

すべりと停止を繰り返す運動下での摩擦に関する研究 運動パターンと摩擦量との関係

千葉工業大学 ○岩畑拓也, 千葉工業大学 ◎大谷親

一般に、可動部分に使用される機械要素の損傷は、連続運動に比べ、すべりと停止を繰り返す運動の方が大きいと云われている。本研究では、このことを検証するため、ボールオンディスク型の摩擦試験機を用いて、無潤滑下で、べりと停止を繰り返す種々の運動パターンで摩擦試験を行い、球の摩擦量で評価した。結果、摩擦量は、停止回数の増加によって増加し、最高すべり速度と加速度の増加によって減少したことを報告する。

1 緒言

一般に、可動部分に使用される機械要素の損傷は、連続運動に比べ、すべりと停止を繰り返す運動の方が大きいと云われている。原因として、停止から滑り始める際に静止摩擦力が働くからと考えられているが、摩擦との関係は明確にされていない。

そのため本研究では、すべりと停止を繰り返す運動パターンの停止回数、最高すべり速度、加速度の条件を変えて摩擦試験を行い、すべりと停止を繰り返しが摩擦に与える影響について検証した。

2 摩擦試験機

摩擦試験機の概略図を図1に示す。本試験ではボールオンディスク型の試験機を用いて、ディスクの回転にはステッピングモータ（株）オリエンタルモーター製ARシリーズステッピングモータ AR911AAD-3）を用いた。PCにより任意の条件の運動パターンを入力し、ステッピングモータでディスク試料に運動を伝達する。

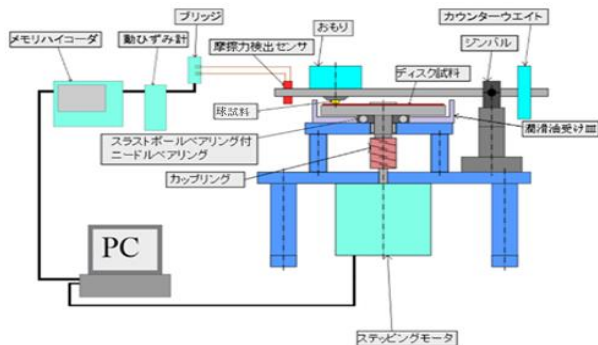


図1 摩擦試験機の概略図

3 試験試料

本試験で使用した鋼球試料、セラミック球試料、ディスク試料を表1に示す。鋼球試料、セラミック球試料は転がり軸受の転動体を使用し、ディスク試料についてはスラストころ軸受の軌道輪（AS1110）を使用した。

表1 試験試料

	鋼球試料	セラミック球試料	ディスク試料
材質	SUJ 2	窒化ケイ素	SUJ 2
寸法 (mm)	Ø4.762 (3/16inch)	Ø4.762 (3/16inch)	外径 70 内径 50 厚さ 1
ピッカース 硬さ(HV)	810	1600	820
ヤング率 (GPa)	207	310	207

4 試験条件

試験は無潤滑状態でを行い、すべり距離は10mとした。また荷重は2.5Nとした。この時の鋼球試料とディスク試料での最大接触圧力は1033.5 MPa、セラミック球試料では1160.7 MPaとなった。

ディスク試料の運動パターン（以下P）について表2に示す。またP1とP2の4秒間の速度変化を図2に示す。P4は最高すべり速度をP1の1/10に、P5は加速度をP2の10倍に、P6は最高すべり速度をP2の1/10にしたものである。なお、P4については鋼球のみ試験を行った。

表2 ステッピングモータの運動パターン

	P1	P2	P3
最高すべり 速度 (m/s)	0.189	0.189	0.189
加速度 (m/s ²)		0.189	1.89
1回のすべり距離 (m)	10	0.189	0.019
停止時間 (s)		0.7	0.7
繰り返し回数	0	53	530
	P4	P5	P6
最高すべり 速度 (m/s)	0.019 (P1/10)	0.189	0.019 (P2/10)
加速度 (m/s ²)		1.89 (P2×10)	0.189
1回のすべり距離 (m)	10	0.189	0.189
停止時間 (s)		0.7	0.7
繰り返し回数	0	53	53

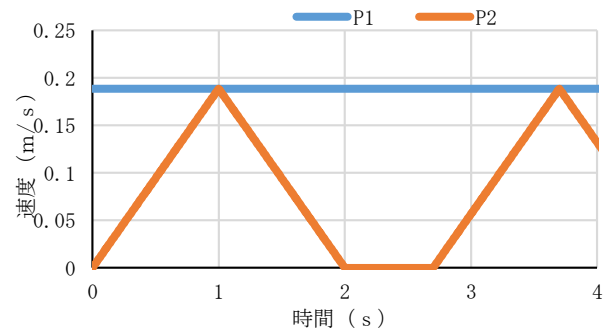


図2 P1とP2の速度変化

5 試験結果

P1 から P6 まで各 3 回ずつ試験を行い、試験後の球試料の摩耗円直径を測定し、摩耗体積を求め平均を結果とした。図 3 に鋼球の摩耗体積を、図 4 にセラミック球の摩耗体積を示す。

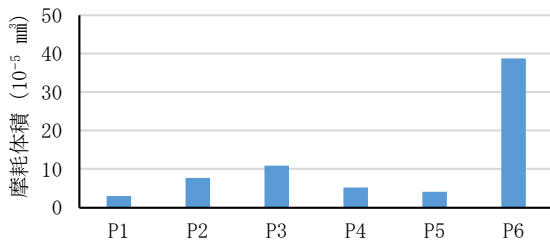


図 3 鋼球の摩耗体積

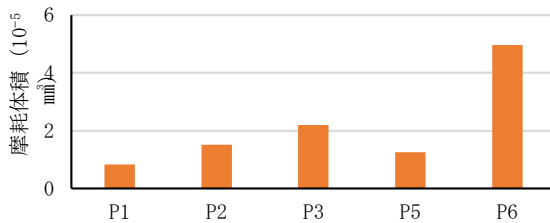


図 4 セラミック球の摩耗体積

図 3, 図 4 より, どちらの試料でも同様の傾向が見られた. 停止回数が増える P1 から P3 を比較すると, 鋼球試料, セラミック球試料とも摩耗量が増加した. また最高すべり速度を P1 と P2 の 1/10 にした P4 と P6 も同様の傾向を示した.

最高すべり速度の違いでは, 停止をしない P1 と P4, 停止をする P2 と P6 を比較すると, 最高すべり速度が増加することで摩耗量は減少した.

加速度の違いでは, P2 と P5 を比較すると, 加速度が増加することで摩耗量は減少した.

6 考察

鋼球を用いて P1, P5, P6 の条件で試験を行った後のディスク試料の摩耗痕を図 5 から図 7 に示す, またセラミック球を用いて P1, P5, P6 の条件で試験を行った後のディスク試料の摩耗痕を図 8 から図 10 に示す.

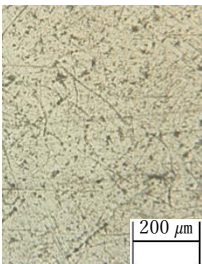


図 5 P1 のディスクの摩耗痕

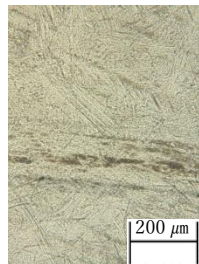


図 6 P5 のディスクの摩耗痕

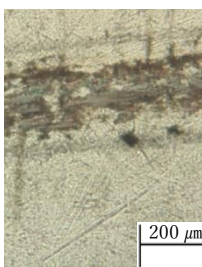


図 7 P6 のディスクの摩耗痕

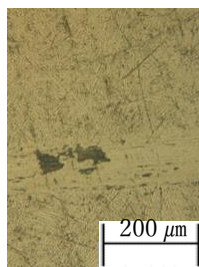


図 8 P1 のディスクの摩耗痕

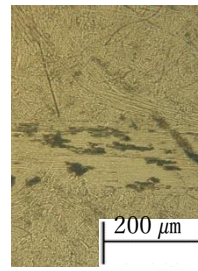


図 9 P5 のディスクの摩耗痕

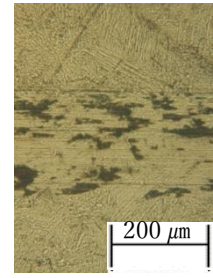


図 10 P6 のディスクの摩耗痕

図 5 では, ひっかきと思われる痕跡がわずかにしか見えない. しかし, 図 6 では, わずかだが凝着と思われる痕跡が残っており, 図 7 に関しては, 大部分に凝着と思われる痕跡が見られ大きな差が見て取れる. それに比べ, 図 8 から図 10 では, すべり面に残留している摩耗粉の量に差はあるが, 概ね同様な摩耗形態であるといえる. このことから SUJ2 同士の摩擦では運動条件の影響を大きく受けることが分かる.

ここで材質による摩耗量の変化に着目する. P2 の加速度を 10 倍した P5 の摩耗量は, 鋼球では 0.54 倍に, セラミック球では 0.83 倍になった. このことから鋼球は加速度の違いによる摩耗量の変化が大きくなることが分かる. また P2 の最高速度を 0.1 倍にした P6 の摩耗量は, 鋼球では 5.01 倍に, セラミック球では 3.27 倍になった. この時も, 鋼球はセラミック球に比べ, 最高すべり速度の違いによる摩耗量の変化が大きくなることが分かる. これは摩耗痕に残る凝着の具合と比べても同様で, セラミック球では加速度, 最高すべり速度を変えたときに大きな変化はないが, 鋼球であれば大きく凝着の痕が変化している.

加えて, 鋼球での試験において, P1 と P4, P2 と P6 の摩耗量の変化を比較する. 結果として, P1 から P4 では, 摩耗量は 1.74 倍増加しているが, P2 から P6 では, 5.01 倍と大きく増加をした. このことから運動の停止は, 摩耗量を大きく増加させることが分かる.

これらのことから, 運動を停止することは凝着をより促進させる要因で, SUJ2 同士の摩擦による摩耗は, 凝着しやすい条件である停止回数が増加するほどより摩耗に大きく影響を与える. しかし, 凝着しづらいセラミック球ではその影響は少ない.

停止が摩耗を促進させる理由として, 摩耗粉がディスクの表面でより強固に凝着し, それが離脱しにくい固定砥粒のようにふるまうと考える. また, 停止時間と凝着力には比例関係があり¹⁾, 停止をすることで凝着力が大きくなり, 離脱しづらい砥粒が増加し, より球試料を摩耗させていると考えられる.

7 結言

摩擦試験によって, 停止回数の増加, 最高すべり速度の低下, 加速度の低下により摩耗量が増加することから, 停止することで, 摩耗粉がディスク試料に強固に凝着し, 凝着物が球試料を摩耗させていると考えられる.

参考文献

- 1) バウデン・テイバー, 曾田範宗訳: 固体の摩擦と潤滑, 丸善株式会社, (1975) 第 4 版, 290