

## 竹粉を用いたしゅう動材のトライボロジー特性 第2報

## Tribological Properties of Sliding Materials Using Bamboo Powder: Part 2

豊橋技科大・工(正) \*竹市 嘉紀 豊橋技科大・工(学) 朝倉 大貴

川邑研究所(正) 川邑 正広 川邑研究所(正) 関口 晃

Yoshinori Takeichi\*, Daiki Asakura\*, Masahiro Kawamura\*\*, Akira Sekiguchi\*\*

\*Toyohashi University of Technology, \*\*Kawamura Research Laboratory INC.

## 1. 緒言

我々は廃竹を粉末にした竹粉を母材とし、固体潤滑剤を援用したしゅう動材料を得ることを目的とした研究を行っている。プラスチックの普及や安価なタケノコの輸入によるタケノコ栽培業の衰退により竹の需要が著しく低下し、竹林が放置されるようになった。竹は成長が早いために異常繁殖し、イノシシやシカの住処となることで引き起こされる獣害や、地下茎の浅さ故の土砂災害などを引き起こし、竹害問題として近年多くの地方自治体の悩みの種となっている<sup>1)</sup>。一方、異常繁殖した竹の有効利用が模索されており、その一つが竹粉に加工して園芸・農業での土壌改良や生ゴミ処理への利用などである。また、プラスチック削減という観点で、竹粉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。

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<sup>2)</sup>。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<sup>3)</sup>。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み、前報<sup>4)</sup>では、その手始めとして黒鉛を添加した試験片のトライボロジー特性を調べた。本報では、成形した試料の各種特性の成形温度依存性を調べるとともに、摩擦痕の観察分析により黒鉛の潤滑状況を詳細に調べた。また、黒鉛と同様に汎用されている固体潤滑剤である二硫化モリブデンを添加した場合のトライボロジー特性を調べ、添加量の影響を調べるとともに、トライボロジー特性に関して黒鉛添加との比較を行った。

## 2. 実験

## 2.1 供試材料

竹粉には天然孟宗竹を粉碎乾燥した市販材料(八起産業 竹パウダー「ゆめ竹」)を用い、これを 100 mesh のふるいにかけて、通過した細かい粉末を母材として用いた。竹粉は吸湿性を有するため、恒温乾燥炉で 105 °Cにて 20~24 h 乾燥した後成形を行った。潤滑性を付与する固体潤滑剤として黒鉛もしくは二硫化モリブデンを用い、黒鉛は平均粒径 27.05 μm、純度 98.8 % (検査値 99.35 %) の天然黒鉛粉末を、二硫化モリブデンは平均粒径 5.2 μm、純度 98.2 % の粉末を用いた。乾燥後の竹粉と所定量の固体潤滑剤粉末を混合したものを自作の攪拌機にて十分に攪拌し、これを φ32 mm の穴を有した金型に投入し、所定の温度に加熱しながら、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。金型への粉末投入量は最終的な試験片の厚さがおおよそ 4 mm になるよう、粉末の混合比に応じて 4~6 g の範囲で経験的に調整している。なお、成形温度は 180 °Cを基本とするが、成形温度の違いによる試験片の硬度や密度への影響を比較する場合には、140, 160, 200 °Cで成形した試験片も供試材とした。

前報では竹粉末と黒鉛の重量比を 70:30 としており、今回比較する二硫化モリブデンについては、竹粉末と二硫化モリブデン粉末の重量比を 70:30 としたものと、52:48 としたものの 2 通りを用意した。ここで前者の混合比は重量比が黒鉛と等しくなるように比較したものであり、後者は体積比が黒鉛と等しくなるようにしたものである。この際、黒鉛および二硫化モリブデンの密度を 2.23 g/cm<sup>3</sup> および 4.8 g/cm<sup>3</sup> として換算しており、かさ密度ではない。

## 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 (Ra) 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 (Ra) 以下に調整し、アセトンにて超音波洗浄を行った。摩擦試験条件は、しゅう動速度を 0.4 m/s(回転数 545 rpm)、面圧を 1.05 MPa(荷重 93.3 N)、摩擦距離を 34,560 m(摩擦時間 24 h)とし、試験機のチャンバー内にシリカゲルを設置することで湿度 30 %Rh 以下で行った。

## 3. 結果と考察

## 3.1 成形温度による試験片の特性変化

Fig. 1 に成形温度を変えて作成した試験片(表面はエメリー紙にて乾式研磨)のピッカース硬度を示す。白丸が固体潤滑剤無添加の竹粉末のみを成形した試験片、黒丸が竹粉末と黒鉛を重量比 70:30 で混合した試験片の結果である。黒鉛を添加すると試料の硬度が低下することから、無添加試験片では押付荷重を 100 gf、黒鉛添加試験片では 50 gf とし、押付時間は両者とも 10s とした。計測箇所は摩擦試験時にリング試験片と接触するあたりとし、各試験片 4 回の計測を行った。黒鉛添加の有無にかかわらず、成形温度 140 から 180 °Cにかけては温度の上昇とともに硬度は上昇するが、これを超えて 200 °Cになると硬度が

低下した。黒鉛添加による硬度低下の影響は大きく、最も硬度が高かった成形温度 180 °C で比較すると、添加により約 52 % 程度にまで硬度が低下した。ただし、摩擦時には黒鉛によるしゅう動特性の向上によって摩耗量も減少するため、硬度の低い黒鉛添加試験片の方が摩耗量は少ない。

Fig. 2 に成形温度を変えて作成した試験片の密度を計測した結果を示す。白色が竹粉末のみを成形した試験片、黒色が黒鉛を混合した試験片の結果である。ディスク試験片の 5 点 (試験片中央 1 点およびリング試験片と接触するあたり 4 点) の厚みをマイクロメータで計測した平均値とディスク試験片の直径から体積を算出し、試験片の重量をこの体積で除して求めた。一つの成形温度条件につき 3 試料ずつ計測しているが、グラフのエラーバーからも判断できるように再現性の高い結果となった。硬度が低下した 200 °C のものは未計測であるが、成形温度の上昇とともに密度も上昇しており、成形温度の上昇によって竹粉の主成分同士の密着度が上がるとともに空隙率が減少していると考えられる。

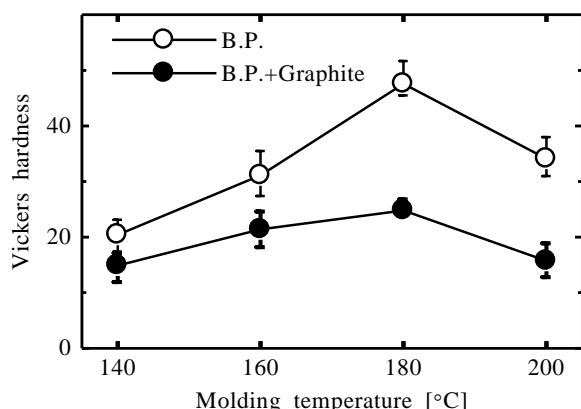


Fig. 1 Vickers hardness of molding specimen

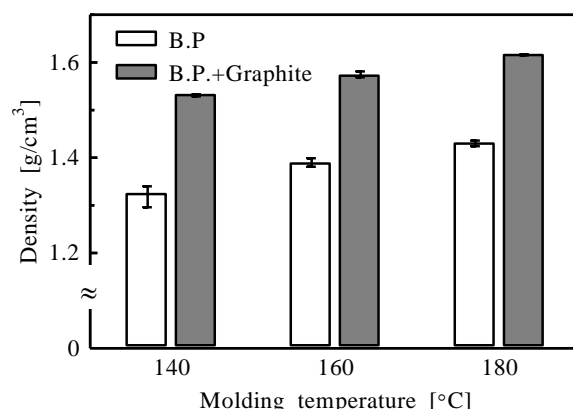


Fig. 2 Density of molding specimen

### 3.2 黒鉛添加試料の摩擦面の観察結果

Fig. 3 に黒鉛添加竹粉試験片の摩擦面の (a) SEM 像および EPMA 分析による (b) 炭素と (c) 酸素の X 線像を示す。黒鉛の粉末は竹粉末中に均質に分散しており、下図は摩擦痕内に存在する黒鉛粉末を視野に収めて観察したもので、試料は相手のリング試験片によって左から右方向に向かって擦られている。竹粉も炭素を多く含むが、黒鉛がほぼ炭素のみであるのに対して、竹粉は酸素も一定量含んでいるため、X 線像で炭素が濃厚なところが黒鉛リッチな領域、酸素が濃厚なところが竹粉リッチな領域と判断できる。SEM 像左端中央部に見られる黒い領域が黒鉛の粉末で、この領域から右側に向かって、黒色状の領域が押し伸ばされるように広がっている。X 線像を確認すると、黒鉛粉末の領域での炭素の濃度が最も濃く検出されるが、前述の押し伸ばされた領域に相当する位置でも炭素の濃度が濃くなっている様子が見られる。これに対して、酸素の分布は炭素の分布と逆の様相を示している。このように摩擦によって黒鉛が適度にディスク試験片表面に広がっている様子は、摩擦面に均一に分布した黒鉛の多くの領域で観察されており、これにより黒鉛を添加した試験片で良好な潤滑性が発揮されていることが推察される。

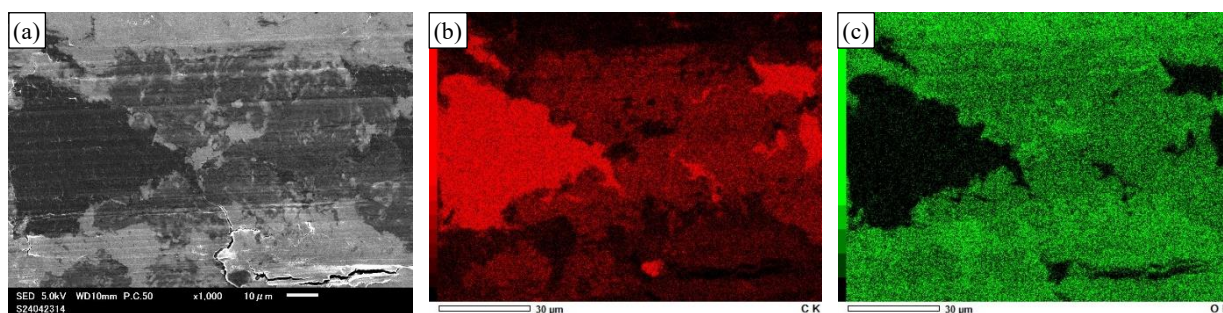


Fig. 3 (a) SEM image, (b) X-ray image of carbon and (c) X-ray image of oxygen obtained from friction track of graphite added bamboo powder composite specimen.

### 3.3 固体潤滑剤の違いによるトライボロジー特性の比較

Fig. 4 および Fig. 5 に竹粉末と二硫化モリブデンを重量比 70:30 および 52:48 で混合した成形試料の摩擦試験結果を示す。なお、Fig. 4 では時間軸の単位が 2 通りでプロットされていることに注意されたい。重量比 70:30 の試験片では、試験初期に摩擦係数が著しく上昇して停止した結果と、5 時間程度は低めの摩擦係数を維持したと結果に二極化し、安定したしゅう動特性を得ることができなかった。これに対して、重量比 52:48 の試験片では、24h の試験の最後まで摩擦係数 0.1 ~ 0.3 程度の良好な摩擦係数を示した。前報で報告した黒鉛添加竹粉複合材の摩擦試験では摩擦係数が 0.2 ~ 0.3 の範囲で経時変化したことと比較すると、二硫化モリブデンの方が平均的に若干低い摩擦係数を示す。ただし、比摩耗率は二硫化モリブ

デンの方が平均値で 2 倍程度に増加しており、黒鉛と二硫化モリブデンのトライボロジー特性に対する添加効果は一長一短あるといえる。

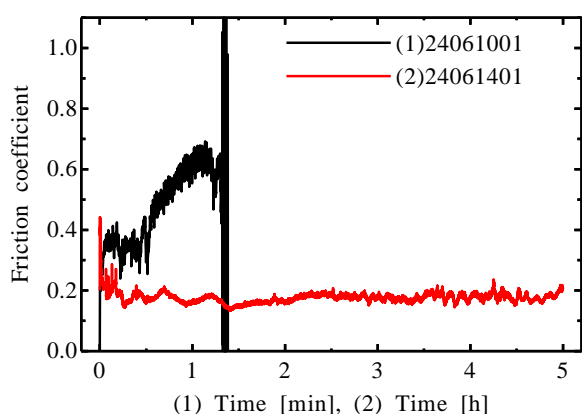


Fig. 4 Friction coefficient of MoS<sub>2</sub> added bamboo powder composite (B.P.:MoS<sub>2</sub> = 70:30 mass%)

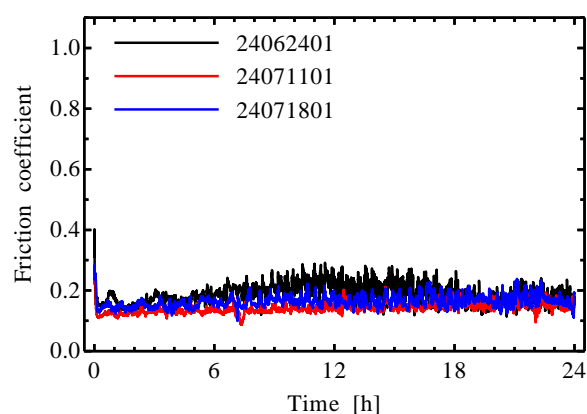


Fig. 5 Friction coefficient of MoS<sub>2</sub> added bamboo powder composite (B.P.:MoS<sub>2</sub> = 52:48 mass%)

#### 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、竹粉を母材にしたしゅう動材料の成形に取り組み、固体潤滑剤を援用した竹粉複合材料の摩擦摩耗特性を調べた。黒鉛、二硫化モリブデンいずれも、竹粉に添加することで良好な摩擦摩耗特性を示した。良好な潤滑特性を得るための固体潤滑剤の添加量を比較すると、黒鉛と比べて二硫化モリブデンは多めの配合比を要する傾向にあった。ただし、良好な摩擦特性が得られたときの平均的な摩擦係数は二硫化モリブデンの方が低くなる傾向にあった。

本実験での成形温度範囲においては、温度上昇とともに試験片の密度は上昇し、また、硬度も高くなる傾向が見られた。これは、成形温度がヘミセルロースの分解開始温度である 180 °C に近づくにつれ、空隙が埋まり試料全体の密着性が上昇したことによると考えられる。一方、他の主成分であるセルロースおよびリグニンの分解開始温度は 240 および 280 °C 程度といわれており、これらの分解温度には達していない。これらの成分の化学的変化などについて、分析等による把握が必要である。

#### 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.
- 4) 竹市嘉紀・朝倉大貴・後藤憲太郎: 竹粉を用いたしゅう動材のトライボロジー特性, トライボロジー会議 2024 春 東京 予稿集, E4.