

# アブレシブ摩耗とエロージョン摩耗の複合環境下における繊維強化樹脂の摩耗特性

## Wear Characteristics of Fiber Reinforced Plastics in Combined Abrasive and Erosion Wear Condition

名工大（学）\*河合 美香 名工大（正）劉 晓旭 名工大（正）前川 覚 名工大（正）糸魚川 文広

Mika Kawai\*, Xiaoxu Liu\*, Satoru Maegawa\*, Fumihiro Itoigawa\*

\*Nagoya Institute of Technology

### 1. はじめに

CFRPは、軽量かつ比強度、比弾性率に優れており、近年、構造材として航空機産業や自動車産業で利用されることが増加し、一般産業用機械への展開も進んできている。さらに、トライボロジー的観点から、耐摩耗性の評価、摩耗現象解明がなされれば、トライボロジー性能が必要となる多くの製品開発が可能になるとえた。熱硬化性樹脂をマトリックスとし、強化繊維として長繊維CFを用いたCFRPの摩耗特性についての研究はこれまでにも多くなされているが、熱可塑性樹脂をマトリックスとしたCFRTPの摩耗特性についての研究は少ない。CFRTPは成形時間の短縮やリサイクルが可能、成形自由度が高いといった点から、コスト削減や生産性の向上を期待でき、農業機械やシャベルのような汎用機械、汎用機器にも利用展開できると考えた。その場合、土砂などの粒子によって摩耗する環境下での利用が想定され、アブレシブ摩耗とエロージョン摩耗の2つの摩耗が複合する環境下での摩耗特性を調査する必要がある。ここでは、成形自由度が非常に高い、CF不織布を用いたCFRTPを対象として、ピンオンディスク型の摩耗試験によるアブレシブ摩耗特性、サンドブラスト試験によるエロージョン摩耗特性について金属材料との比較からCFRTPの摩耗性能の特徴を考察した。

### 2. 実験方法

2つの摩耗試験によりCFRTPの耐摩耗性の評価およびその特徴を考察する。比較対象用の摩擦材料として炭素鋼を用いた。一つ目の試験はFig.1に模式図で示したピンオンディスク型の摩耗試験で、ディスクには研磨紙(#40)を貼り付けた。摩耗量は試験前後の質量を測定し、体積に換算した。試験は死荷重で10 Nを加重した。回転速度は1 m/sで、摺動距離は炭素鋼が300 m、CFRTPが50 mとした。

二つ目の試験はサンドブラストによるエロージョン試験で研磨剤には粒度#80のアルミナ砥粒を使用した。サンドブラスト試験は模式図Fig.2に示すように、直径2 mmの円形マスクを重ねて研磨剤を投射した。衝突角度は45°、90°の2つを条件とした。サンドブラスト試験後、触針式粗さ計を用いて非投射部を含めてプロファイル測定することで、最大摩耗深さを評価した。投射時間はいずれの条件で30 sとした。

また、エロージョンによる摩耗の進行する過程を調査するため、投射角度90°で投射時間10 sごとに光学顕微鏡で撮影した。

### 3. 実験結果および考察

まず、摩耗試験の結果を示す。Figure 3にはCFRTPと炭素鋼それぞれの摺動距離と摩耗量の関係を示した。CFRTPも炭素鋼も摩耗量が摺動距離に対し、線形に増加しており、Archardの摩耗式

$$V = k \frac{WL}{H}$$

(V: 摩耗量, k: 摩耗係数, W: 荷重, H: 硬さ, L: 摺動距離)

に従っていることがわかる。摩耗量は硬さに反比例することから、#40の研磨粒子によるアブレシブ摩耗に対して、CFRTPの摩耗速度が炭素鋼と比べて非常に大きいのは、CFRTPの硬さはマトリックス樹脂の硬さに支配されていると考えられる。これは、研磨剤の貫入深さや貫入幅の寸法、CF不織布構造の特徴長さの関係に影響されると考えられるが、詳細は不明である。

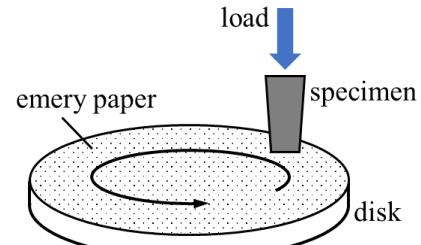


Fig. 1 Schematic of abrasion test

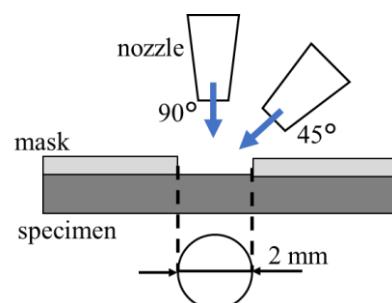


Fig. 2 Schematic of sandblasting test

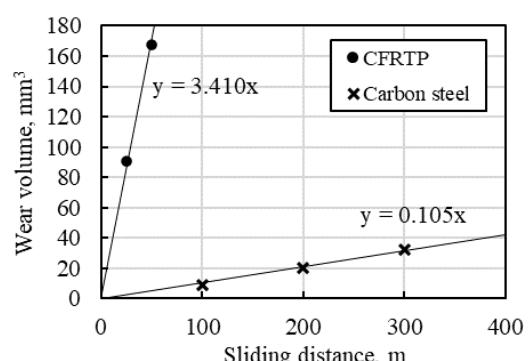


Fig. 3 Relation between sliding distance and wear volume

次に、サンドブラスト試験の結果を示す。Figure 4 は CF RTP と炭素鋼それぞれの衝突角度と最大摩耗深さの関係を示している。投射角度 90° では、粒子の衝撃が繰り返されることによる塑性疲労的な摩耗と脆性破壊による損傷が支配的であるが、投射角度 45° では、投射材の水平速度成分による切削作用が生じる。そのため、投射角度 90° はエロージョン摩耗のみ、45° はエロージョン摩耗とアプレシブ摩耗の複合環境と考えることができる。Figure 4 より、アプレシブ摩耗要素が含まれる投射角度 45° に比べ、エロージョン摩耗要素のみの投射角度 90° の条件では CF RTP と炭素鋼の摩耗量は高々 2 倍であり、Fig. 3 で示した固定砥粒によるアプレシブ摩耗量の比、約 32 倍とは大きく異なった。アプレシブ摩耗要素が含まれている投射角度 45° の条件でも摩耗量比は 6 倍程度であり、CF 不織布強化の CF RTP はエロージョン摩耗に対して鋼材と遜色のない耐摩耗性を実現できる可能性を持っている。

Figure 5 には、投射角度 90°、投射時間 30 s の条件でのサンドブラスト試験前後の表面観察の結果と試験後摩耗痕中心のプロファイルを示した。プロファイル測定結果から、全体が一様に摩耗するのではなく、局所的に深く摩耗していることがわかる。この部分は炭素繊維が粉碎・脱落した部分であり、最大摩耗深さは炭素繊維の状態により決定されている。

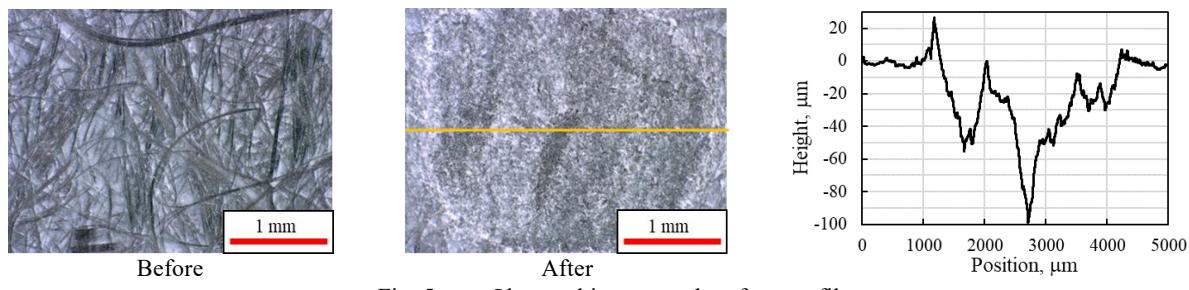


Fig. 5 Observed images and surface profile

Figure 6 は、試験前と投射時間 10 s ごとに撮影した観察結果である。A と B を見ると 10 s 後には最表面に見えていた炭素繊維は脱落し、内部の繊維の層が摩耗していることがわかった。また、炭素繊維脱落部の周りの繊維が新たに粉碎され、摩耗範囲が広がっていることがわかった。一方で、炭素繊維が表面に存在しないマトリックス樹脂の部分は摩耗しにくく、摩耗の進行が遅い。この部分は粒子の衝突によって毛羽立つように変形し、繊維脱落までの時間が長いことが観察によって確認できた。このことから、マトリックス樹脂が毛羽立つように変形し繊維の脱落が抑止されるため、投射粒子の炭素繊維への直接衝突確率が大きく低下し、結果として繊維の粉碎・脱落による摩耗が防がれると考えられる。

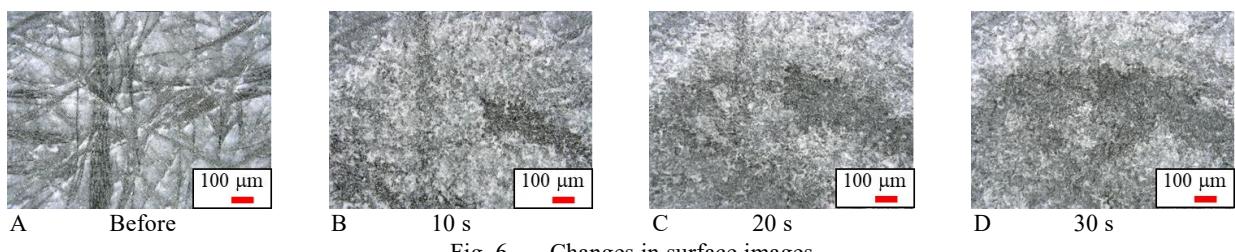


Fig. 6 Changes in surface images

#### 4. 結言

CF 不織布を強化材とした CF RTP の耐摩耗性をピンオンディスク型の摩耗試験とサンドブラスト試験により調査した。固定砥粒によるアプレシブ摩耗量は鋼材に比べ非常に大きかった。一方でサンドブラストによるエロージョン試験では鋼材と遜色のない耐摩耗性を示す可能性が示唆された。これはマトリックス樹脂が粒子の衝突で毛羽立つように変形し、繊維の脱落が抑止される傾向をもつことに起因すると考えられる。

#### 文献

- 1) 西谷要介：繊維強化樹脂系複合材料のトライボロジーに関する最近の研究動向とそのトライボロジー特性、トライボロジスト、62, 7(2017), 426-434.