生分解性プラスチックと Mg 合金の積層複合材の機械的特性†

山田 敏 宏* 高橋 芳 弘**
鈴木 浩 治*** 船見 国 男***

Mechanical Properties of Laminated Biodegradable Plastics Composites Made with Mg Alloy as Reinforcement

by

Toshihiro YAMADA *, Yoshihiro TAKAHASHI **, Kohji SUZUKI *** and Kunio FUNAMI ***

To improve the mechanical properties of biological decomposition plastics, in this study, laminated reinforce plastics (LBRP) were made using AZ31 magnesium alloy as reinforcement, Bionolle as the base material, and an adhesion bonding agent based on cyanoacrylate and epoxy resin. The LBRP were laminated as one-layer and as two-layer composites using AZ31 magnesium alloy and Bionolle. The tensile strength of a layer of clad material increased with an increase in the volume fraction of Mg alloy, and was corresponding to rule of mixtures with mother and reinforced material. The strengths of the two-layer LBRP indicated were much greater than that assumed by the mixtures rule. Because the adhesion bonding agent flowed and bonded into the grooves of the conversion coating film, the tensile strength of the LBRP increased along with an increase in the arithmetical mean roughness on the conversion coating film. As a functional characteristic, a vibration test was carried out for these LBRP made with AZ31 magnesium alloy reinforcement, which has an excellent attenuation characteristic. In the result, the damping ratio and amplitude ratio for a layer of clad material are better than these for a base material. Therefore, the effect of the attenuation characteristic of AZ31 magnesium alloy is proved as beneficial in composites.

Key words : Biodegradable plastics composite materials, AZ31magnesium alloy, Bonding strength, Cladded material, Damping ratio, Mechanical properties

1 緒 言

プラスチック製品は、軽量かつ丈夫であり、加工成形が容易なため、自動車・船舶・家電および日用品などのあらゆる分野に使用されている身近な製品の材料のひとつである。今後もその需要は増加傾向にあり、大量に生産および消費されると予想される。しかし、プラスチック製品は、廃棄にさいし、大部分が焼却や埋め立てで処分されるため、土壌汚染、処分場不足、有害なガス発生など環境に与える負荷が大きくなっている。また、ナフサを利用しているため、石油資源の枯渇、近年の価格高騰などの多くの問題がある。

このような問題の解決策として、土中に廃棄すると、水と二酸化炭素に分解される生分解性樹脂に注目が集まっている。近年、従来のプラスチックに変わり歯ブラシ、カード、ペン、ゴミ袋や包装紙、釣り糸、農業用フィルムなど、比較的高強度を必要としない材料として生分解性プラスチックが利用されている。

生分解性プラスチックは、微生物生産系、天然物由来高分子系、化学合成高分子系などに分類されているが、現在、市販されている代表的な材料は化学合成高分子系が中心である。これら生分解性プラスチックは、従

来のプラスチックに比べ、強度や耐熱性が低いなどの問題を抱えている。そのため、生分解性プラスチック単体ではその利用範囲が限定され、大きな負荷が作用する機器・部品用材料として使用が困難である。

これら問題を解決する手段として、生分解性を失わず複合化することにより強化することが有効な強度向上の一手法であり、種々の繊維強化による複合化の研究が報告されている。^{1), 3) ~ 9)} しかしながら、強化材としての天然繊維は成育環境に影響されやすいため、天然繊維の機械的特性はバラつきが大きく、性質が不安定である。そのため、複合材の特性にもバラツキが発生する事は否めない。

本研究では、これら諸問題を解決するために強化材として繊維に代わり機械的特性が安定し、分解性の高い金属としてマグネシウムを使用する。母材に生分解性プラスチックを使用し、強化材として AZ31Mg 合金を用い複合化を図った。以下、この積層強化生分解性複合材を LBRP と称する。母材と強化材は、接着剤により複合化する手法を採用し、^{2), 10)} 作製した複合材の機械的特性と、減衰特性が良い Mg 合金を積層化したときの LBRP の減衰特性を調べた。

† 原稿受理 平成 21 年 9 月 7 日 Received Sep. 7, 2009 © 2010 The Society of Materials Science, Japan

* アシザワ・ファインテック(株) 〒275-8572 習志野市茜浜, Ashizawa Fine Tec Corporation, Akanehama, Narashino, 275-8572

** 千葉工業大学工学部 〒275-0016 習志野市津田沼, Dept. of Mech. Sci. & Eng., Chiba Inst. of Tech., Tsudanuma, Narashino, 275-0016

*** 正 会 員 千葉工業大学工学部 〒275-0016 習志野市津田沼, Dept. of Mech. Sci. & Eng., Chiba Inst. of Tech., Tsudanuma, Narashino, 275-0016

2 材料および試験方法

2・1 材料

母材として用いた熱可塑性生分解性プラスチックの選定は、(1) 生分解性プラスチックペレットをホットプレスにより溶融するため融点が 200℃ 以下、(2) 強化材のマグネシウムの変形特性に追従、という条件を満たす必要がある。この条件を満たす生分解性プラスチックより、引張強さが高く伸びが強化材に近い市販材として、脂肪族ポリエステルを構成成分とする昭和高分子 KK 製の商品名：ビオノーレ #1001（以下ビオノーレと称する）を用いた。素材ペレットは直径 3mm、長さ 4mm の形状で、その特性は、引張強さ 38MPa、破断ひずみ 15%、縦弾性係数 0.74GPa、融点 114℃ である。一方、強化材として用いたマグネシウム合金は、展伸材 AZ31B（以下 Mg 合金と称する）で、その機械的特性は引張強さ 290MPa、破断ひずみ 15%、縦弾性係数 45GPa である。

2・2 接合方法と接合強度評価方法

母材と強化材の接合は接着剤を用いた。各種接着剤の接着試験を行い、強化材と母材の最適な接着剤を選定した。試験した接着剤は、天然系接着剤として膠、でんぷん、合成系接着剤としてシアノアクリレート、酢酸セルロース、エポキシ樹脂、酢酸ビニル樹脂、ポリビニルアルコールを使用した。

接着面に垂直方向の接着強さの評価は、プルオフ試験 JIS(K 5600-5-7) を用いて行った。¹⁰⁾ ビオノーレは、ペレットをホットプレスで 160℃、10MPa の圧力で 3.6ks 保持後、80℃ まで同一圧力で自然冷却し、任意の厚さの板材に成形した。その後、直径 40mm の円形試験片に加工する。Mg 合金は、押出し材より後述の Fig. 1 (a) の形状の試験片を作製し、生分解母材と重ね合わせた。接着面積は 314.2mm² で、Mg 合金とビオノーレの各試験片は表面の油分除去のためアセトン処理後、各接着剤を用いて 10MPa で 86.4ks 加圧保持し接着した。その後、引張試験機を用いてクロスヘッドスピード 1mm/min で引張り、プルオフ試験を行った。また、接着面と平行の負荷によるせん断接着強さの評価は、引張せん断強さ試験 JIS(K 6850) を用いて行った。¹⁰⁾ 試験片に使用した Mg 合金は、圧延材（板厚 1mm）を使用し、ビオノーレは、プルオフ試験と同じ方法で作製した 1mm の厚さの成形板を、幅 25mm、長さ 100mm の試験片板に加工した。母材と Mg 合金を重ね合わせた接着面積は、プルオフ試験と同一である。Fig. 1 (b) にこれら引張りせん断強さ試験に用いた試験片形状を示す。

2・3 積層生分解複合材の作製方法

母材のビオノーレ板材は、前述の方法で作製した。強化材の Mg 合金圧延材は、厚さ 1mm の板材から圧延を行い 0.2mm の厚さとした。圧延条件は 300℃ で 1.8ks 保持後、圧延した。圧延後、板の反りを除去するため 300℃、10MPa にてプレスした。その後、平行部幅、長さ 8 × 48mm²、全長 128mm の引張試験片とするため、ビオノーレシートは、ウォータージェット加工で、Mg 合

Fig. 1 Shape and dimension of pull-off specimen (a) and shear bonding specimen (b) (thickness: 1mm) by tensile test for bonding strength of Bionolle and extrusion Mg alloy.

金はワイヤーカット加工で切り出した。強化材は、加工後、エメリー紙研磨、アルミナ研磨を行った。

引張試験片形状に切り出したビオノーレと Mg 合金を各種接着剤にて接着する。接着条件は、ステンレスプレートの上に離型材（シリコンシート）を挟み、接着剤で挟んだ LBRP をその間に並べ、プルオフ試験と同様の接合条件でプレス接着した。Mg 合金の表面処理は、物理的な表面処理方法として、エメリー紙研磨加工、ショットピーニング加工、化学的な表面処理方法として Zr 化成処理¹⁰⁾ を行う方法の 3 種類の方法を用いた。Zr 化成処理の前処理として、脱脂に濃度 5wt%、70℃ の NaOH 処理、常温酸洗いとして濃度 10wt% のアスコルビン酸処理、最後に表面調整として濃度 4wt%、80℃ の NaOH 処理を行った。その後、35℃、300s にて Zr 化成処理を行った。¹⁰⁾ 化成処理液組成は、(NH₄)₂ZrF₆ (1200ppm)、H₃PO₄ (730ppm)、HBF₄ (660ppm)、グルコン酸ナトリウム (480ppm) である。積層材の板厚は、積層した Mg 合金強化材の枚数により 2.5mm ~ 4mm とした。

2・4 減衰特性試験

振動試験に用いた試験片材料は、Mg 合金の体積含有率 5% 1 層 LBRP、体積含有率 10% 1 層 LBRP、体積含有率 5% 2 層 LBRP である。比較材料として Mg 合金、ビオノーレの他に A5081 合金、アクリル、ポリカーボネートを用いた。

LBRP の減衰特性は、幅 20mm、長さ 130mm、厚さ 4mm の片持ち矩形試験片に 1mm の変位を与えたとき

の自由度振動試験を行い、減衰波形から減衰比を求め減衰特性を調べた。材料の縦弾性係数はひずみゲージを用いて測定した。また変位はレーザー変位計で測定し、この値からばね定数を算出した。その結果、母材の縦弾性係数とばね定数はそれぞれ0.8GPa, 134N/m, 強化材のそれは44.58GPa, 5888 N/mとなった。

3 試験結果および考察

3・1 ビオノーレとMg合金の接合強度

ビオノーレとMg合金のプルオフ試験および引張せん断接着試験の結果をFig. 2に示す。ここで、横線は平均値を示す。シアノアクリレートの接着強さは、他の接着剤より引張接着強さで約1.5倍、せん断接着強さで約2倍程度の強さを示した。シアノアクリレートの実測値の値に大きなバラツキを生じているが、その主たる原因は、硬化時間の早いこの接着剤の不均一塗布とその厚み変化に起因しているものと推定される。

エポキシ樹脂も他の接着剤に比べて高い接着強さを示している。これら接合強度を2母数ワイブル分布で整理すると、累積分布関数Fと接着強さの関係は、ほぼ直線関係を示している。しかし、シアノアクリレート、エポキシ樹脂接着材と他の接着剤の形状母数を比較すると、大きなちがいを示しており、接合強度の分散状態、強度因子が異なっていることと想定される。

シアノアクリレート接着剤による引張せん断試験では接着強度が母材強度より高いため、接着強度がせん断による分離でなく引張り時に母材であるビオノーレそ

のものがMg合金との接着面付近で垂直破壊している。そこで、母材の引張強さと接着面付近の応力状態をFEM数値解析により調べた。汎用有限要素法解析コードANSYS10.0を使用し、接着界面には空隙やはく離が存在しないものとし、破壊時の垂直応力15MPaを加えたときの弾性計算を行った。解析より、母材のビオノーレがMg合金との接着面付近で応力集中のため、負荷引張応力の3倍以上の値となっている。Fig. 2 (b)のせん断応力は破断したときの応力を示したが、実際はさらに高いせん断接着強さを有するものと想定できる。

接着試験の結果から用いた接着剤の種類により接着強度に大きな差が出た原因を調べるため、接合面の界面をSEMにより観察した。Fig. 3は、接着剤にシアノアクリレート、エポキシ樹脂、酢酸セルロース、酢酸ビニル樹脂を用いた場合の強化材と母材界面のSEM写真を示す。

写真より、接着剤にシアノアクリレートとエポキシ樹脂を使用したLBRPの接着界面は、空隙が見られないが、他の酢酸セルロース、酢酸ビニル樹脂接着剤を使用したLBRPには界面に空隙が存在し、空隙からはく離し接着強さが弱くなったと考えられる。接着剤の硬化収縮率の大小とビオノーレとMg合金層間の空隙の発生に相関があり、大きな硬化収縮率を有する酢酸セルロース、酢酸ビニル樹脂接着剤の場合は、写真のような空隙が出来、接着が不十分であったと考えられる。以上のことから、接着剤はシアノアクリレートとエポキシ樹脂が最適だと考え、以後の実験では両接着剤を使用する。

3・2 Mg合金の表面処理の接合強度に及ぼす影響

つぎに前項の接合試験で選択した接着剤を使用し、強化材であるMg合金への表面処理が接合強度に及ぼす効果を調べた。表面処理前のMg合金の表面粗さは算術平均粗さ $R_a = 0.060\mu\text{m}$ 、最大高さ $R_y = 0.0542\mu\text{m}$ である。物理的表面処理として用いたエメリー研磨紙により加工した強化材の表面粗さは $R_a = 0.828\mu\text{m}$ 、 $R_y = 13.056\mu\text{m}$ となり、照射圧0.2MPaのショットピーニング加工では $R_a = 2.052\mu\text{m}$ 、 $R_y = 12.852\mu\text{m}$ 、照射圧0.5MPaのそれは $R_a =$

Fig. 2 Effect of adhesive bonds on tensile strength of adhesive bonds by (a) pull-off specimen and (b) shear bonding specimen for bionolle and Mg alloy.

Fig. 3 SEM micrographs of interface boundary of LBRP bonded Bionolle and Mg alloy with various adhesive bonds. (a): Cyanocrylate, (b): Epoxy resin, (c): Aceticacid cellulose and (d): Polyvinyl alcohol.

4.034 μm , $R_y = 23.054\mu\text{m}$ となった。また、化成処理後の表面粗さは、算術平均粗さ $R_a = 0.900\mu\text{m}$, 最大高さ $R_y = 8.656\mu\text{m}$ であった。Fig. 4は、Zr 化成処理後の Mg 合金表面状態の SEM 写真である。処理時間を長くすると平滑な処理面から、写真のようなひび割れ状の凹凸が生ずる表面となる。

これら各種表面処理を行った1層の Mg 合金を用いて作製した LBRP の各種表面処理による算術平均粗さと引張強さの関係を Fig. 5 に示す。

表面加工処理のちがいによる引張強さは、Zr 化成処理を除いて $50 \pm 7\text{MPa}$ 内に収まっており、Zr 化成処理した試料の強度は他の処理方法より若干、強度の向上が見られる。これは Fig. 4 の SEM 写真にも示したように、Zr 化成処理皮膜層の Mg 合金への密着性が優れていると共に、微細凹凸面境界への接着剤の機械的楔効果も加わり強度が上昇したものと推測できる。

3・3 積層生分解複合材の機械的特性

Fig. 6 は、1層 LBRP の Mg 合金の体積含有率と引張強さの関係を示す。図のように、Mg 合金の体積含有率を増すと、シアノアクリレート、エポキシ樹脂のどちらの接着剤を用いた場合でも1層 LBRP の引張強さは複合則にそって上昇している。Mg 合金の体積含有率の上昇

Fig. 4 Surface microstructure of Mg alloy by Zr chemical Conversion coating treatment.

Fig. 5 Relation of tensile strength and arithmetical mean roughness of Mg alloy with surface treatment as reinforcement as base on Bionolle material and adhesion bond set on Cyanoacrylate.

により LBRP の強度は上昇するが、母材のビオノーレの引張強さには限界があるため、これ以上、体積含有率を増しても母材そのものが破壊し、強度向上が見られない。

Fig. 7 は、Mg 合金の体積含有率 5% の表面未処理強化材で Mg 合金を1層、2層、積層させて作製した LBRP 試験片の応力-ひずみ線図である。2層の場合、引張強さは複合則より 10% 程度向上した。1層 LBRP の引張強さ、破断ひずみは、シアノアクリレートの場合、50MPa, 12% となり、エポキシ樹脂のそれは 50MPa, 10% である。また、2層 LBRP に対し、シアノアクリレートを用いた場合、58MPa, 2%, エポキシ樹脂のそれは 58MPa, 14% となった。2層 LBRP でシアノアクリレートを接着剤に用いた場合、引張強さが向上したが、破断ひずみは極端に減少した。これに比べ、エポキシ樹脂を接着剤に使用した場合、接着剤の硬化速度・粘性の違いにより、Fig. 3 に示したようにシアノアクリレートより3倍厚く皮膜された接着剤の伸びの影響を受け、2層の破断ひずみは1層のそれより増加している。

Fig. 6 Relation of tensile strength and volume fraction of Mg Alloy for LBRP with 1 layer using Mg alloy as reinforcement as base on Bionolle material and adhesion bond set on Cyanoacrylate and Epoxies resin.

Fig. 7 Nominal stress-strain curves of 1 and 2 layered LBRP with Mg alloy as reinforcement. The volume fraction of Mg alloy is 5%.

シアノアクリレートを接着剤に用いた Mg 合金体積含有率 5% の 1 層 LBRP と 2 層 LBRP において、ヤング率はそれぞれ 3.0GPa, 5.2GPa であり、構成素材の体積含有率を基にした混合則と比較すると、ほぼ一致している。接着剤の体積含有率はエポキシ樹脂の場合でも最大 6% で、ヤング率の寄与は 2% 程度である。また、母材を含めた体積含有率（1 層：95%，2 層：90%）でのヤング率の複合材全体のヤング率への寄与は 26，16% である。積層材のヤング率は強化材のそれが支配的である。

3・4 積層複合材の減衰特性

減衰特性が良い Mg 合金を積層化したときの LBRP の機能性のひとつとして減衰特性を調べる。代表的な積層複合材の 1 自由度振動実験の減衰波形を Fig. 8 に示す。

減衰波形の山の値 X_1 から 2 周期後の振幅値 X_5 を測定値し、2 周期の対数減衰率を δ ，減衰係数を c ，臨界減衰係数を C_c とすると、減衰比 ζ は次式で表される。

$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 + 16\pi^2}} \quad (\because \delta = \ln(X_1/X_5))$$

各種試験片の対数減衰率 δ と減衰比 ζ の算出値を Table 1 示す。ビオノーレの減衰比 ζ は Mg 合金のその 2 倍以上で Al 材の減衰比に近い。従って、減衰比が低い Mg 合金の積層により複合材のそれは低下するものと推定される。しかし、1 層 LBRP の減衰比は母材のそれに比べ向上が見られず、逆に増加しており、体積含有率、接着剤の種類に影響は無く、ほとんど同じ値を示した。1 層 LBRP の減衰比が増加した原因として、使用した接着剤は Acrylic acid resin と減衰比がかなり近いため、この接着剤の影響が現れたものと推定される。一方、同じ接着剤を使用し、且つ、接着面積の多い 2 層 LBRP の場合、1 層 LBRP のそれとは逆に、減衰比は、母材より低下している。この原因は単に、接着界面の様子だけでは説明できない。そのため、強化材を多層とすることによる効果をモードひずみエネルギー法¹¹⁾より検討する。積層材のモード損失係数 η_m は次式により評価できる。

$$\eta_m = \frac{\sum_{k=1}^N \eta_m^{(k)} W_m^{(k)}}{\sum_{k=1}^N W_m^{(k)}} \quad (1)$$

Fig. 8 Damping characteristics of LBRP bonded Bionolle and Mg alloy with adhesive bonds. Cyanoacrylate and Epoxy resin.

ここで、 $W_m^{(k)}$ は m 番目の振動モード形状において第 k 層に蓄えられているひずみエネルギーであり、 $\eta_m^{(k)}$ はその層のそのモードの周波数での材料損失係数である。材料の損失係数 η_m は $\zeta_m = \eta_m/2$ より減衰比 ζ_m は次式のように表示される。

$$\zeta_m = \alpha_{Mm} \times \zeta_{Mm} + \alpha_{Rm} \times \zeta_{Rm} \quad (2)$$

上式で α_{Mm} , α_{Rm} は、 m 番目の振動モード形状での全ひずみエネルギーにおける母材、強化材のひずみエネルギーの割合である ζ_{Mm} , ζ_{Rm} は m 番目の振動モード形状においての母材、強化材の減衰比である。積層材の減衰比は、各振動モード時の減衰比と母材と強化材のひずみエネルギーの割合によって決まる。そのため、変位 1mm で減衰振動を与えたときの、各モード時のひずみエネルギーを汎用有限要素法コード ANSYS 10.0 より求めた。ただし、接着層は考慮せず、接着界面に空隙やはく離が存在しないものとする。また、端部の固定は全自由度固定とする。Mg 合金の体積含有率が 5% のときの 1 層、2 層 LBRP において、曲げ振動モードが 1 次～3 次までのモード形状について解析を行った。1 層、2 層 LBRP の各振動モードにおけるひずみエネルギーとその比率の解析結果を Table 2 に示す。

Table 2 より、振動モードによるひずみエネルギーの比率は、ほとんど変化が無いことがわかる。また、ひずみエネルギーの比率は、1 次の振動モードで 1 層 LBRP では母材で 93% 以上負担しており、強化材の寄与はわずかである。2 層 LBRP では母材に 53%，強化材に 47% となっており、2 層にすることで強化材のひずみエネルギーの比率が変化している。つまり減衰比は、層間のプラスチックの影響で式 (2) より、ひずみエネルギーの比率への Mg 合金の寄与が多くなることで、複合材の減衰比に影響する。解析した母材、強化材の厚さは 4mm であり、減衰比は、ほぼ同等である。しかし、強化材の厚さが影響していると想定される。そのため、Mg 合金の板厚を 1mm にして一自由度振動試験を行い、減衰比を求めた。

Table 1 Logarithmic attenuation rate and damping ratio of various materials. VF5% and VF10% shows the volume fraction 5%, 10% of Mg alloy for LBRP, respectively.

Material	Logarithmic attenuation rate, δ	Damping ratio, ζ
AZ31Mg alloy	0.101	0.008
A5081 alloy	0.201	0.016
Bionolle#1001	0.221	0.018
Acrylic acid resin	0.342	0.027
Polycarbonate	0.049	0.004
Cyanoacrylate 1 layer(VF5%)	0.251	0.020
Epoxies resin 1 layer(VF5%)	0.251	0.020
Cyanoacrylate 1 layer(VF10%)	0.260	0.021
Cyanoacrylate 2 layers (VF5%)	0.188	0.015
Epoxies resin 2 layers (VF5%)	0.170	0.014
Epoxies resin 1 layer(VF10%)	0.251	0.020

Table 2 Strain energy rates of component materials for 1 and 2 layers LBRP in vibration modes. VF5% shows the volume fraction 5% of Mg alloy.

1 layer laminated composites (VF 5%)			
Mode	Strain Energy Rate, α %		Natural Frequency F/Hz
	Bionolle#1001	AZ31Mg alloy	
1 st	93.8	6.2	29.2
2 nd	99.3	0.7	182.6
3 rd	99.3	0.7	508.2
2 layers laminated composites (VF 5%)			
1 st	53.1	46.9	40.1
2 nd	53.9	46.1	249.6
3 rd	55.4	44.6	689.9

その結果の減衰比は、板厚 4mm の場合 $\delta = 0.201$, $\zeta = 0.016$ であるのに対し、板厚 1mm のそれらは $\delta = 0.022$, $\zeta = 0.002$ である。Mg 合金は、板厚 1mm の場合、板厚 4mm に比べて減衰比が約 1/8 になっており、減衰比が低下していることが分る。2 層 LBRP の減衰比において、Table 1, 2 の ζ_{Mm} , ζ_{Rm} , α_{Mm} , α_{Rm} を用いて (2) 式より減衰比を求めると $\zeta = 0.012$, 1 層のそれは 0.017 となる。これは 2 層に伴い、層間の母材の効果によるものである。強化材である Mg 合金のひずみエネルギーの比率からも、多層にすることにより減衰比は減少すると考えられる。

上述のように、層数の増加による板厚の減少、層間の増加の影響により減衰特性は低くなることから、2 層 LBRP の減衰特性が減少したと考えられる。また、接着剤としてシアノアクリレートとエポキシ樹脂を用いたが接着剤の違いによる減衰特性への変化はほとんど見られなかった。また、入力振幅 0.1mm の強制振動実験で、共振時での振幅比を求めたところ、Mg 合金とバイオノーレを複合化することで、2 層 LBRP の振幅比は、母材のバイオノーレより振幅比を抑える効果が確認できた。これは、Mg 合金の減衰効果が振幅比を抑制したと考えられる。

4 結 論

生分解性プラスチックの特性を失うことなく強度向上を目指すため、強化材として分解性が強く、環境負荷の少ない Mg 合金を用いて積層複合材を作製し、その機械的特性と振動減衰特性を調べた。その結果、以下の結論が得られた。

1. Mg 合金とバイオノーレを積層複合化させた 1 層 LBRP の引張強さは、複合則に従い、強化材の体積比率に準じ、強度向上が見られた。
2. Mg 合金とバイオノーレを積層複合化させた 2 層 LBRP は、接着材の効果により、複合則より 10% ほど高い引張強さが得られた。
3. Mg 合金の表面に Zr 化成処理を施すことによって、化成処理皮膜の密着強さ、表面粗さの影響で複合化させた LBRP の引張強さが向上した。
4. 複合化した 1 層 LBRP の減衰特性は、減衰比、振幅比共に母材であるバイオノーレより向上した。

5. Mg 合金とバイオノーレを積層化させることで引張強さ、減衰特性が向上した。更なる引張強さの向上には、母材の生分解性プラスチックを高強度なものに代替することで実用の可能性が期待出来る。

参 考 文 献

- 1) T. Kimura, Y. Kataoka, Y. Kondo and T. Takahashi, "Injection molding and material property of biodegradable composite using waste of cotton fiber as reinforcement", Jurnal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.49, No.1, pp.111-116 (2000).
- 2) T. Kimura, "Natural fiber reinforced eco-composites", Jurnal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.50, No.10, pp.1158-1163 (2001).
- 3) H. Takagi and R. Takura, "The manufacture and mechanical properties of composite boards made from starch-based bio-degradable plastic and bamboo powder", Jurnal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.52, No.4, pp.357-361 (2003).
- 4) S. Ochi, H. Takagi and R. Niki, "Mechanical properties of heat-treated natural fibers", Jurnal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.51, No.10, pp.1164-1168 (2002).
- 5) S. Ochi, H. Takagi and H. Tanaka, "Tensile properties of manila hemp fabric reinforced cross-ply green composites", Jurnal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.52, No.8, pp.916-921 (2003).
- 6) S. Ochi and H. Takagi, "Effect of heat-treatment on mechanical properties of biodegradable composites reinforced by bamboo fibers and manila hemp fibers", Jurnal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.53, No.6, pp.673-677 (2004).
- 7) T. Yamaba and K. Funami, "Composition of biodegradable plastics", Proceeding of the 55th JSMS Annual Meeting, pp.166-167 (2006).
- 8) T. Yamaba, K. Funami and M. Noda, "Influence factor on composition of biodegradable plastics", The 14th Materials and Proceeding Conference (M&P2006), pp.223-224 (2006).
- 9) S. Ogihara, A. Okada and S. Kobayashi, "Evaluation of mechanical properties in biodegradable composites reinforced with natural fiber", Materials system, Vol.25, pp.35-42 (2007).
- 10) M. Takai and M. Takaya, "Influence of conversion coating on magnesium and aluminum alloys by adhesion method", Materials Transaction, Vol.49, No.5, pp.1065-1070 (2008).
- 11) K. Suzuki, K. Kageyama, I. Kimpara and K. Funami, "Vibration analysis and damping prediction of damped composite laminates by using multiplayer higher-order-deformable finite elements", Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.70, No.692, C, pp.45-52 (2004).