廃タイヤ粉末強化複合材料の機械的特性*

坂井 建宣^{*1}, 若山 修一^{*1}, C-R Rolando Soberanis^{*2}, J. Rodriguez-Laviada^{*2}, E. Perez-Pacheco^{*3}

Mechanical Properties of Wasted Tire Powder Composites

Takenobu SAKAI^{*1}, Shuichi WAKAYAMA^{*1}, C-R Rolando Soberanis, J. Rodriguez-Laviada
and E. Perez-Pacheco

^{*1} Tokyo Metropolitan Univ. Dept. of Mechanical Engineering
1-1, Minami-Osawa, Kodaira-shi, Tokyo, 192-0397 Japan

Key Words : Wasted Tire, Composite, PLA, Impact test, Dynamic Mechanical Analysis

1. 緒 言

現在, 再生可能資源からの生産と生分解性の2つを満たしている生分解性プラスチックの1つにポリ乳酸樹脂がある。これは生分解性プラスチックの中でも比較的高い機械的性質を有しているが, ぜい性的であり, 使用に際する信頼性が問題となる。このぜい性の克服が可能となれば, 使用範囲の拡大が期待できる^{(1),(2)}。

一方, 現在メキシコでは使用済タイヤの廃棄が問題となっており, 社会的に使用済タイヤの再利用が行われている。それでも, 使用済タイヤを再利用する際にタイヤ表面を研削し, 排出されるフレーク状のタイヤが未だ問題であり, フレーク状のタイヤの再利用方法の開発が求められている^{(3),(6)}。本研究では, ポリ乳酸のぜい性克服および使用範囲の拡大のため, また廃タイヤフレークの再利用のため, 弾性材料であるゴム(タイヤ)を強化材としたポリ乳酸系複合材料の作製・評価を行い, ポリ乳酸のぜい性克服だけでなく, 自動車のバンパーなどにも用いることが可能な耐衝撃性を付与することを目的とする。

2. 供試材料および実験方法

2・1 供試材料

本研究により作製する複合材料の母材樹脂であるポリ乳酸は, Cargill Dow LLC 社製 2002D を用いた。また複合化する際に用いたタイヤフレークは, メキシコ政府よりいただいた。タイヤフレークは, 2 種類の方法で熱処理され, 粉末状にされた。以下に作製方法を示す。

1) 熱衝撃粉碎: 窒素雰囲気下において 400 °C, 10min 熱処理され, その後液体窒素にて急冷された。その後, 乳鉢にて細粒になるまで粉碎された。

2) 凍結粉碎: タイヤフレークを液体窒素中に入れ, 凍結粉碎器を用いて粉碎された。

それぞれ, 平均粒径は, 熱衝撃粉碎では 50 μ m 程度, 凍結粉碎では 50~100 μ m 程度であった。2 種類の方法により得られた粉末は, PLA と混練され, 圧縮成形によって板状および円筒状に加工された。静的引張試験は, 13 × 75 × 3 mm の短冊形試験片を用いた。曲げモードにおける DMA 試験に用いられたのは, 52 × 10 × 2 mm の短冊形試験片であり, 衝撃試験には, Φ 14 × 21 mm の円筒状試験片を用いた。1)により作製された試験片を“熱衝撃粉碎材”, 2)により作製された試験片を“凍結粉碎材”と呼ぶこととする。

^{*1} 正員, 首都大学東京 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

^{*2} Centro de Investigación Científica de Yucatán, Unidad de Materiales, Calle 43, No. 130, Colonia Chuburn'a de Hidalgo, CP 97200 Mérida, YUC, Mexico

^{*3} Instituto Tecnológico Superior de Calakán en el Estado de Campeche, Avenida Ah Canul SNpor Carretera Federal, CP 24900 Calakán, CAM, Mexico
E-mail: t-sakai@tmu.ac.jp

2・2 供試材料

静的引張試験は、クロスヘッドスピード 0.5 mm/min にて行い、ひずみの計測にはひずみゲージを用いた。動的粘弾性試験は、Rheometric 社製 RSA-II を用い、負荷ひずみを 0.1 %, 温度条件を 23 ~ 60 °C, 測定周波数を 0.1 Hz ~ 10Hz として試験を行った。衝撃試験はホプキンソン棒法を用いて行われた。

3. 結果および考察

3・1 静的引張試験結果

図 1(a) に PLA 樹脂単体の結果を、(b) に熱衝撃粉砕材の、(c) に凍結粉砕材の結果をそれぞれ示す。PLA 樹脂単体において、応力ひずみ曲線は、ほぼゼい性的な挙動を示した。同様に凍結粉砕材においても程度は異なるものの、ゼい性的な性質はあまり改善されず、ただ強度が低下しただけのように見える。すなわち、凍結粉砕粉は介在物としてのみ存在していることが理解される。

それに対して、熱衝撃粉砕材では、延性的な性質を示している。また凍結粉砕粉含有量が 10% の時の方が 20% に比べて強度が高いが、弾性率は 10 % も 20 % も変わらぬ値を示した。PLA 単体と比較すると、弾性率は若干減少しているが、強度は PLA 単体とほぼ変わらぬ値を示したことから、熱衝撃粉砕粉が、PLA のゼい性改善に適していることが理解される。

Fig. 1 Stress-Strain diagrams of PLA resin and powdered tire composites

3・2 動的粘弾性試験結果

動的粘弾性試験よりエネルギー損失を示す $\tan \delta$ について、図 2 に示す。これより、全体的に熱衝撃粉砕材のエネルギー損失が大きく、さらに高ひずみ側においても損失割合があまり変化しないことから、熱衝撃粉砕材は他の材料と比較して、耐衝撃性を有していることが想定される。そこで、次に衝撃試験を行い、それらの結果について考察する。

3・3 衝撃試験結果

動的粘弾性試験より、熱衝撃粉砕材は耐衝撃性に優れる可能性が示唆された。そこで、実際に耐衝撃性を有しているかを確認するために、ホプキンソン棒衝撃試験を行った。なお、成形上の都合から、各試験片の 10% のものしか試験できなかった。表 1 に、引張試験および衝撃試験の結果を示す。静的強度と高速ひずみ下の強度の割合から耐衝撃性を考察すると、樹脂単体が最も耐衝撃性が高く、次いで熱衝撃粉砕材、そして凍結粉砕の

Fig. 2 $\tan \delta$ of each specimen

Table 1 Results of static and impact tests and strain-rate sensitivity parameter

		Static strength [MPa]	Strength at high-strain rate [MPa]	Strain-rate sensitivity parameter B[MPa]
PLA resin	0%	42.2	100.9	4.03
Thermal shocked method	10%	43.0	90.3	3.24
Frost shattering method	10%	21.2	47.8	1.82

結果となった。樹脂単体より耐衝撃性が減少している理由については、試験後の破断面観察より、ボイドが多数確認されたことが原因と考えられる。今後検討を進めていく上で、成型条件の見直しを行う必要がある。

7. 結 言

本研究において、開発した凍結粉碎・熱衝撃粉碎タイヤ粉を用い、作製した複合材料を用いて、使用済タイヤの粉碎方法の違いが機械的特性に及ぼす影響を、引張試験および、動的粘弾性試験、衝撃圧縮試験を行うことで以下のことを明らかにした。

- 1) 熱衝撃粉碎材において、PLA より弾性率は低下したが、ぜい性は改善された。
- 2) 耐衝撃性が向上しなかったため、今後成型条件の見直しを行う必要がある。

謝 辞

本研究の一部は、LIXIL 住生活財団の若手研究助成を受けて遂行されました。ここに深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) L. T. Lim, R. Auras, and M. Rubino, "Processing technologies for poly(lactic acid)," *Progress in Polymer Science*, vol. 33, pp. 820–852, 2008.
- (2) M. Ajioka, K. Enomoto, K. Suzuki, and A. Yamaguchi, "The basic properties of poly(lactic acid) produced by the direct condensation polymerization of lactic acid," *Journal of Environmental Polymer Degradation*, vol. 3, no. 4, pp. 225–234, 1995.
- (3) D. Raghavan, H. Huynh, and C. F. Ferraris, "Workability, mechanical properties, and chemical stability of a recycled tyre rubber-filled cementitious composite," *Journal of Materials Science*, vol. 33, no. 7, pp. 1745–1752, 1998.
- (4) F. A. Aisien, F. K. Hymore, and R. O. Ebewe, "Potential application of recycled rubber in oil pollution control," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 85, no. 2, pp. 175–190, 2003.
- (5) M. Sienkiewicz, J. Kucinska-Lipka, H. Janik, and A. Balas, "Progress in used tyres management in the European Union: a review," *Waste Manage*, vol. 32, pp. 1742–1751, 2012.
- (6) M. Miranda, F. Pinto, I. Gulyurtlu, and I. Cabrita, "Pyrolysis of rubber tyre wastes: a kinetic study," *Fuel*, vol. 103, pp. 542–552, 2013.