

その場観察型フレットング摩耗試験装置の開発

那須 裕規*¹, 山崎 壮真*², 富田 洋佑*³

Development of In-situ Observation Fretting Wear Testing Device

Yuki NASU, Soma YAMASAKI and Yosuke TOMITA

Fretting damage is a phenomenon occurring at contact interfaces by two contacting bodies, the in-situ or direct observation is necessary to investigate the mechanism of the phenomenon and its process. In this paper, a small specially designed piezoelectric fretting wear testing device was developed for the purpose. The fretting wear tests were carried out under the Hertzian contact of steel ball and glass plate. The experimental results showed that the appearance of worn surfaces fretted annulus, spread with increasing number of cycle, and process of crack initiation.

KEYWORDS : Fretting Wear, In-site observation, Piezoelectric actuator, glass

1. はじめに

フレットングとは、「微小振幅の相対運動を受ける接触二面間に生じる摩耗現象」⁽¹⁾と定義され、フレットング摩耗、疲労、コロージョンに大別される。

自動車、鉄道車両、産業機械などの動力伝動システムや、その支持システムにおいて起こるフレットング摩耗は、その損傷発生点は微小であるが、機械全体の交換や休止を導くので損害が大きく、問題となる。近年では都市化が進み、技術の進展により発電機、リニアモータ、電気自動車、医療関係では MRI などの高磁場を発生する機器が実用化されている。それに伴い機器・構造物はより強い磁場に曝される機会が増えている。このような磁場が機械要素や締結部で起こる摩耗現象

に変化を与えるならば、装置の精度や寿命が左右される可能性が考えられ、設計や保全に対して十分な検討も必要である。

フレットング摩耗は常に金属同士が接触した状態で摩耗が進行するため、接触摩擦面に生じる摩耗の様子を捉えることが困難である。そのため、フレットング対策を考える場合、フレットング摩耗機構を明確にする必要がある。しかし、フレットング独自の摩耗機構は無く、凝着摩耗、アブレシブ摩耗、疲労摩耗、酸化摩耗などが複合した形で摩耗が進行するため、フレットング摩耗機構を明確に捉えるには接触面の摩耗過程を直接観察する必要がある。

そこで、本研究ではその場観察が可能なフレットング摩耗試験装置を設計・製作し、光学顕微鏡を用いて摩耗の様子を観察することで、摩耗機

*1 機械工学科(Dept. of Mechanical Engineering), E-mail: ynasu@oyama-ct.ac.jp

*2 研究生 (2011 年度卒業)

*3 山梨大学 3 学年 (2011 年度卒業)

構を解明することを目的とした。また、著者ら⁽²⁻⁴⁾はフレッティング摩耗に及ぼす磁場の影響を研究し、磁場は実験条件により摩耗を促進したり、反対に緩和することを報告した。そのため、本試験装置は磁場環境下での摩耗試験も考慮して試験装置の設計・製作を行った。

本論文では、設計・製作した摩耗試験装置の概要を述べ、鋼球とガラス平板におけるフレッティング摩耗試験の結果について報告する。

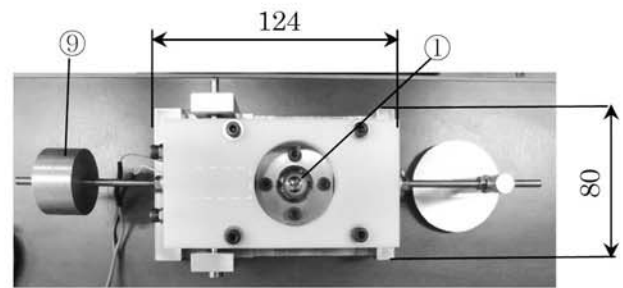
2. フレッティング摩耗試験装置の概要

2.1 試験装置の設計と構造

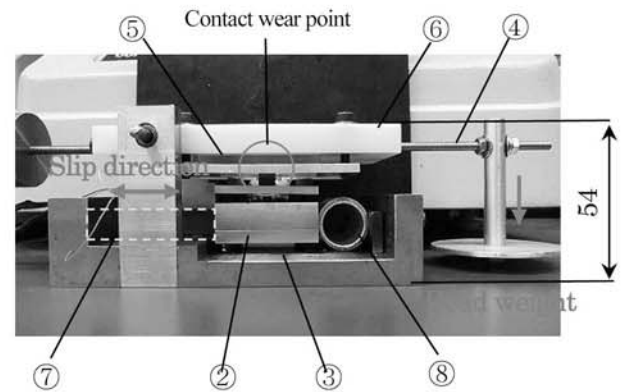
フレッティング摩耗試験では、微小な数 μm の接線方向への振動を接触面に発生させることが要求される。加振装置にはこれまでに偏心機構とリンクを併用した機械式、油圧式、電磁式などが挙げられる。接触荷重では、死荷重、ばね力、油空圧、摩擦力の測定では、接触要素を支持する箇所にはひずみゲージを接着する方法が取られる⁽⁵⁾。また、接触方式も球面/球面、球面/平面や、円筒面/円筒面、円筒面/平面等と様々である。以上のようにフレッティング摩耗の試験方法や試験装置には、多種多様な方法が考えられ、特に規格あるいは標準的なものは無く、各研究者が目的に応じて独自に開発し、試験が行なわれている。

本研究では、加振装置には一定の振動周波数を与えられる圧電アクチュエータを用い、接触荷重には常に一定の荷重が与えられる様に死荷重方式、さらに接触方式には理論的な取扱いが容易である球面/平面の Hertz 接触を採用した。この方式の利点として、片当たりなどの試験片の接触状態を考慮する必要がなく、Hertz の接触理論が適応可能である。図 1 に設計・製作したフレッティング摩耗試験装置を示す。球面/平面の周辺部は、今後の研究で磁場を供給することを考慮し、磁気回路を乱さないように、試験片以外の材料は非磁性体のアルミニウムを使用し、その他の部分は SS400 を使用した。

試験装置の機構は、試験片の鋼球①は保持器②に固定され、保持器はリニアガイド③により水平方向に可動でき、垂直荷重はてこ④により負荷される。一方、鋼球に加わる垂直荷重を受ける平板試験片(ガラスプレート)⑤は、上板⑥に保持されている。圧電アクチュエータ⑦の振動は、保持



(a) 平面図



(b) 正面図

- ①SUJ2 (Ball) ②Specimen Holder
- ③Horizontal liner guide ④Lever
- ⑤Glass plate
- ⑥Upper Plate ⑦Piezoelectric actuator
- ⑧Al pipe ⑨Balancer

図 1 フレッティング摩耗試験装置

器②と Al パイプ⑧に伝えられ、保持器に伝わった振動が鋼球を振動させ、鋼球と平板間で相対すべりが生じる。

2.2 摩耗試験システムの構成

制御システムの概要を図 2 に示す。接触面への振動はファンクションシンセサイザにより周波数・電圧を設定し、この信号を電力増幅器に経由し、圧電アクチュエータによって与えられる。また、振動振幅の大きさはファンクションシンセサイザの電圧を変化させることで振動振幅を変えることができる。

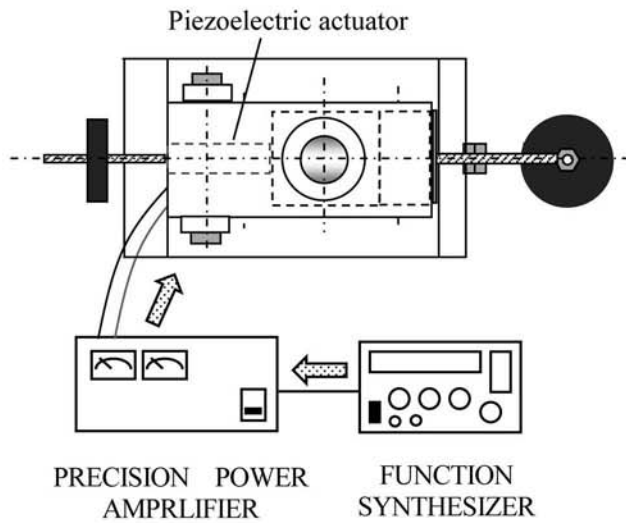


図2 フレットング摩耗試験システム

表1 試験片の形状と機械的性質

Specimen	Dimension [mm]	Tensile strength [MPa]	Hardness HV[kg/mm ²]
SUJ2 Steel ball	φ20	1570~1960	650~740
Glass Plate	W50×L50 ×T5	300~900	548

3. 実験方法

3.1 試験片

試験片は軸受鋼 (SUJ2) とガラスプレート (クラウンガラス) を使用した。表1に試験片の形状と機械的性質を示す。

3.2 実験条件

実験では光学顕微鏡を用いて接触面の損傷を直接観察するため、図3に示すように光学顕微鏡のステージに試験装置を置き、ガラスの上部から顕微鏡で撮影し、その映像をモニターで観察する。摩耗領域の大きさは付属の計測器により測定する。

荷重の設定は、試験機上部の重さをバランサーでバランスをとり、錘を載せて鋼球とガラス平板を接触させ、何種類か錘を変えて接触領域を測定した。その結果と Hertz の接触理論とを比較し、荷重条件を定めた。その結果、図4に示すようにほぼ理論値と一致することを確認した。

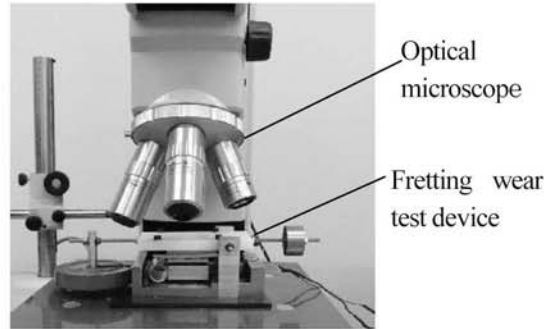


図3 光学顕微鏡による摩耗試験の様子

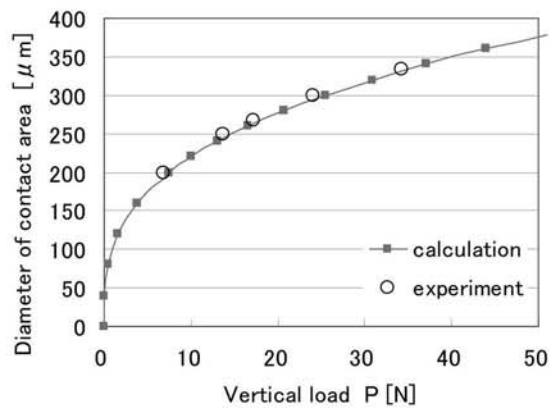


図4 接触領域と垂直荷重の関係

実験は鋼球 (SUJ2) とガラスプレート試験片をアセトンで脱脂し、乾燥させて使用した。実験条件は室温 20~25°C、湿度 35%、垂直荷重 17N、周波数 10Hz、すべり振幅は圧電アクチュエータの性能より推定し、10 μm (電圧 35V) とした。

4. 実験結果と考察

図5は開発した摩耗試験装置により光学顕微鏡で観察を行なったときのフレットング摩耗の様子を示しており、図中の矢印はすべり方向を表している。垂直荷重を負荷すると図5 (a) のように静止状態で接触円 (中央の黒色部) と数本のニュートンリングが見られる。振動を与えると図5 (b) のように接触円周辺部から摩耗粉が見られるようになり、繰返し数が増加すると接触円周辺部では円環状に摩耗粉が生成および堆積し、接触円の中央部は摩耗が生じていない部分が現われる。この摩耗が生じる部分と生じない部分については Mindlin が理論的に解析を行っており、フレットングではこの接触モデルが評価に用いられる。

図6にMindlinの接触モデルを示す。このモデルはHertzの接触到に接線力を考慮したモデルである。半径 R の球が荷重 P で平面と弾性接触し、同時に接線力 Q が作用する。 $Q < \mu_0 P$ (μ : 静摩擦係数) のとき、接触面間にはすべりを生じない固着域とその外側にはすべりを生じる円環状領域が共存する状態となり、 $Q \geq \mu_0 P$ になると全面すべりが生じる。

繰返し数が増加すると摩耗が進行し、摩耗粉は固着域に拡がって図5(c)のように固着域は小さくなる。さらに、ガラス面には接触円に沿ってすべり方向に対して垂直方向にき裂が発生し、弓状に進展する様子が見られた。このき裂は疲労によるものと考えられる⁶⁾。さらに繰返し数が増加すると、図5(f)のように摩耗の増加と共に左右のき裂が進展して交差し、き裂の進展はそこで停止する様子が観察された。また、図7は往復すべりに伴うき裂の開閉を示している。図中の矢印はすべり方向を示しており、すべった方向側のき裂は閉じ、反対側に生じたき裂は開口し、振動に伴いき裂の開閉は繰り返される。

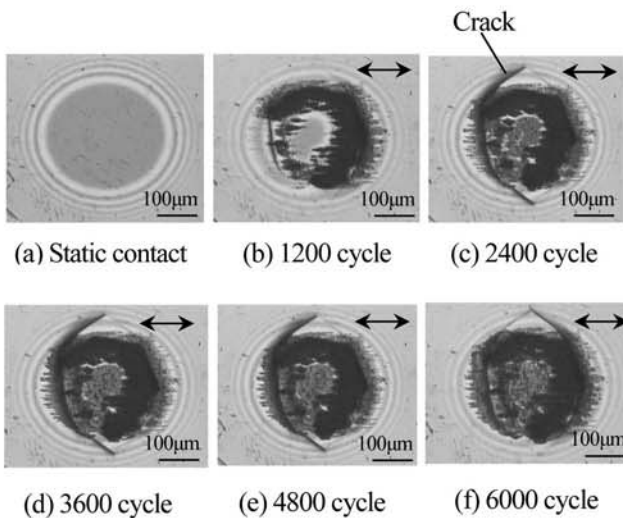


図5 繰返し数に伴う摩耗進展の様子

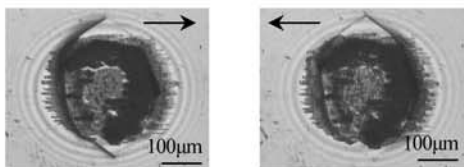


図7 往復すべりによるき裂の開閉

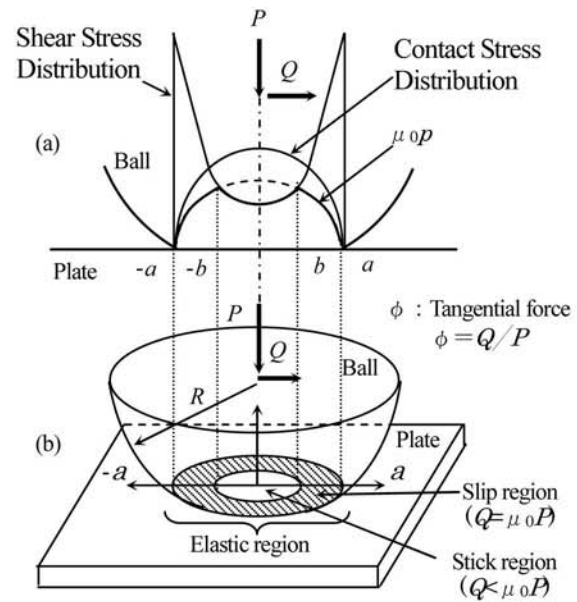


図6 Mindlinの接触モデル
(a) 応力分布 (b) 接触状態

5. おわりに

本研究では、フレットング摩耗現象の直接観察を目的に、フレットング摩耗試験装置の設計・開発を行ない、予備実験を通じてフレットング摩耗の評価が可能であることを確認した。今後の予定として、フレットング摩耗現象の測定パラメータとして必要とされる、接触箇所の相対すべり量の測定、ひずみゲージを用いて接線力の測定などを行ない、フレットング摩耗痕の顕微鏡観察をはじめ、摩耗領域、摩耗深さなどのパラメータを計測し、フレットング摩耗過程を検討する。

参考文献

- 1) R.B.WATERHOUSE, FRETTING CORROSION, PERGAMON PRESS, (1972)
- 2) K. Sato, T.A. Stolarski, Y. Iida, *Wear*, 241 (2000) 99-108
- 3) Iida, Y., Nasu, Y., Sato, K, JSME annual meeting, Vol.2005, No.4. 291-292
- 4) 那須裕規・佐藤建吉: 日本機械学会論文集(A編), Vol.74, No.743, pp.1026-1030(2008)
- 5) M.Shima; Journal of Japanese Society of Tribologists, Vol.34, No.5 (1989) 364-366
- 6) 佐藤準一: 機械の研究 第55巻 第3号 P81-86 (2003)