

竹粉を用いたしゅう動材のトライボロジー特性

Tribological Properties of Sliding Materials Using Bamboo Powder

豊橋技科大・工(正) *竹市 嘉紀 豊橋技科大・工(学) 朝倉 大貴 豊橋技科大・工(非) 後藤 憲太郎

Yoshinori Takeichi, Daiki Asakura, Kentaro Goto

Toyohashi University of Technology

1. 緒言

自己潤滑性を有するものが多く、軽量で成形性が良いことから、プラスチック材料は優れたしゅう動材料として適材適所で利用されている。一方、石油由来の材料であることや生分解性の問題点から、使用量削減の要求は強い。最近ではマイクロプラスチック問題、さらにはナノプラスチック問題なども注目を浴びている。また、直近では欧州 PFAS 制限案への対応も騒がしく、非常に優れた潤滑特性を示す PTFE についても、今後いつまで利用できるのか不明である。このような背景のもと、石油利用低減の観点からバイオマス由来のプラスチック(バイオマスプラスチック)をトライボロジーの分野で利用する試みは多い。

我々は廃竹を粉末にした竹粉を母材としたしゅう動材料を目的に研究を始めた。竹は一般的な樹木と比較して成長が著しく速く、古くから人々の生活の中で各種日用品に利用されてきた。また、中国原産の孟宗竹は食用のタケノコに適しており、江戸時代に島津藩が琉球経由で輸入してから、全国に広がった。近年、プラスチックの普及により竹を用いた日用品がなくなり、また、安価なタケノコの輸入によりタケノコの栽培業も急激に衰退した。ここで竹の成長の速さ故に竹害と呼ばれる問題が生じた。特に農村部においては高齢化の影響も相まって適切な伐採管理がなされない放置竹林が増加し、異常繁殖した竹が他の植生に浸食して竹林面積が増加した。放置竹林はイノシシやシカの住処となり、近隣の農作物を荒らすなどの獣害につながっている。また、竹は通常の樹木と比較して地下茎が浅く横に広がるため、樹木の根によるアンカーとしての効果が低く、特に斜面では大雨によって竹林ごと斜面から崩れてしまう土砂災害が多発している¹⁾。このような問題から竹を伐採して有効利用しようとする取り組みがなされており、その一つが竹粉(バンブーパウダー)に加工した利用である。園芸や農業での土壌改良、生ゴミ処理への利用など、その応用範囲の模索が続けられている。また、プラスチック削減という観点で、一定量をプラスチックにフィラーとして混ぜることで相対的なプラスチック使用量削減にも寄与している。

一方、木材はその主成分の一つであるヘミセルロースが 180 °C 以上で熱分解を引き起こして自己接着性を発現することから、加熱圧縮によって成形材の強度付与に寄与することが知られている²⁾。木材同様、竹についても竹粉を成形した機械部品作成の試みがなされている³⁾。本研究では固体潤滑剤添加によるしゅう動性付与により、竹粉を用いたしゅう動材料の成形に取り組む、そのトライボロジー特性を調べた。

2. 実験

2.1 供試材料

竹粉には天然孟宗竹を粉砕乾燥した市販材料を用い、これを 100 mesh のふるいにかけ、通過した細かい粉末を母材として用いた。Fig. 1 にふるいを通した粉末を SEM 観察した様子を二通りの倍率で示す。低倍率の観察(Fig. 1(a))で見る限り、およそ 100 μm オーダーの大きさの粉末で、大半が Fig. 1(b)に見られるような様相を示している。ふるいにかける前の粉末には竹皮と思われるものや、乾燥させた樹木に見られる蜂の巣状の比較的大きな塊が多く存在していたが、それらはすべて取り除かれている。なお、天然由来の材料であり吸湿性を有するため、恒温乾燥炉で 105 °C にて 20~24 h 乾燥した後に成形を行った。

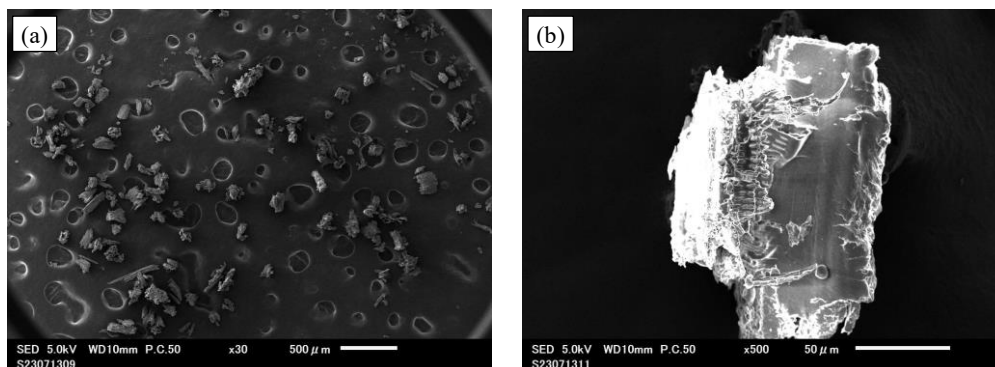


Fig. 1 竹粉末の SEM 像 ((a) 低倍率観察, (b) 高倍率観察)

潤滑性を付与する固体潤滑剤として二硫化モリブデンと黒鉛を選定し、試行的な摩擦試験の結果、潤滑性が良好であった黒鉛を用いることとした。ここで PTFE などの石油由来の固体潤滑剤を用いてしまうと、プラスチック利用低減の主旨に馴染まないことから、主旨の範囲で許容できるところとして黒鉛を用いることとした。用いた黒鉛粉末は平均粒径 27.05 μm の天然黒鉛(伊藤

黒鉛工業, Z-25)で, 複合材料の場合には, 竹粉と黒鉛を混合したものを自作の攪拌機にて十分に攪拌した. 混合比については試行試験の結果および適切に混合できる状況を考慮し, 竹粉末と黒鉛の重量比を 70:30 とした. 竹粉末もしくは混合粉末を $\phi 32$ mm の穴を有した金型に 4~5 g 投入し, 140 ~ 180 $^{\circ}\text{C}$ に加熱しながら, 面圧 37.3 MPa にて 30 min の圧縮成形をすることでディスク試験片とした. 成形したディスク試験片の厚みは約 4mm 程度となり, 様子を Fig. 2 に示す.

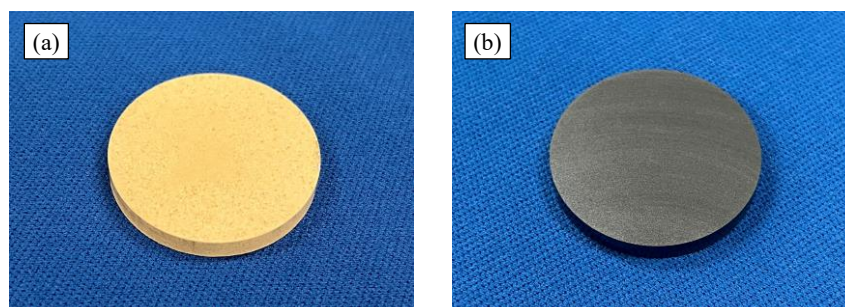


Fig. 2 成形後の竹粉ディスク試験片の外観 ((a) 黒鉛無添加, (b) 黒鉛添加)

2.2 摩擦試験

摩擦試験はリング・オン・ディスク方式で実施した. 前述の竹粉末を成形したディスク試験片とし, 表面を乾式研磨にて 0.2 μm (R_a) 以下に調整した. 摩擦相手のリング試験片には炭素鋼 (S45C) を円筒形状 (内径 12 mm, 外径 16 mm) に加工したものを, 湿式研磨にて表面を 0.03 μm (R_a) 以下に調整し, アセトンにて超音波洗浄を行った.

はじめに, しゅう動材料として広く用いられるプラスチックの一つである POM (ポリオキシメチレン) を比較材料として, 摩擦特性・摩擦の比較を行った. POM を射出成形した厚さ約 2mm のディスク試験片および黒鉛添加竹粉ディスク試験片を, リング試験片肉厚中央部でのしゅう動速度 0.4 m/s (回転数 545 rpm), 面圧 0.84 MPa (荷重 74.5 N) にて, 摩擦距離 1,440 m (摩擦時間 60 min) の摩擦試験を行った. 試験雰囲気は室温, 湿度 30 %Rh 以下とした.

次に, 加熱加圧する際の成形温度の影響を調べるため, 金型の設定温度を 140, 160, 180 $^{\circ}\text{C}$ に振って成形した竹粉末ディスク試験片を用い, リング・オン・ディスク摩擦試験を行った. ただし, 前述の摩擦条件では成形温度条件による違いが摩擦量の有意差として計量できるほどではなかったため, しゅう動速度は同条件, 面圧を 1.05 MPa (荷重 93.1 N), 摩擦距離を 34,560 m (摩擦時間 24 h) に増加させ, 負荷を高めた摩擦試験を行った. 成形温度の異なる各試料に対して 3 回の摩擦試験を実施した.

3. 結果と考察

3.1 POM との摩擦・摩耗特性の比較

Fig. 3 に, POM ディスクおよび黒鉛添加竹粉ディスクの (a) 摩擦係数の経時変化および (b) 比摩耗率を示す. Fig. 3(a) に見られるように, POM ディスクは摩擦試験開始直後から摩擦係数が著しく上昇したため, 摩擦試験を途中で打ち切った. 一方, 黒鉛添加竹粉ディスクでは, 摩擦初期に馴染むまでの短時間はやや高めの摩擦係数を示したが, その後 0.2 程度の安定した摩擦係数を示した. Fig. 3(b) に示す比摩耗率は縦軸が対数表記になっている. POM ディスクでは短時間で摩擦試験を停止したこともあり, 本摩擦試験条件下では比摩耗率が著しく高い. 一方, 黒鉛添加竹粉ディスクでは $10^{-6} \text{ mm}^3/(\text{N}\cdot\text{m})$ オーダーの比摩耗率を示し, 良好かつ実用的な耐摩耗性を有することが分かる.

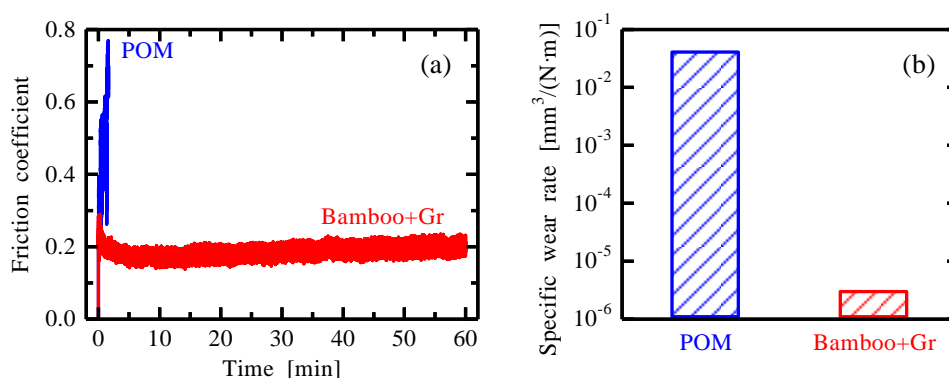


Fig. 3 POM および黒鉛添加竹粉ディスクの摩擦試験結果 ((a) 摩擦係数, (b) 比摩耗率)

Fig. 4 に, Fig. 3 で示した実験に供したディスク試験片の摩擦痕の様子を示す. POM ディスク試験片では摩耗痕が深く削れているだけでなく, 摩耗面の内径側に排除された摩耗粉が堆積し, 溶融しているように見られる. これは, 摩擦面温度が POM の溶融温度を超えていることを示しており, 本実験条件が POM のしゅう動にとっては厳しいものであったことが伺える. 一方, 黒鉛添加竹粉ディスクでは摩擦面は滑らかで, 恐らく黒鉛のしゅう動によると思われる幾分光沢のある様子を示しており, 良好な低摩擦特性と対応する摩擦痕の状態であった.

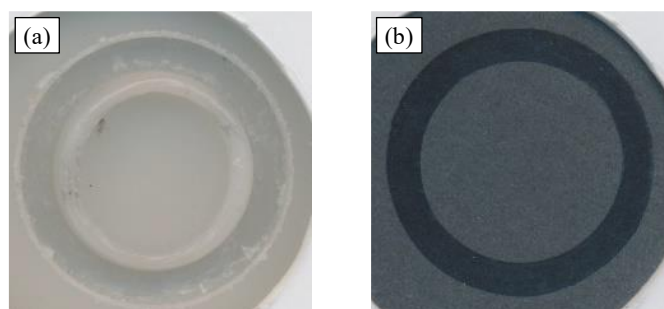


Fig. 4 試験後の摩擦試験片の様子 ((a) POM ディスク, (b) 黒鉛添加竹粉ディスク)

3.2 トライボロジー特性の成形温度依存性

Fig. 5 に加熱圧縮成形時の成形温度が異なる黒鉛添加竹粉ディスクに対する平均摩擦係数および比摩耗率を示す。棒グラフが比摩耗率(左縦軸), 丸印が平均摩擦係数(右縦軸)を示しており, この図では Fig. 3(b)と異なり, 比摩耗率を示す縦軸はリニアスケールとしている。現時点では成形後の目視によるディスク表面の焦げの有無などから, 180℃を成形温度の上限としており, これ以上の成形温度での試験片の摩擦試験は実施していない。本温度範囲においては, 成形温度が 140℃ から 180℃ に上昇するに従って, ディスク試験片の比摩耗率が上昇し, 平均摩擦係数も若干の低下傾向を示している。

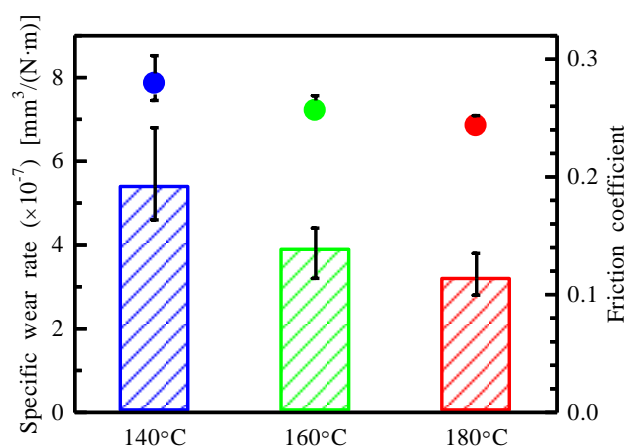


Fig. 5 成形温度が異なる黒鉛添加竹粉ディスクの摩擦摩耗特性

4. 結言

放置竹林問題の解決に向けた廃竹の有効利用, プラスチックの使用低減を目的とした竹の有効利用, この両面からの取り組みの一環として, 竹粉を母材にした複合しゅう動材料の成形に取り組み, その摩擦摩耗特性を調べた。プラスチック系の一般的なしゅう動材料の一つである POM との比較において, 本実験条件下では良好な耐摩耗性と摩擦特性を示した。比較は行えていないが, 恐らくもう少し低負荷な実験条件下では摩擦特性は POM の方が良好になると考えており, 本成形材料は POM や超高分子量ポリエチレンなどの耐熱温度が低めの樹脂では厳しいようなしゅう動条件下での利用に有効利用できる可能性があると考えている。

文献

- 1) 竹林整備読本 竹林の整備と利用, 拡大防止のための解説書, 静岡県環境森林部 (2005).
- 2) S. Ellis and L. Paszner: Activated Self-Bonding of Wood and Agricultural Residues, *Holzforschung*, 48 (1994) 82.
- 3) 越智真治: 竹材を用いた歯車の製作とその精度評価, *新居浜工業高等専門学校研究紀要* 49 (2013) 13.