 研 究

摩耗試験における形状効果と寸法効果

水 野 万 亀 雄*

Effects of Shape and Size on Wear

Makio MIZUNO

When a rider slides on virgin surfaces without lubrication, wear of the metals is affected by the shape and size of the test pieces. In this paper, the mechanism of wear, caused by movement of the wear particles is discussed.

It is found that some wear particles, transferred from the test piece to the virgin surface, come back again to the original surface and there is an equilibrium state in which the mass of the back transferred particles is equal to the wear particles, transferred from the original surface. This study shows that metal wear W is expressed by the following equation.

$$W = h_o p L_o \iint e^{-k_1 x} dx dy$$

where

- p : constant pressure
- L_o : sliding distance
- x : length of test piece
- y : width of test piece
- h_o : transfer constant
- k_1 : back transfer constant

1. ま え が き

摩耗現象は作用因子を数多く含むため複雑な形をとり、その本質はなかなか見きわめ難い。それゆえその解析はまず単純な条件より始め、順次に複雑な実用状態の条件におよぶように、つぎの段階を踏んでゆくのが妥当と思われる。

- 1) 繰り返しのない場合、非潤滑面における解析
- 2) 繰り返しのない場合、境界潤滑面における解析
- 3) 繰り返しを伴う場合、非潤滑面における解析
- 4) 繰り返しを伴う場合、境界潤滑面における解析

前報¹⁾では第1段階として繰り返しのない場合の非潤滑面における摩耗と摩擦の関係を論じ、第2報²⁾では第2段階として繰り返しのない場合の境界潤滑面における摩耗と摩擦の関係を論じた。それらの報告のなかで試料の面積効果についてふれたが、本報はその詳細を試料の形状と寸法の効果としてまとめた。

この報告は摩耗粉の転移 (transfer) およびその1部が再転移 (back transfer) することを確認した上でそ

の挙動をとり入れ、繰り返しのない、いわゆる処女面について解析した。またこの解析はつぎの第3段階である繰り返しを伴うところの初期摩耗現象の説明にも使用できそうである。

2. 理論的考察

第1報¹⁾、第2報²⁾の繰り返しのない摩耗試験では摩耗量が見掛けの荷重に比例した。しかしこれは限定された実験範囲内で認められたのであつて、常に成立するとは断言できない。なぜならば荷重が見掛けの接触圧力と面積の積としてあらわされる以上、当然そのおのおのが摩耗量と比例しなければならないからである。

接触圧力について Holm³⁾ は接触電気抵抗の立場から、理論的に、筆者¹⁾、Sakmann⁴⁾、Rabinowicz⁵⁾、佐田⁶⁾などは摩耗実験から摩耗量は接触圧力に比例すると発表している。

接触面積と摩耗量の関係はこれまで比例するといわれてきたが、常にこの関係を保ち得るかは疑問であり、形状の効果も含めて考察をおこなうことにする。考察を進めるために、はじめにつぎの仮定をおく。

* 理化学研究所 正会員

仮定 1) 摩耗粉は酸化しない。

硬い金属表面上を軟らかな金属試料がすべると、この試料は摩耗して摩耗粉を硬い金属表面に残す。この転移した摩耗粉は接触面における凝着部の破壊によつて生じたものであり、摩耗粉が生成した瞬間はすくなくともその表面は汚れていない。この摩耗粉は表面の突起付近に凝着するので、試料表面の突起とふたたび衝突するチャンスがあり、そこに酸素が存在すれば衝突数に応じた摩擦熱によつて酸化されよう。しかしながら繰り返しのない場合は衝突するチャンスが少ないから、摩耗粉は酸化されにくい。

仮定 2) 摩耗粉はトラックから飛び散らない。

繰り返しのない摩耗では転移した摩耗粉は相手金属面に凝着しており、簡単に脱落しない。

仮定 3) 摩擦距離はライダの長さ に比十分長い。

摩擦距離が微小のときは摩耗粉の転移のみが行なわれ、再転移がおこらない。それゆえ、そのときの摩耗率(摩耗量/摩擦距離)は摩擦距離が十分長いときに比較して大きな値をとる。これから述べようとする考察は摩耗粉の再転移を主点としているので、摩擦距離に対してライダの長さが無視できる条件が望ましい。

仮定 4) 再転移量はそれまでの摩耗量に 1 次比例する。

転移した摩耗粉の量が多ければライダに再転移する量も多いと考え、その量は転移摩耗量すなわちそれまでにすべらせた摩耗量に n 次比例すると仮定するのが一般的である。しかしながら 1 次比例すると仮定したところ実験とよく一致したので採用した。

いま図 1 のような長さ x 、幅 dy の角柱のライダに

図 1 摩耗模型

接触圧力 p を加え、 L_0 だけ前方にすべらせたときの摩耗量を考える。この摩耗量はライダを長手方向に N 等分し、分割したライダを順々にすべらせることによつて、それぞれの摩耗量を求めればその総和に相当する。

まず分割したところの初めのライダをすべらせ、摩耗深さ h_1 (単位圧力、単位摩擦距離あたり) が測定されたとするならば、その摩耗量 dW_1 はつぎの式から求められる。

$$dW_1 = h_1 p L_0 dx dy \quad (1)$$

つぎに 2 番目のライダをすべらせるわけであるが、この場合は初めのライダによつて生じた転移摩耗粉の上をすべらせることになり、ライダは摩耗すると同時にまえに転移していた摩耗粉の 1 部がライダ表面に再転移もする。それゆえ 2 番目のライダの摩耗量 dW_2 は

$$dW_2 = h_2 p L_0 dx dy \quad (2)$$

同様にして、 N 番目のライダの摩耗量 dW_N は

$$dW_N = h_N p L_0 dx dy \quad (3)$$

よつて図 1 のライダの摩耗量はこれらの総和として

$$W = \iint h(x) p L_0 dx dy \quad (4)$$

仮定 4) によれば、 N 番目のライダをすべらせるとき、ライダに戻る再転移量はそれまでのすべり面に蓄積された転移量に比例する。すなわち、ライダの長さ x によつて摩耗量の減少する割合はそれまでの摩耗量に 1 次比例するから次式が成立する。

$$-\frac{dW}{dx} = k_1 W \quad (5)$$

式 (4)、(5) から $h(x)$ の関数を求め、初期条件 $x = 0$ において $h(x) = h_0$ であるとする

$$h(x) = h_0 e^{-k_1 x} \quad (6)$$

よつて式 (4) はつぎのようになる。

$$W = h_0 p L_0 \iint e^{-k_1 x} dx dy \quad (7)$$

2.1 ライダの形状による摩耗量の差異

2.1.1 直方体ライダの摩耗量

底面が長方形の角柱のライダを辺に平行にすべらせる場合はライダの幅は一定であり、式 (7) の dy は積分の外にはずせるから計算は簡単となる。積分のあとで初期条件 $x=0$ において $W=0$ を入れ、ライダの寸法を長さ a_1 、幅 b_1 とおけば直方体ライダの摩耗量 W はつぎのようになる。

$$W = \frac{h_0 p b_1 L_0}{k_1} [1 - e^{-k_1 a_1}] \quad (8)$$

図 2 は直方体ライダをすべらせたとき、分割した個々

図 2

のライダの摩耗粉の高さ h の変化と、その積分であるところの摩耗量の変化を図示したものである。

2.1.2 底面がひし形のライダの摩耗量

ライダの底面が図3のように、すべり方向の対角長が

図 3

a_2 、すべり方向と直角方向の対角長が b_2 のひし形とする。この場合 x, y の関係は上半分について考えるとつぎようになる。

$$x = \frac{a_2}{b_2} (b_2 - 2y)$$

ひし形のライダの摩耗量は上の関係を式(7)に入れ、2倍して求める。

$$W = \frac{2h_0 p L_0}{k_1} \int_0^{b_2/2} [1 - e^{-k_1 a_2/b_2 \cdot (b_2 - 2y)}] dy$$

$$= \frac{h_0 p b_2 L_0}{k_1} \left[1 - \frac{1}{k_1 a_2} (1 - e^{-k_1 a_2}) \right] \quad (9)$$

2.1.3 円柱ライダの摩耗量

ひし形の場合と同様の考えで、半径 a_3 の円柱ライダをすべらせたときの摩耗量を求めると

$$W = \frac{2h_0 p L_0}{k_1} \int_0^{a_3} [1 - e^{-2k_1 \sqrt{a_3^2 - y^2}}] dy \quad (10)$$

あるいは

$$W = \frac{\sqrt{\pi} h_0 p a_3 L_0}{h_1} \sum_{N=1}^{\infty} (-2k_1 a_3)^N \cdot \frac{N}{(N+1)!} \frac{\Gamma\left(\frac{N}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{N+1}{2}\right)} \quad (10')$$

2.2 ライダの形状効果

2.2.1 直方体ライダ同志の形状効果

底面が長方形の2辺の寸法比 a_1/b_1 を n^2 とおき、これと同面積の正方形の1辺を a とすれば、この間には

$$a_1 = na, \quad b_1 = a/n$$

両者のライダをおなじ条件ですべらせ、その摩耗量の比を形状効果 η_1 (正方形が長方形に変わったための効果) と呼ぶことにする。両者のライダ寸法を式(8)に入れると、形状効果 η_1 は

$$\eta_1 = \frac{1}{n} \frac{1 - e^{-nk_1 a}}{1 - e^{-k_1 a}} \quad (11)$$

この曲線を図4に示し、その性質を表1に掲げた。

図 4 長方形ライダ同志の形状効果

表 1 η_1 の性質

n	$[\eta_1']_{k_1 a=0}$	$[\eta_1'']_{k_1 a=0}$	$[\eta_1'']_{k_1 a=0}$
4	-1.5	21/6	変曲点なし
2	-0.5	1/2	"
1/2	1/4	0	"
1/3	1/3	1/27	$k_1 a_1 \div 0.92$
1/4	3/8	1/16	$k_1 a_1 \div 1.47$

すなわち $k_1 a$ の値によって形状効果 η_1 は異なり、これはまた寸法比 n^2 の値にも左右される。 $k_1 a$ が非常に小さいときは $\eta_1 \div 1$ になるが、 $k_1 a$ がしだいに大きくなるにつれ $n > 1$ のときはほぼ直線的に減少し、 $n < 1$ のときはほぼ直線的に増加する。さらに $k_1 a$ の値が大きくなると η_1 は $1/n$ の値に近づく。

2.2.2 底面がひし形のライダ同志の形状効果

底面がひし形であり、その二つの対角長の比 a_2/b_2 が n^2 のライダを対角線方向にすべらせたときの摩耗量と、これと同面積で $n=1$ のひし形ライダをすべらせたとき*の摩耗量の比を形状効果 η_2 とすれば、式(9)から

$$\eta_2 = \frac{1}{n} \frac{1 - \frac{1}{nk_1 a'} (1 - e^{-nk_1 a'})}{1 - \frac{1}{k_1 a'} (1 - e^{-k_1 a'})} \quad (12)$$

* 底面が正方形のライダを対角線方向にすべらせたことになる。

ここで a' は $n=1$ のひし形ライダの対角長である。式 (12) の曲線を図 5 に示し、その曲線の性質を表 2 にまとめたが、この曲線は図 4 の曲線と性質がよく似ている。

図 5 ひし形ライダ同志の形状効果

表 2 η_2 の性質

n	$[\eta_2']_{k_1a'=0}$	$[\eta_2'']_{k_1a'=0}$	$[\eta_2'']_{k_1a'=0}$
4	-1	11/6	変曲点なし
2	-1/3	5/18	〃
1/2	1/6	-1/27	〃
1/3	2/9	0	〃
1/4	1/4	1/96	$k_1a' \div 1.07$

2.2.3 ライダの底面が $n=1$ のひし形の形状効果

底面が 1 辺 a の正方形の角柱ライダを対角線方向にすべらせたときの摩耗量と、辺に平行にすべらせたときの摩耗量の比を $n=1$ のひし形の形状効果 η_3 と定義すれば、式 (8), (9) から

$$\eta_3 = \frac{\sqrt{2} - \frac{1}{k_1a}(1 - e^{-\sqrt{2}k_1a})}{1 - e^{-k_1a}} \quad (13)$$

2.2.4 円柱ライダの形状効果

円柱ライダをすべらせたときの摩耗量と、底面がこれと同面積の 1 辺 a の正方形の角柱ライダを辺に平行にすべらせたときの摩耗量の比を形状効果 η_4 とすれば、式 (8), (10) から

$$\eta_4 = \frac{2}{a[1 - e^{-k_1a}]} \int_0^{a/\sqrt{\pi}} [1 - e^{-2k_1\sqrt{a^2/\pi - y^2}}] dy \quad (14)$$

図 6 形状効果 η_3, η_4

表 3 η_3, η_4 の性質

形 状	$[\eta_3']_{k_1a=0}$	$[\eta_3'']_{k_1a=0}$	$[\eta_4'']_{k_1a=0}$	漸近値
$n=1$ の ひし形	$(3-2\sqrt{2})/6$	$(3-2\sqrt{2})/6$	$k_1a \div 0.62$	$\sqrt{2}$
円	—	—	—	$2/\sqrt{2}$

図 6 は形状効果 η_3, η_4 を図示したものであり、それらの性質を表 3 に掲げた。すなわち k_1a の値が非常に小さいときは η_3, η_4 はいずれも 1 に近いが、 k_1a が大きくなるにつれ、それぞれ $\sqrt{2}, 2/\sqrt{\pi}$ に漸近してゆく。

以上は底面積が同一の場合に、底面が正方形の角柱ライダを標準として形状効果を考えてきた。同一底面積で異なる形状をもつ場合の比較は類似の計算で求めることができ、あるいはつぎにあげた例のように $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$ を組合わせて求めることもできる。

- $\frac{\text{長方形A}}{\text{長方形B}} = \frac{\text{長方形A/正方形}}{\text{長方形B/正方形}} = \frac{\eta_1(A)}{\eta_1(B)}$
- $\frac{\text{ひし形}}{\text{正方形}} = \frac{\text{ひし形}}{n=1 \text{ のひし形}} \cdot \frac{n=1 \text{ のひし形}}{\text{正方形}} = \eta_2 \cdot \eta_3$

2.3 ライダの寸法効果

図 1 の方法はライダを細分化することによつて摩耗量を計算したものである。しかしながら、もともと 1 個のライダは細分割しても分割した個々のライダ同志のあいだには上下方向の自由度がない。したがつてもとの 1 個のライダをすべらせるとき、その摩耗深さは図 2 に示したようにライダの長さによつて変化せず、ほぼ均一の摩耗深さをとるであろう。この摩耗深さはライダの寸法に

よつて変化するので、つぎにその影響を調べることにする。

2.3.1 直方体ライダの寸法効果

底面が長さ a_1 、幅 b_1 の長方形のライダに圧力 p を加え、辺に平行に L_o だけすべらせ、ライダがほぼ一様に $\bar{h}_1 p L_o$ の深さに摩耗したと考えれば、その摩耗量はつぎのごとくあらわされる。

$$W = \bar{h}_1 p a_1 b_1 L_o \quad (15)$$

式 (8), (15) の摩耗量を等しいものと考え、寸法効果として $\zeta_1 = \bar{h}_1 / h_o$ を入れれば、上式はつぎのように変形される。

$$W = h_o \zeta_1 P L_o \quad (15)'$$

ここで P は見掛けの荷重であり、 ζ_1 はつぎの値をとる。

$$\zeta_1 = \frac{\bar{h}_1}{h_o} = \frac{1 - e^{-k_1 a_1}}{k_1 a_1} \quad (16)$$

すなわち摩耗量はライダの長さを 0 まで極限させ、荷重 P 、摩擦距離 L_o のときの摩耗量に寸法効果 ζ_1 を乗ずることによつて求められる。よつてこのような ζ を寸法効果と定義した。

この寸法効果 ζ_1 はライダの幅 b_1 に無関係であり、ライダの長さ a_1 が長くなるにつれて減少する。また同時にライダに再転移するときの常数 k_1 の値にも左右され、 k_1 は a_1 とおなじ効果を与える。

2.3.2 底面がひし形の角柱ライダの寸法効果

底面が対角長さ a_2 , b_2 のひし形のライダをすべらすとき、その摩耗量はつぎのごとくあらわされよう。

$$W = \bar{h}_2 p \cdot \frac{1}{2} a_2 b_2 \cdot L_o \quad (17)$$

式 (9), (17) の摩耗量を等しいものと考え、寸法効果として $\zeta_2 = \bar{h}_2 / h_o$ を入れて前と同様に解けば

$$W = h_o \zeta_2 P L_o$$

ここで

$$\zeta_2 = \frac{2 \left[1 - \frac{1}{k_1 a_2} (1 - e^{-k_1 a_2}) \right]}{k_1 a_2} \quad (18)$$

2.3.3 円柱ライダの寸法効果

おなじように、半径 a_3 の円柱ライダの寸法効果 ζ_3 を求めれば

$$\zeta_3 = \frac{2 \int_0^{a_3} [1 - e^{-2k_1 \sqrt{a_3^2 - y^2}}] dy}{\pi k_1 a_3^2} \quad (19)$$

またライダの底面積が等しい場合にのみ、これらの寸法効果と形状効果のあいだにつぎの関係が成立する。

$$\eta_3 = \zeta_2 / \zeta_1 \quad (20)$$

$$\eta_4 = \zeta_3 / \zeta_1 \quad (21)$$

図 7 寸法効果 $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ の比較

これらの寸法効果を比較するには同一底面積のもとでおこなう必要がある。それゆえ寸法効果を比較した図 7 では横軸に 1 辺 a の正方形を基準にとり、縦軸にはこれと同面積の長方形、ひし形、円などの柱状ライダの寸法効果 $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ をとつた。

図 7 の曲線からつぎのことがいえる。

1) これらの寸法効果はライダの長さに対して指数関数的に減少する。

2) ライダの底面積がおなじ場合に、寸法効果の値を大きい順から並べれば、ひし形、円、長方形となるが、これらの値は大差がなく、ライダの長さによる影響を大きく受ける。

3) $k_1 a$ の値が非常に小さいときは $\zeta \approx 1$ 、すなわちライダの形状効果、寸法効果があらわれない。

4) 表 4 に示したように $k_1 a = 1.0$ まではそれぞれの寸法効果の値はほとんど等しい。それゆえ $k_1 a$ がこの

表 4 寸法効果 ζ の比較

$k_1 a$	ζ_1	ζ_2	ζ_3
0.5	0.787	0.801	0.799
1.0	0.632	0.657	0.650

程度までであれば式 (17), (18) のかわりに式 (16) を代用してもよい。

3. 実験方法

図 1 の細分割した個々のライダの摩耗量を実験的に求めるために図 8 の装置を使用した。すなわち、図 1 の模型で細分割したライダを N 番目まですべらせた摩耗量はこの装置で N 回繰返しこすつた時の摩耗減に等しい。

図8 摩耗実験装置

図8の装置において、試料のライダは板ばねの先端にチャックされ、荷重はライダ直上のおもりによつて加える。動力はVプーリと同軸の「ころ」を介して回転円板に伝達される。摩擦速度はできるだけおそくし(10 mm/s)、摩擦熱の発生を防いだ。

ライダは4 mmφあるいは4.5 mmφの円柱に加工し、その端面は#06 エメリ紙で均一に仕上げた。その材質には諸性質のあきらかである Au, Cu, Cd などの軟質純金属を選んだ。

回転円板は直径 220 mm の炭素鋼 S15C を使用した。円板表面はあらかじめ研削によつて H_{max} 0.8 μ 程度の良好な平坦度のものをこしらえておき、この面を #280 の砥石でラップし、表面あらさが H_{max} 3.7 μ 前後のほぼ一様な平面に仕上げた。

これらの試料、回転円板は材質に適した脱脂、洗浄をおこなつたあとで実験に使用した。

4. 実験結果

4.1 摩耗粉の再転移

摩耗粉が再転移することを実験的に確かめた一つを図9に示した。仮定1)の摩耗粉が酸化しない条件を保つためにライダに Au を選んだ。実験の観察によれば仮定2)の Cu の摩耗粉の飛び散りがほとんど見られなかつた。実験結果は類似の条件で2回おこない同一傾向が現われたので信頼できよう。図9において繰り返し数 $N=15$ までは図2とおなじ曲線を描くが、そのあとは摩耗量が一定値に近づかず、直線的に増加した。回転円板をガラスとした追加の実験ではこの直線的増加の部分がなく、一定値が得られた。それゆえ途中から摩耗量の増加は S15C の回転円板が酸化したものと考えられる。ともかく図9の実験では繰り返し数 $N=15$ までは転移と

再転移を考慮した式(8)のように摩耗は進行している。

摩耗粉の再転移を確認するための第2の実験が図10である。材料の組合せを Cu/S15C とした場合は途中まで式(8)のように摩耗は進行するから、図2のような曲線となる。しかしそのあと繰り返し数が増すと摩耗量はゆるい勾配で増加し、その値は一定に近づかない。その原因は仮定1)および2)がくずれたものと思われる。

観察によれば事実 $N=10$ においてライダ端面にわずかではあるが酸化した条痕を発見した。したがつて摩耗粉も酸化する可能性があり、もしこれが剥離してルーズな摩耗粉となればライダには再転移しにくくなり、むしろ埋没するであろう。またルーズな摩耗粉はラップ作用をするから⁷⁾ライダをすりへらす。このような状態になればライダ自身がラップ剤を作ることになり摩耗がさらに促進されることになる。しかしながらルーズな摩耗粉は飛散しやすく、ライダに作用する有効のラップ剤が

図9 摩耗粉の転移と再転移 (金)

図10 摩耗粉の転移と再転移 (銅)

常に一定であるとすれば、摩耗量の直線的増加部分が説明できる。ともかく仮定 1), 2) が実験終了まで成り立つならば、図 10 の Cu/S15C の組合わせによる摩耗量は 0.35 mm^3 を越える値にならないであろう。

一方、材料の組合わせを Cu/Cu とすると、図 10 の下の曲線のようになり、図 2 のような形にならない。この曲線は $N=2$ まで摩耗量が 0 で、そのあと摩耗量は一度負になつてから増加を始める。この摩耗量が負となつた現象は回転円板の Cu がライダに転移したことであつて、それ以外の理由は考えられない。このことは回転円板に転移した摩耗粉の 1 部がライダに再転移することの有力な証拠となる。

仮定 4) に従つて再転移量がそれまでの摩耗量に比例するならば、Cu/Cu の組合わせのときはお互いに転移、再転移し合つて見掛けのライダの摩耗量は常に 0 となるはずであるが、実験では繰り返し数 $N=2$ までしかこのことがいえなかつた。しかしながら、この事実は短い期間ではあるが仮定 4) が成り立つことを支持する結果である。それは異種金属の組合わせの場合はこの報告の全般にわたつて見られるごとく、初めにかならず摩耗量が多いからである。

$N=2$ すぎて負の摩耗量があらわれた原因については、回転円板の表面あらさがライダの表面あらさよりも遙かに荒いために凝着部のせん断破壊個所のほとんどが回転円板の内部で生じたものと解釈している。

実験のおわりごろに見られる摩耗量の増加は摩耗粉が脱落してトラックから飛び散つており、またライダの端面が荒れていることから、つぎの原因によつておきたものと推測される。すなわち転移、再転移をばげしく行なつた摩耗粉は加工ひずみを受けて凝着能力が弱まり脱落した摩耗粉となることが考えられる。このような摩耗粉がライダに凝着する予定のものであれば、その重量だけライダは摩耗したことになる。また餅のようなこの摩耗粉が接触面に凝着し、そのため表面あらさを悪くし、摩耗を促進させるかも知れない。

転移、再転移をたしかめるためにはライダのみでなく、円板の摩耗にも注目しなければならないが、ライダの挙動を十分に観察しても再転移があることと、そのために摩耗の進行が抑制されることを図 9、図 10 の結果は教えてくれる。

4.2 常数 k_1, h_0 の決定

繰り返し摩耗試験の初期では摩耗粉の酸化がさにくく、また摩耗粉がトラックから飛び散ることも少ないことが観察されたので、この期間で常数 k_1 と h_0 を求めるのが得策である。この期間では式 (10) が成立する

が、 $k_1 a$ の値が小さいので近似的に式 (8) を使用するほうが便利である。

常数 k_1, h_0 を求めるために式 (8) をつぎのように変形する。

$$\log \left(1 - \frac{W}{p a L_0} \frac{k_1}{h_0} \right) = - \frac{k_1 N}{2.3026} a \quad (8)'$$

ここで a はライダの底面を正方形と考えたときの 1 辺の長さである。上式で a, p, L_0 は実験条件として与えられ、摩耗量 W は実験結果として得られる。それゆえ上式を片対数にとり、実験値をプロットすれば、その直線の勾配として k_1 が求められ、付随して h_0 も求まる。

図 11 は Cd/S15C を組合わせたときの Cd ライダの

図 11 常数 k_1, h_0 の決定 (カドミウム)

図 12 常数 k_1, h_0 の決定 (銀)

摩耗を調べ、図 12 は Ag/S15C を組合わせたときの Ag ライダの摩耗を調べたものであり、いずれもよい直線性を示し、仮定 4) の 1 次比例の仮定が実験的によく

一致したことをあらわしている。これらの図から求めた
 常数 k_1 , h_o の値をつぎに示す。

i) Cd ライダの場合

$$k_1 = 3.86 \times 10^{-2} \text{ (mm}^{-1}\text{)}$$

$$h_o = 3.35 \times 10^{-4} \text{ (mm}^2\text{/kg)}$$

ii) Ag ライダの場合

$$k_1 = 4.43 \times 10^{-2} \text{ (mm}^{-1}\text{)}$$

$$h_o = 2.60 \times 10^{-5} \text{ (mm}^2\text{/kg)}$$

さきに示した図9, 図10の実験からは

iii) Au ライダの場合

$$k_1 = 1.92 \times 10^{-1} \text{ (mm}^{-1}\text{)}$$

$$h_o = 3.78 \times 10^{-5} \text{ (mm}^2\text{/kg)}$$

iv) Cu ライダの場合

$$k_1 = 2.68 \times 10^{-1} \text{ (mm}^{-1}\text{)}$$

$$h_o = 1.86 \times 10^{-4} \text{ (mm}^2\text{/kg)}$$

5. 検 討

5.1 再転移に対する検討

1956年に筆者ら⁹⁾は摩耗粉の凝着と蓄積が摩耗現象に
 大きな役割をはたしていることを報告した。その後 Archard⁹⁾
 はラジオ・アイソトープを使用して摩耗粉がライダに再転移する
 ことを確認し、その挙動について観察をおこなった。しかし
 転移量、再転移量について定量的な解析をおこなうまでには
 至らなかった。

この報告では再転移の確認はいろいろな材質組合わせの
 結果から得ている。

5.2 常数 k_1 , h_o に対する検討

転移量 h_o は筆者が従来より提唱してきた比摩耗量¹⁰⁾
 の考えを一步前進させた。すなわち比摩耗量 W_s はこの
 報告のなかの $\bar{n}$ とまったく同じものであつて、そのなか
 には形状効果、寸法効果が含まれている。このことは試
 験方法によつて、その値が変わり得ることを意味する。
 しかし繰り返しのない摩耗実験では、この報告で求めら
 れた k_1 の値が非常に小さいため、またライダの寸法が
 小さいため形状効果や寸法効果が明瞭にあらわれず、過
 去の実験では見落されていた。これらの効果は実験室的
 試験結果を現実問題の解決に利用するとき、たとえば試
 料が実験的には小で現実には大である場合などのとき、
 はつきりと確認されるであろう。

常数 k_1, h_o の値はライダ、回転円板、摩耗粉のどれか
 が酸化すれば変化するものと思われる。それゆえ、もし
 金属表面から完全によれを取り去るならば、これらの
 値は実験で求めた値よりも上回るものと予測される。ま
 た相手材質によつて、あるいは表面あらさによつて常数

h_o が変化するのが追加の実験で判明した。よつて摩耗粉
 の転移、再転移について定量的な解決を与えるためには、
 さらに2物体間に働く表面エネルギーの問題や摩耗粉の
 発生機構などを調べる必要がある。

6. 結 論

以上述べてきたことを要約するとつぎのことがいえる。

i) 非潤滑状態における繰り返しのない摩耗では仮定
 1), 2), 3), 4) が成立することが予期される。

ii) 試料の寸法が長さ x , 幅 y のライダに接触圧力 p
 を加え、 L_o すべらせたときの摩耗量は次式で与えられ
 る。

$$W = h_o p L_o \iint e^{-k_1 x} dx dy$$

ただし k_1, h_o ; 常数

iii) 試料が小さい場合には形状効果と寸法効果を考慮
 する必要がない。

iv) 試料が大きな場合には形状効果 η , あるいは寸法
 効果 ζ を補正係数として乗ずる必要がある。

v) 摩耗粉の転移、再転移を確認し、実験より常数 k_1 ,
 h_o の値を求めた。

おわりに本研究は昭和37年度生産加工技術の研究補助
 金の一部によつて行なつたもので、御指導を仰いだ大越
 諄先生、ならびに実験に協力していただいた横溝武君、
 久保田清志君、粕田量彦君に感謝するとともに、助言を
 頂いた中央検定所の山本健太郎博士、当研究室の諸氏に
 厚くお礼をのべます。(1962年10月3日 受付)

文 献

- 1) 水野万亀雄：精密機械，27巻(1961) 426.
- 2) 水野万亀雄：精密機械，28巻(1962) 12.
- 3) R. Holm : Symposium on Electric Contact (1953).
- 4) B. W. Sakmann & J. T. Burwell ; J. Appl. Phys. Vol. 15 (1944) 459.
- 5) E. Rabinowicz : Proc. of Phy. Soc., B, Vol. 66 (1953) 929.
- 6) 佐田登志夫：精密機械，25巻(1959) 275.
- 7) 水野万亀雄：精密機械，26巻(1960) 657.
- 8) 大越諄，佐田登志夫，水野万亀雄，鴨川昭夫：昭和30年度試験研究委託事業費による研究報告書(1956) 92.
- 9) J.F. Archard & W. Hirst : Proc. Roy. Soc., A, Vol. 238 (1957) 515.
- 10) 大越諄，佐田登志夫，水野万亀雄：科研報告，Vol. 31 (1955) 103.