

貧潤滑下における FCD 鋳鉄と銅合金との摩擦・摩耗挙動

Friction and Wear Behavior Between FCD Cast Iron and Copper Alloys under Poor Lubrication

*富山県立大・工（学）山本 美空 富山県立大・工（正）宮島 敏郎

コマツ（正）大滝 悟嗣 コマツ（非）佐藤 正彦 コマツ（非）井関 利幸

Miku Yamamoto*, Toshiro Miyajima*, Satoshi Otaki**, Masahiko Satou**, Toshiyuki Iseki**

*Toyama Prefectural University, **Komatsu Ltd.

1. 緒言

近年，建設機械の油圧モータの高効率化およびダウンサイジング化に伴い，しゅう動部にかかる負荷が大きくなっており¹⁾，しゅう動部での焼付きの発生が懸念されている．焼付きは，運動中のしゅう動部において，何らかの原因で潤滑油の供給不足となり，固体同士の直接接触が起こることで摩擦面温度が急激に上昇し，激しい溶着や凝着が生じる現象であると考えられている²⁾．この焼付き現象については，様々な研究者により，焼付き過程を観察する研究³⁾や，焼付き発生要因となるしゅう動条件や鋳鉄表面の組織の影響を調査する研究が進められている．著者らも，FCD 鋳鉄（以下，鋳鉄）と銅合金の摩擦・摩耗試験に関する研究⁴⁾を進めている．

そこで本研究では，表面が半円筒状となるように手研磨した鋳鉄試験片を使用して銅合金を相手材とする摩擦・摩耗試験を行い，摩擦表面の in-situ 観察結果と，試験後の鋳鉄のレーザー顕微鏡および走査型電子顕微鏡（SEM）観察，エネルギー分散型 X 線分析（EDS）結果，試験後の銅合金のレーザー顕微鏡観察結果を総合し，貧潤滑下における鋳鉄と銅合金との摩擦・摩耗挙動を明らかにすることを目的とする．

2. 供試材料

試験片は，大きさ 15 mm×5 mm，厚さ 7 mm の鋳鉄とし，表面が半円筒状になるように研磨して使用した．鋳鉄表面のレーザー顕微鏡によるカラー画像，高さ画像，および断面曲線を Fig. 1 に示す．相手材は，直径 134 mm，厚さ 6 mm の銅合金とした．銅合金には観察穴を設け，ガラス試験片を接着して使用した．

3. 試験装置および試験方法

試験機には，本研究室で構築した一方向回転型摩擦状態可視化装置を使用した．装置の概略図を Fig. 2 に示す．本試験機では，鋳鉄試験片と回転ステージに取り付けた銅板を接触させて，鋳鉄と銅合金との間で摩擦を発生させる．銅合金上に滴下した潤滑油を拭き取らずに試験を行うことで，より実機に近い摩擦・摩耗を生じさせ，鋳鉄と銅合金を片当たりさせないようにした．

本試験では，ステージの回転速度を 120 min⁻¹ とし，鋳鉄支持部の自重とおもりを合わせた垂直荷重を 204 N，鋳鉄支持部に取り付け，摩擦表面の温度を実機に近づけるためのシーズヒーターの加熱温度を 110 °C，銅板の鋳鉄軌道上に滴下する潤滑油を 2 μ L とし 250 回転プログラムを 100 回繰り返す 25000 回転試験を 5 回行った．

4. 試験結果および考察

4.1 摩擦係数の推移

摩擦係数の推移を Fig. 3 に示す．摩擦係数は，およそ 5000 回転まで 0.05 から 0.1 の範囲で推移した後，0.05 未満の低い値での推移となり，25000 回転ごろには 0.1 程度まで徐々に上昇した．64000 回転ごろからは再び摩擦係数が上昇し始め，75000 回転には約 0.21 となった．75001 回転から 125000 回転までは 0.08 未満の低い値での推移となった．

4.2 鋳鉄表面の色変化

25000 回転ごとにレーザー顕微鏡で撮影した鋳鉄表面のカラー画像を Fig. 4 に示す．カラー画像より，回転数を重ねるごとに黒色化面積が拡大しており，鋳鉄と銅合金との接触面積が増加していることがわかる．黒色化部分の色に注目すると，濃い黒色部分と茶褐色部分とがあることがわかる．外周側（左側）に注目すると，50000 回転後には茶褐色

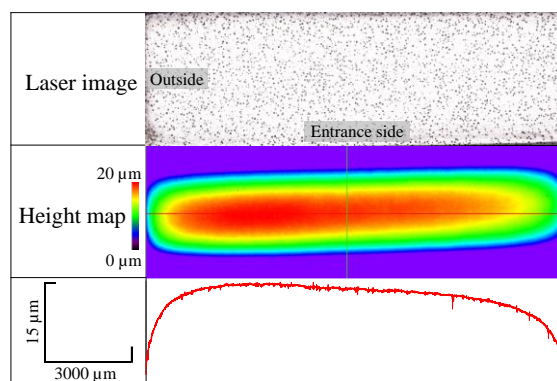


Fig. 1_ Laser color images, height maps and cross-section profiles of the original surface of cast iron

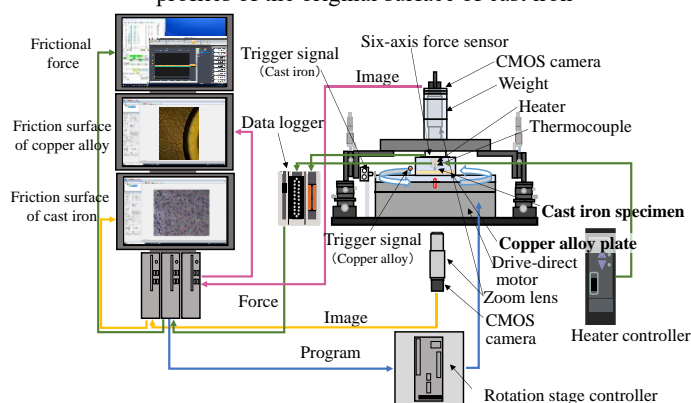


Fig. 2_ Schematic view of the one direction rotary friction tester with visualization equipment

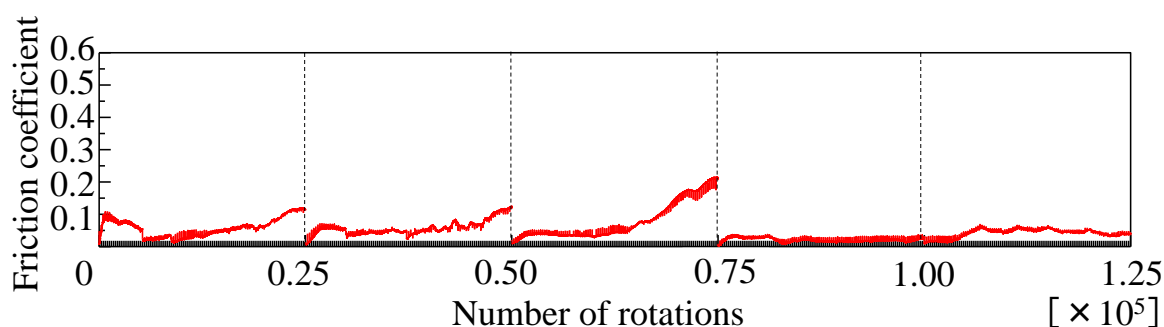


Fig. 3 Variation of the friction coefficient as a function of number of rotations

にみえるが、それ以外の鋳鉄表面は、濃い黒色に近い色味である。また、100000回転後、125000回転後の画像では、鋳鉄の色がみられる部分もあった。これらの結果から、黒色化部分では色が刻々と変化しており、鋳鉄表面に形成される酸化膜の状態が影響していると考えられる。

4.3 鋳鉄表面の断面曲線の変化

25000回転ごとにレーザー顕微鏡で計測した鋳鉄表面の断面曲線を Fig. 4 に示す。鋳鉄表面は数 μm ずつ摩耗していることがわかる。試験開始から25000回転後までは、全体的に摩耗が進行しており、加えて、50000回転後までは、回転軌道の内周側よりも外周側の摩耗量が多いことがわかる。一方、75000回転以降では、外周側の摩耗量が減少し、内周側の摩耗量が増加していることがわかる。その要因としては、外周側の方がしゅう動距離が長いことや、鋳鉄表面に形成されている酸化膜の状態が影響していると考えられる。図は省略するが、銅合金表面では、しゅう動に伴う形状の変化はみられておらず、摩耗は生じていないと考えられる。

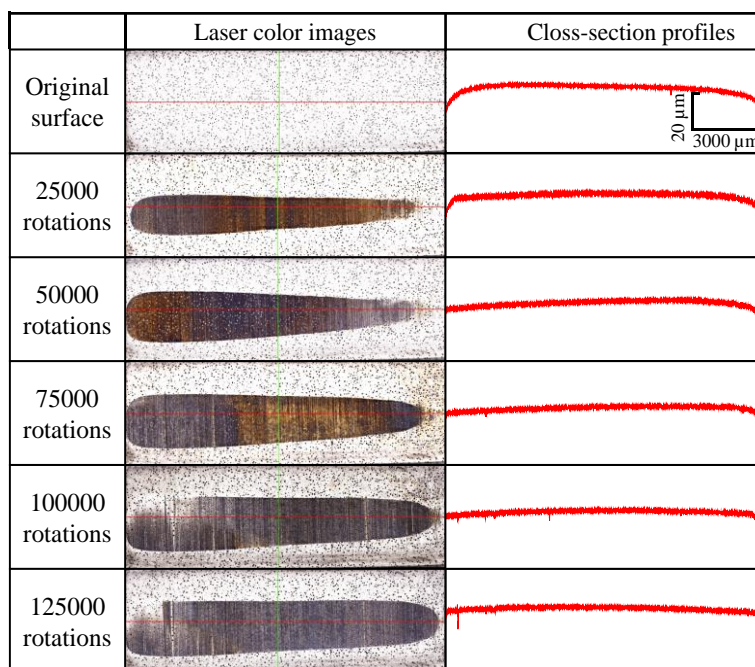


Fig. 4 Laser color images and cross-section profiles of the worn surface of cast iron

5. おわりに

摩擦に伴い鋳鉄表面と銅合金表面には、濃い黒色と茶褐色の酸化膜が形成され、その状態は刻々と変化することがわかった。また、試験後の鋳鉄と銅合金の断面曲線に注目すると、鋳鉄では摩耗により曲面から平坦な面へと変化する一方で、銅合金の表面形状に変化はみられず、摩耗が進行しないことが明らかになった。摩擦係数に上昇傾向がみられるとき、鋳鉄表面では、濃い黒色と茶褐色の変化がみられ、茶褐色部分において摩耗量が多くなることがわかった。また、摩擦係数が低い値で推移し続けるとき、鋳鉄表面では濃い黒色部分の面積が大きくなり、摩耗量は少なくなることがわかった。

6. 結言

- (1) 摩擦・摩耗試験により鋳鉄表面には摩耗の進行がみられるが、銅合金表面の凹凸形状はほとんど変化せず、摩耗していないことを明らかにした。
- (2) 鋳鉄表面に形成される酸化膜において、茶褐色の面積が大きい場合、摩擦係数は徐々に上昇する傾向がみられて摩耗量が多く、黒色の面積が大きい場合、摩擦係数は低い値で推移して摩耗量が少なくなることがわかった。

文献

- 1) 坂間：油圧技術の動向と展望，カヤバ株式会社 論説，KYB 技報，第 56 号，2018-4（2018）2-5.
- 2) 日本機械学会：機械工学事典，社団法人 日本機械学会，（1997），1307.
- 3) 八木：各種その場観察方法による焼付き過程の理解，トライボロジスト，vol.64，no.5（2019）294-301.
- 4) 山本・宮島・大滝・井関・佐藤：銅合金を相手材とした FCD 鋳鉄の摩耗および焼付きの可視化，2023 年度砥粒加工学会学術講演会（ABTEC2023），（2023），B47.