

テーマj 二円筒転がり－滑り摩耗試験

1. 目的

西原式二円筒試験機によって転がり－滑り摩耗試験を行い、種々の因子が摩耗にどのような影響を及ぼすかを理解する。

2. 摩耗の基礎

2.1 転がり－滑り接触状態における摩耗

摩耗は“摩擦による固体表面部分の逐次減量現象”と定義されており、機械システムの寿命を決定する原因の多くは摩耗が関係すると言われている。鉄道におけるレールと車輪のような転がり－滑り接触する2つの物体間では、摩耗が両方の寿命を決定する場合がある。例えば急曲線における外軌レールのゲージコーナーは、車輪フランジとの接触により摩耗が激しく、レール交換の大きな要因となっている。また走行する区間に曲線が多い場合、車輪のフランジ付け根部分が大きく摩耗するフランジ直立摩耗が生じ、車輪交換の主因の一つとなる。西原式二円筒試験機は、車輪とレールのような転がり－滑り接触状態にある物体の摩耗を評価するための試験機である。

2.2 摩耗の形態

一般に摩耗の形態は、次の四つに分類される。

(1) 凝着摩耗

2 固体間の真実接触面積を構成する凝着部分が、摩擦運動によりせん断されることに基因して生ずる摩耗現象である（図1）。あらゆるすべり摩耗現象の一部もしくは大部分をしめる。ことに潤滑油の存在しない場合、摩擦面の表面あらかさが小さい場合、2面の硬さの差が少ない場合、2面が類似の金属で凝着しやすい場合には、凝着摩耗がほとんど支配的に生じる。

さらに凝着摩耗は摩耗量の大きさによって以下の二つに分類される。

(a) シビア摩耗

体積で表した摩耗量を、すべった距離と垂直力で割った比摩耗量が $10^{-5} \sim 10^{-7} \text{mm}^2/\text{N}$ 程度で、移着粒子が大量に付着する。数十 μm 以上の大きな摩耗粉が生成し、大きなものは1mm程度に達する。

(b) マイルド摩耗

比摩耗量は $10^{-8} \sim 10^{-10} \text{mm}^2/\text{N}$ 程度で、摩擦面はなめらかであり、大きな移着粒子は存在しない。摩耗粉は数十 μm 以下で微細である。

(2) アブレシブ摩耗

すべり合う固体面間において硬い異物が介在したり、一方の面が硬くて粗い場合あるいは固体表面と粒子が高速で衝突する場合などに主として削り取りによって固体表面が摩耗する現象である（図2）。

(3) 疲労摩耗

疲労摩耗は、滑り摩擦に比較して転がり摩擦が支配的な場合に発生する。部材同士が接触する表面には繰返しせん断応力が作用して、時間の経過とともに微視的な割れが発生して、これがき裂に進展して表面剥離を発生させる（図3）。割れを発生させるせん断応力は表面から少し内部に入ったところで最大となる。

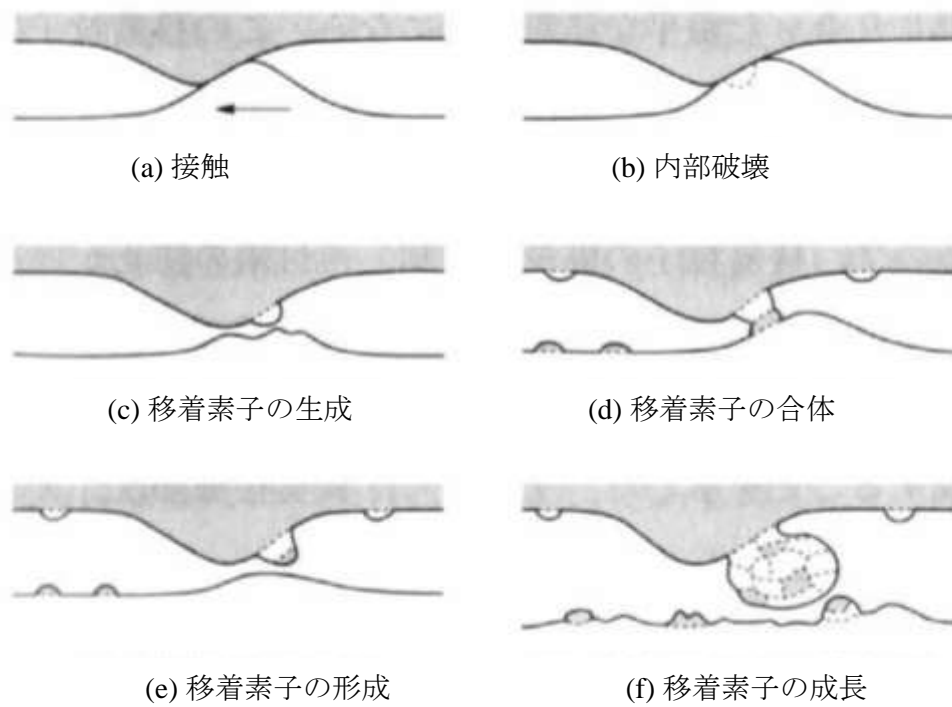


図1 凝着摩耗

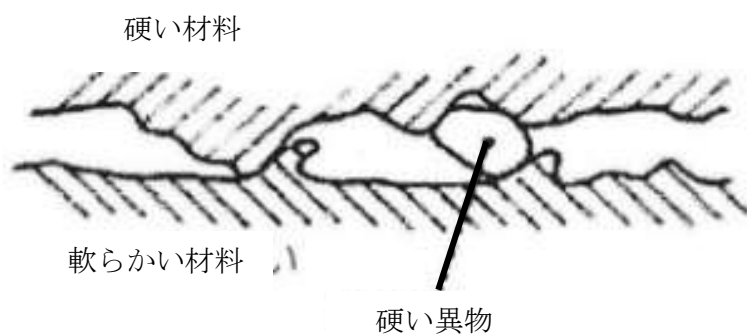
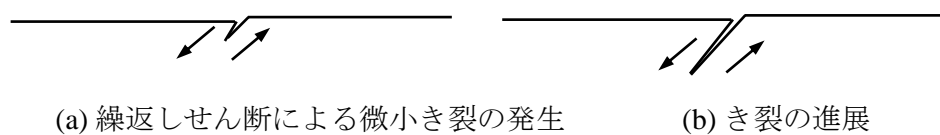


図2 アブレシブ摩耗



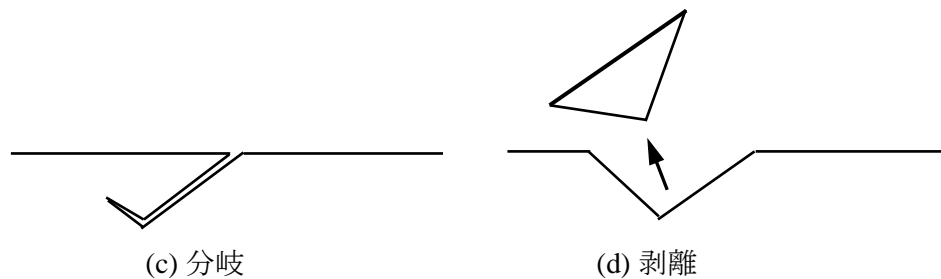


図3 疲労摩耗

(4) 腐食摩耗

摩擦面と環境との化学反応が支配的な摩耗である。材料が腐食性環境中で摩擦されるとき、腐食は促進され、腐食反応の強さによって摩耗が大きく影響される。腐食摩耗は表面被膜の破損と修復速度に依存するが、さらに生じた腐食生成物が摩耗粉となって摩耗に影響し、ときには潤滑作用を及ぼして摩耗、摩擦を減じることもある。

3. 摩耗量の評価

摩耗量の評価方法には、次の二つが一般的である。

(1) 摩耗率

ある一定条件のもとに摩擦運動をさせたときの、単位摩擦仕事当たりの摩耗量(mm^3/m)を摩耗率という。摩耗量、滑り距離の摩耗曲線の傾きを表すが、簡便的には一定滑り距離後の摩耗量をその距離で割って求める。

(2) 比摩耗量：単位滑り距離，単位荷重当たりの摩耗量

一般に摩耗量は摩擦面に垂直に加わる力とすべった距離に比例し、摩擦面材料の硬さに反比例する（ホルムの法則）。摩耗量の程度を示すのに、体積で表した摩耗量をすべった距離と垂直力で割った比摩耗量（ mm^2/N ）を用いることがあり、これを比摩耗量という。

4. 摩耗進行曲線

摩耗進行曲線とは、滑り距離による摩耗率または比摩耗量を表したグラフのことである。図4にその模式図を示す。一般的にはⅠ型であり、初期に摩耗が多く、なじんで低摩耗になる。Ⅱ型はアブレイブ摩耗の場合、Ⅲ型は疲労摩耗の場合である。

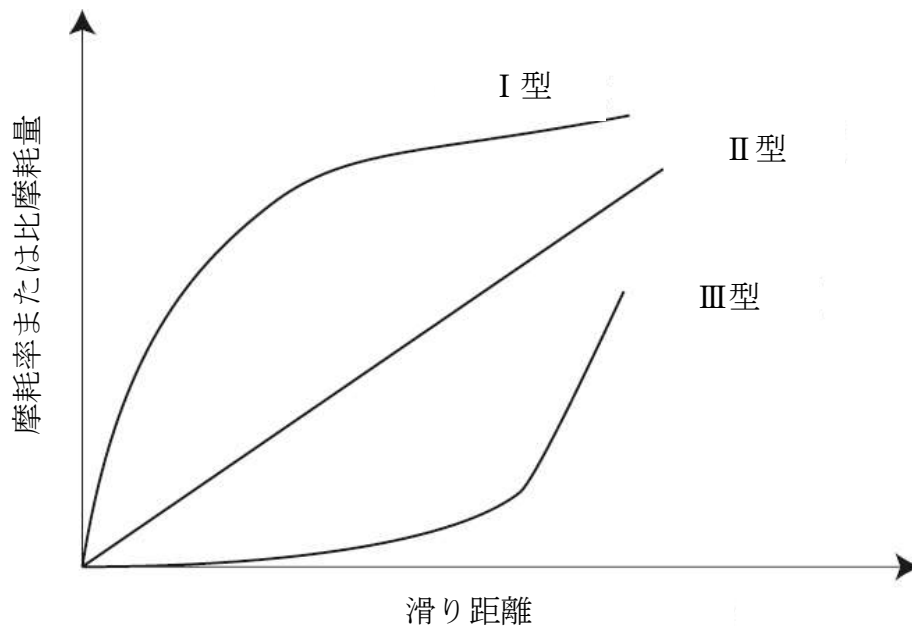


図4 摩耗進行曲線

一般に摩耗は初期に高い摩耗率（または比摩耗量）を示すが、徐々に接触面がなじんできてことによって摩耗率は低くなる。

5. 摩耗に影響を及ぼす因子

実験室で摩耗試験を行なう場合、どのような条件下で実施したかは非常に重要である。摩耗に影響を及ぼすと考えられる因子を以下に列挙する。

5.1 接触形態と相手材

巨視的にみれば接触は面で行われるが、面接触の場合は見掛けの接触面積が摩耗に関係する。真実接触面積も重要であるが実験的に制御するのは困難であり、測定手段も確立されていない。接触面積はヘルツ理論で計算するのが一般的である。そのほか、転がり-滑り接触では滑りと転がりの割合、摩耗粉の除去の状態なども問題である。相手材の硬度や破壊靱性などの特性によっても摩耗は変化する。

5.2 荷重

荷重方式には重錘、バネ、油圧、空気圧などがあるが、荷重の絶対値とともに、荷重軸方向 および滑り方向の剛性が摩耗に関係する。振動やスティック・スリップ(Stick-slip)などは疲労摩耗には大きく影響を与える。また荷重は回転速度とともに摩擦発熱を支配する因子である。

5.3 回転速度

回転速度は荷重と同様、摩擦発熱を通して接触面の変化を引き起こす。高速になると衝撃力による微小破壊が原因となって摩耗が急増する場合が多い。

5.4 温度

温度も摩耗に大きな影響を与える因子である。接触が行なわれている雰囲気温度とともに、摩擦発熱の効果も重要である。

5.5 潤滑状態

潤滑状態は無潤滑、固体潤滑剤潤滑および流体潤滑に大きく区分できる。無潤滑の場合は固体同士が直接接触するため、特に表面の清浄度、吸着物質などが大きく影響する。固体潤滑剤には黒鉛、 MoS_2 、BN などがあるが、どのようにして接触面に供給するかも問題である。流体潤滑の場合は流体の粘度、荷重、回転速度などにより潤滑状態が変化する。

5.6 表面仕上げ

表面仕上げは接触初期には大きな影響を与えるが、ある程度摩耗が進行すれば表面は定常状態に達するので、その影響は少なくなると思われる。もちろん、流体潤滑などのほとんど摩耗を伴わない接触では、最初の表面状態は重要な因子である。

6. 試験

6.1 試験方法

荷重及び滑り率を変えて、それらが摩耗にどのような影響を及ぼすかを調査する。試験には西原式二円筒試験機を用いる。試験片回転速度は 1000 [rpm] で、試験片圧縮荷重は、0.5～5 [kN] のバネ荷重式で、滑り率は、1%、3%、9%（ギヤ交換式）の三種類がある。試験片は厚さ 12mm、直径 30mm の円筒形である。

6.2 試験条件

滑り率と荷重を変化させた実験を 3 種類行う。

(1) 実験 1：滑り率 3%、接触圧力 1.1GPa

(2) 実験 2：滑り率 9%、接触圧力 0.8GPa

(3) 実験 3：滑り率 9%、接触圧力 1.1GPa

滑り率は歯車で変化させる。荷重は次式のヘルツの式を用い、指定された接触圧力から求める。

$$P_{\max} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \frac{P_n}{b} \frac{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}{\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}}}$$

ここで、 R_1 及び R_2 はそれぞれ組み合わせる試験片の半径、 b は試験片の幅、 E_1 及び E_2 はそれぞれ組み合わせる試験片のヤング率でいずれも 205×10^3 [MPa] とし、 ν_1 と ν_2 はそれぞれポアソン比で 0.3、 P_n は与える荷重である。潤滑油は循環式で、試験片上部より毎秒 1 滴程度滴下する。摩耗量を測定するため、試験中所定の回転毎に試験機を止め、試験片を取り外して質量測定を行う。

6.3 試験機の取り扱い

(1) 壁にある配電盤の中に予備電源のスイッチを ON にする。

- (2) コンプレッサーを起動する。ドレンコックを閉める。
- (3) 西原式二円筒試験機の主電源を ON にする。
- (4) 運転位置側（右側）と荷重アーム側（左側）回転軸に、それぞれの試験片を取り付けナットで固定する。
- (5) 荷重アームのばね荷重ハンドルとロックハンドルを右回しでストッパまで下げる。
- (6) 潤滑油飛散防止用プラ板をセットする。
- (7) 荷重アームを作業位置（右側）から運転位置（左側）へゆっくりと反転させ試験片を接触させる。この時、試験片同士を強く接触させないこと。
- (8) ロックレバーを垂直に引き上げながら荷重アームへ引っ掛けセットする。
- (9) エアバルブを ON。
- (10) 荷重アームの荷重ハンドルを左回しに、所定の荷重をかけてセットする。設定後にロックハンドルを締め付ける。
- (11) 油カバーをかける。
- (12) 本機のカウンタ表示計に試験回転数をセットし、リセットボタンを押す。
- (13) ポンプ起動ボタンを押し、油が垂れていることやホースの中に空気が溜まっているかを確認する。もし空気が溜まっている時は、空気が抜けるまで油を流し続ける。
- (14) 回転起動ボタンを押す。
- (15) 所定の回転数が終了すれば、電子分析天びんで重さを測定する。

6.4 摩耗進行曲線の作成

6.4.1 滑り距離に対する摩耗率のグラフを作成

- (1) 滑り距離は、試験片の走行距離×滑り率をメートル (m) 単位で求める。走行距離は、試験片の円周長さ×回転数で求める。
- (2) 摩耗量は、試験片材料の密度を $7860 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ として、測定した質量を体積 (mm^3) に変換する。
- (3) 摩耗率 (mm^3/m) は、(2)の摩耗量 (mm^3) を(1)の滑り距離 (m) で割る。
- (4) グラフは、(1)の滑り距離 (m) に対して(3)の摩耗率 (mm^3/m) をプロットする。

6.4.2 滑り距離に対する比摩耗量のグラフを作成

- (1) 滑り距離は、試験片の走行距離×滑り率をメートル (m) 単位で求める。走行距離は、試験片の円周長さ×回転数で求める。
- (2) 摩耗量は、試験片材料の密度を $7860 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ として測定した質量を体積 (mm^3) に変換する。
- (3) 比摩耗量 (mm^2/N) は、(2)の摩耗量を(1)の滑り距離 (m) をミリメートル (mm) に変換したものと荷重 (N) で割る。

(4) グラフは、(1)の滑り距離 (m) に対して(3)の比摩耗量 (mm^2/N) をプロットする。

6.5 レポートの作成

レポートは、次の項目を必ず含めること。

目的、方法、結果（グラフの作成）、考察。