率は低下したと考えられる。

図4に曲げ強度と落花生殻の重量含有率の関係を示す。図に示すように、25%含有試験片の曲げ強度はポリ乳酸樹脂のそれよりも高い。本研究による成形条件（プレス圧力5MPa）ではポリ乳酸樹脂の曲げ強度は62.4MPaであった。しかし、藤井ら¹⁾の報告によれば、同じ材料（ランディーPL-1000）を用いた場合のポリ乳酸樹脂の曲げ強度は約80MPa（プレス圧力120MPa）である。このことから、成形条件が異なればポリ乳酸樹脂の曲げ強度が25%含有試験片のそれよりも高くなる可能性もある。落花生殻の重量含有率が25%以上では、それが高くなるに伴い、落花生殻／ポリ乳酸材の曲げ強度は低下した。

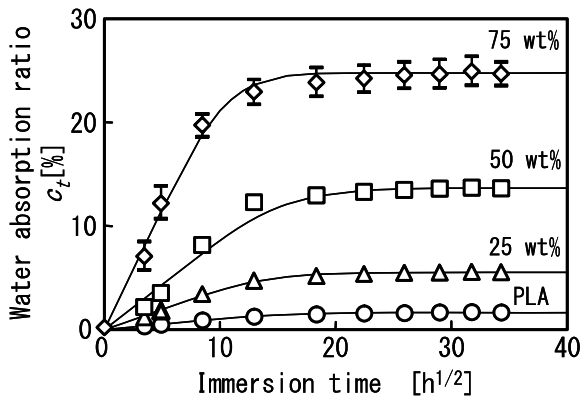


図2. Water absorption ratio of composite materials.

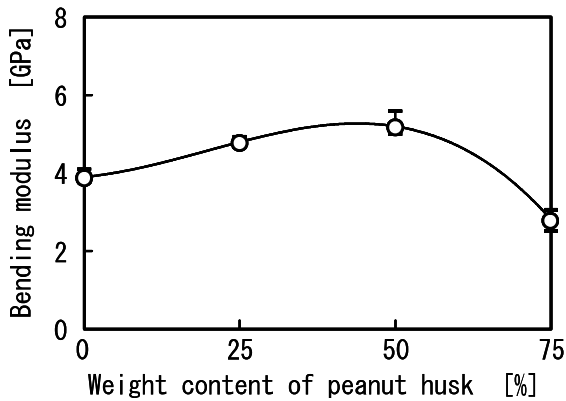


図3. Bending modulus with respect to weight content of peanut husk.

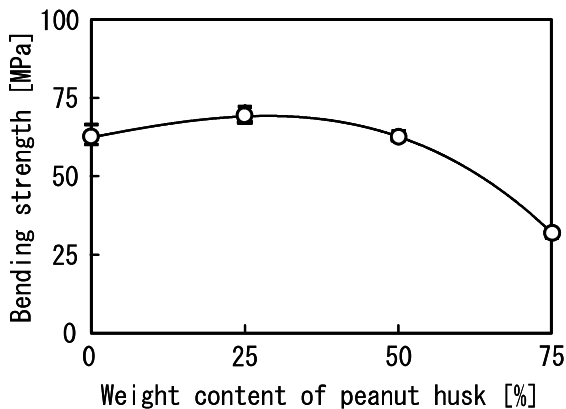
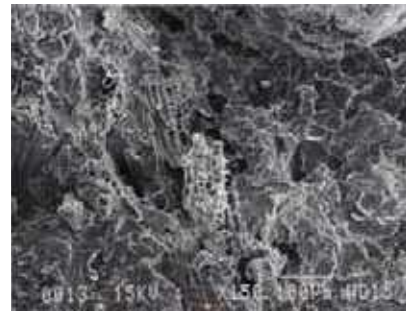
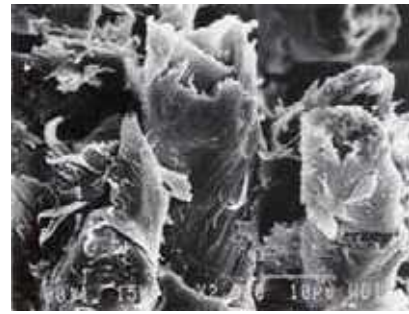


図4. Bending strength with respect to weight content of peanut husk.

図5に試験後の試験片の破断面の様子を示す。図5(a)に示すように、材料中に存在する多数の空洞が破壊の起点となるため、曲げ強度が低下したと考えられる。また、図5(b)に示すように、繊維の周りにはポリ乳酸樹脂の付着が見られず、繊維／樹脂間の界面接着性が低いために繊維の引



(a) Fracture surface (tensile side)



(b) Magnified photograph

図5. Fracture surface of specimen with 50% weight content of peanut husk.

抜が生じている。このことから、繊維による強化作用が十分に機能せず、むしろ破壊の起点となったために曲げ強度が低下したと考えられる。

4. まとめ

- (1) 落花生殻の重量含有率が高くなるに伴い、飽和吸水率は高くなる。特に、落花生殻の重量含有率が75%の材料の飽和吸水率は、ポリ乳酸樹脂のそれと比較して15倍高くなる。
- (2) 落花生の重量含有率が50%までは、それが高くなるに伴い、落花生殻／ポリ乳酸材の曲げ弾性率は向上する。落花生殻の重量含有率が25%以上では、それが高くなるに伴い、落花生殻／ポリ乳酸材の曲げ強度は低下する。

本研究を遂行するにあたり千葉県八街市の有限会社ますだ様に落花生殻を提供していただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) N. Yamashita, K. Okubo and T. Fujii, *Bamboo Journal*, 21, 35-45, (2004)